



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108734602 A

(43)申请公布日 2018. 11. 02

(21)申请号 201810312937.0

G06F 17/16(2006.01)

(22)申请日 2018.04.09

(71)申请人 广东电网有限责任公司

地址 510060 广东省广州市越秀区东风东
路757号

申请人 广东电网有限责任公司佛山供电局

(72)发明人 王鹏 熊仕斌 刘攸坚 傅子明

韦景康 黄健 梁绍基 张毅

洪晓彤 徐振洪 林澧乐 蔡金彪

王馨然

(74)专利代理机构 广州粤高专利商标代理有限
公司 44102

代理人 林丽明

(51)Int.Cl.

G06Q 50/06(2012.01)

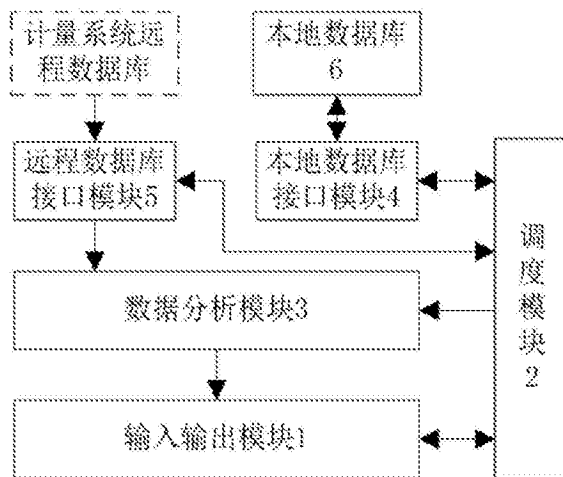
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

一种基于高维随机矩阵的用户窃电行为辨
识系统

(57)摘要

本发明公开了一种基于高维随机矩阵的用户窃电行为辨识系统,包括输入输出模块、调度模块、数据分析模块、本地数据库接口模块、远程数据库接口模块以及本地数据库。本系统采用高维随机矩阵算法综合利用计量信息系统采集的电量、电压、电流、有功功率、无功功率、功率因素等电力计量信息数据进行同步分析,结果更加可靠,能够较好地适应智能电表的普及和电力计量系统智能化发展要求,解决了当前算法数据源单一、数据计算负荷量大、误检和漏检严重的问题。同时本系统在识别用户存在窃电行为后进一步对用户窃电开始时间和结束时间进行定位并计算出窃电时长,为窃电稽查和电费追补提供数据支撑,弥补了当前算法无法确定窃电时间的缺陷。



1. 一种基于高维随机矩阵的用户窃电行为辨识系统,其特征在于,包括:输入输出模块(1)、调度模块(2)、数据分析模块(3)、本地数据库接口模块(4)、远程数据库接口模块(5)、本地数据库(6);

输入输出模块(1):根据待分析用户列表路径通过OLE数据库引擎连接并打开待分析用户列表,利用ADO.NET中的数据对象DataSet对象一次性提取所有待分析用户数据,每个用户占据数据集对象的一行,以数据中的行数据为单位采用FIFO技术创建待分析用户队列供调度模块(2)调用;另外该模块还用于接收数据分析模块(3)的分析结果并通过数据绑定的方法利用DataGridView控件实现结果输出显示;

调度模块(2):调用输入输出模块(1)创建的待分析用户队列,并利用FIFO的出队列操作将队列的第一条用户信息出队列后传送给远程数据库接口模块(5),同时使用多线程并发执行技术创建监控线程对数据分析模块(3)进行监控,监控线程与数据分析模块(3)中的数据分析过程并行执行,实时监控数据分析模块(3)的分析进程,监控线程在每次监控到数据分析模块(3)完成数据分析后将待分析用户队列的第一条信息出列并传送给远程数据库接口模块(5)同时继续进行下一次的监控,直到待分析用户队列全部分析完成后读取输入输出模块(1)的所有输出结果并传送给本地数据库接口模块(4);

数据分析模块(3):用于接收远程数据库接口模块(5)的用户电力计量信息数据构建高维随机矩阵及其协方差矩阵,并求协方差矩阵特征根 $\lambda_1 \leq \lambda_2 \leq \dots \leq \lambda_n$;进一步,并利用协方差矩阵特征值的谱分布函数和协方差矩阵特征值的谱分布函数的极限收敛函数分别求取协方差矩阵特征值在复平面的分布与协方差矩阵特征值的谱分布函数的极限收敛函数于复平面上的函数轨迹;然后,根据单环定律判定原则分析协方差矩阵特征值的谱分布函数极限收敛函数的轨迹圆环外是否有奇异特征值点以判定用户是否存在窃电等异常用电情况;最后,数据分析完成后如果发现窃电则进一步利用平均谱半径变化曲线波动规律定位用户窃电开始时间并将结果输出给输出输出模块(1)进行输出显示,同时通知调度模块(2)本次分析完成;否则直接通知调度模块(2)本次分析完成;

本地数据库接口模块(4):用于接收调度模块(2)的用户窃电记录信息并根据用户名和户表编号采用Insert方法添加进本地数据库(6);

远程数据库接口模块(5):接收调度模块(2)的用户信息,并根据用户名和户表编号于计量系统远程数据库中采用数据库事务管理的方法检索出该用户24小时内的电量、电压、电流、有功功率、无功功率、功率因素等电力计量信息数据并传送给数据分析模块(3);

本地数据库(6):用于存储用户窃电记录信息。用户窃电记录信息包括用户名、户表编号、窃电开始时间、窃电时长。

2. 根据权利要求1所述的一种基于高维随机矩阵的用户窃电行为辨识系统,其特征在于,所述数据分析模块(3)中求协方差矩阵特征值在复平面的分布所使用的谱分布函数为

$$F(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I(Q_i \leq x), x \in R,$$

其中I为示性函数。

3. 根据权利要求1所述的一种基于高维随机矩阵的用户窃电行为辨识系统,其特征在于:数据分析模块(3)中协方差矩阵特征值的谱分布函数的极限收敛函数为

$$f_c(z) = \begin{cases} \frac{1}{\pi c f T} |z|^{2/(fT-2)}, & (1-c)^{fT/2} \leq |z| \leq 1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

其中f为数据采样频率,T为检测时间区段,c为高维随机矩阵行列比。

4. 根据权利要求1所述的一种基于高维随机矩阵的用户窃电行为辨识系统其特征在于:输出输出模块(1)与调度模块(2)之间、调度模块(2)与本地数据库接口模块(4)之间以及本地数据库接口模块(4)与本地数据库模块(6)之间皆具有双向交互功能。

一种基于高维随机矩阵的用户窃电行为辨识系统

技术领域

[0001] 本发明涉及电子信息系统领域,更具体地,涉及一种基于高维随机矩阵的用户窃电行为辨识系统。

背景技术

[0002] 通过对计量装置进行干扰或改造等窃电行为会造成电网的非技术性损失,给电力企业造成经济损失。传统的窃电行为识别主要依靠电力稽查人员定期巡检或安装检测装置进行在线监测,需投入大量的人力、财力和物力,且不能达到预期的效果。随着智能电表的普及和电力系统信息化程度的高速发展,电力企业存储了海量用户侧电量数据。通过充分挖掘电力大数据的潜在价值,及时识别用户窃电行为,减少经济损失,对智能电网的发展有重要的意义。然而,现有窃电行为辨识系统主要采用聚类分析法、神经网络等方法对负荷曲线等单一数据源进行分析,然而随着电磁干扰等高科技窃电手段的出现,窃电对影响往往表现为多参量的同步综合变化,且不同窃电方式表现为不同参量的组合,因此采用单一参量辨识结果可靠性相对较低,且目前系统仅只能判定用户是否具有窃电行为,对于何时窃电、窃电时长多久都无法给出准确判定,不能为后续稽查和电费追补提供依据,具有较大局限性。

发明内容

[0003] 本发明的目的是解决上述一个或多个缺陷,提出一种基于高维随机矩阵的用户窃电行为辨识系统。

[0004] 为实现以上发明目的,采用的技术方案是:

[0005] 一种基于高维随机矩阵的用户窃电行为辨识系统,包括输入输出模块、调度模块、数据分析模块、本地数据库接口模块、远程数据库接口模块以及本地数据库。

[0006] 优选的是,所述输入输出模块根据待分析用户列表路径通过OLE数据库引擎连接并打开待分析用户列表,利用ADO.NET中的数据对象DataSet对象一次性提取所有待分析用户数据,每个用户占据数据集对象的一行,以数据中的行数据为单位采用FIFO技术创建待分析用户队列供调度模块调用;另外该模块还用于接收数据分析模块的分析结果并通过数据绑定的方法利用DataGridView控件实现结果输出显示。

[0007] 优选的是,所述调度模块用于调用输入输出模块创建的待分析用户队列,并利用FIFO的出队列操作将队列的第一条用户信息出队列后传送给远程数据库接口模块,同时使用多线程并发执行技术创建监控线程对数据分析模块进行监控,监控线程与数据分析模块中的数据分析过程并行执行,实时监控数据分析模块的分析进程,监控线程在每次监控到数据分析模块完成数据分析后将待分析用户队列的第一条信息出列并传送给远程数据库接口模块同时继续进行下一次的监控,直到待分析用户队列全部分析完成后读取输入输出模块的所有输出结果并传送给本地数据库接口模块。

[0008] 优选的是,所述远程数据库接口模块用于接收调度模块的用户信息,并根据用户

名和户表编号于计量系统远程数据库中采用数据库事务管理的方法检索出该用户24小时内的电量、电压、电流、有功功率、无功功率、功率因素等电力计量信息数据并传送给数据分析模块。

[0009] 优选的是,所述数据分析模块用于接收远程数据库接口模块的用户电力计量信息数据构建高维随机矩阵及其协方差矩阵,并求协方差矩阵特征根 $\lambda_1 \leq \lambda_2 \leq \dots \leq \lambda_n$;

[0010] 优选的是,并利用协方差矩阵特征值的谱分布函数和协方差矩阵特征值的谱分布函数的极限收敛函数分别求取协方差矩阵特征值在复平面的分布与协方差矩阵特征值的谱分布函数的极限收敛函数于复平面上的函数轨迹;

[0011] 更进一步,根据单环定律判定原则分析协方差矩阵特征值的谱分布函数极限收敛函数的轨迹圆环外是否有奇异特征值点以判定用户是否存在窃电等异常用电情况;

[0012] 再进一步,数据分析完成后如果发现窃电则进一步利用平均谱半径变化曲线波动规律定位用户窃电开始时间并将结果输出给输入输出模块进行输出显示,同时通知调度模块本次分析完成;否则直接通知调度模块本次分析完成;

[0013] 优选的是,所述本地数据库接口模块用于接收调度模块的用户窃电记录信息并根据用户名和户表编号采用Insert方法添加进本地数据库;

[0014] 优选的是,所述本地数据库用于存储用户窃电记录信息。用户窃电记录信息包括用户名、户表编号、窃电开始时间、窃电时长。

[0015] 优选的是,所述数据分析模块中求协方差矩阵特征值在复平面的分布所使用的谱分布函数为

$$[0016] \quad F(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I(\lambda_i \leq x), x \in R$$

[0017] 其中I为示性函数。

[0018] 优选的是,所述数据分析模块中协方差矩阵特征值的谱分布函数的极限收敛函数为

$$[0019] \quad f_c(z) = \begin{cases} \frac{1}{\pi c f T} |z|^{2/(\sqrt{T}-2)}, & (1-c)^{\sqrt{T}/2} \leq |z| \leq 1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

[0020] 其中f为数据采样频率,T为检测时间区段,c为高维随机矩阵行列比;

[0021] 优选的是,输入输出模块与调度模块之间、调度模块与本地数据库接口模块之间以及本地数据库接口模块与本地数据库之间皆具有双向交互功能。

[0022] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:

[0023] 1) 靠性高,本发明是综合电量、电压、电流、有功功率、无功功率、功率因素等电力计量信息数据得出的结果,相比传统单一数据源分析方法数据参量更全面,漏检和误检率更低;

[0024] 2) 能为窃电稽查和电费追补提供数据支撑,本发明通过计量数据平均谱半径变化曲线定位用户窃电行为开始和结束时间,能定量计算用户窃电时长,为电费追缴提供时间数据;

[0025] 3) 使用方便、交互友好,系统定时启动并按用户列表对各个用户进行分析,无需人工干预;不同用户通过更改用户列表即可实现对其进行监控。

附图说明

[0026] 图1为本发明的结构连接框图;

[0027] 图2为本发明的工作流程图;

[0028] 图3为本地数据库信息图。

具体实施方式

[0029] 附图仅用于示例性说明,不能理解为对本专利的限制;

[0030] 以下结合附图和实施例对本发明做进一步的阐述。

[0031] 实施例1

[0032] 如图1所示,一种基于高维随机矩阵的用户窃电行为辨识系统,包括输入输出模块1、调度模块2、数据分析模块3、本地数据库接口模块4、远程数据库接口模块5以及本地数据库6。

[0033] 其中:输入输出模块1用于人机交互,用户在输入输出模块中设置待分析用户列表路径,系统根据设置的待分析用户列表路径通过OLE数据库引擎连接并打开待分析用户列表,利用ADO.NET中的数据对象DataSet对象一次性提取所有待分析用户数据,每个用户占据数据集对象的一行,以数据中的行数据为单位采用FIFO技术创建待分析用户队列供调度模块2调用;另外该模块还用于接收数据分析模块3的分析结果并通过数据绑定的方法利用DataGrid控件实现结果输出显示。

[0034] 调度模块2用于调用输入输出模块1创建的待分析用户队列,并利用FIFO的出队列操作将队列的第一条用户信息出队列后传送给远程数据库接口模块5,同时使用多线程并发执行技术创建监控线程对数据分析模块3进行监控,监控线程与数据分析模块3中的数据分析过程并行执行,实时监控数据分析模块3的分析进程,监控线程在数据分析模块3每完成一次数据分析后判断所有待分析用户是否全部分析完成,若未完成则执行将待分析用户队列的第一条信息出列并传送给远程数据库接口模块5同时继续数据分析模块3进行监控;若用户队列全部分析完成,则检测输入输出模块1的输出信息是否为空,也即检测是否存在窃电用户,若非空则存在窃电用户,调度模块2将所有输出结果读入并通过本地数据库接口模块4存入本地数据库6后结束分析过程;若未空,则本次分析未发现窃电用户,调度模块2将不读取输出结果直接结束分析过程,如图2流程图所示。

[0035] 数据分析模块3用于接收远程数据库接口模块5的用户电力计量信息数据构建高维随机矩阵及其协方差矩阵,并求协方差矩阵特征根 $\lambda_1 \leq \lambda_2 \leq \dots \leq \lambda_n$;进一步,并利用协方差矩阵特征值的谱分布函数和协方差矩阵特征值的谱分布函数的极限收敛函数分别求取协方差矩阵特征值在复平面的分布与协方差矩阵特征值的谱分布函数的极限收敛函数于复平面上的函数轨迹;然后,根据单环定律判定原则分析协方差矩阵特征值的谱分布函数极限收敛函数的轨迹圆环外是否有奇异特征值点以判定用户是否存在窃电等异常用电情况;最后,数据分析完成后如果发现窃电则进一步利用平均谱半径变化曲线波动规律定位用户窃电开始时间并将结果输出给输出模块1进行显示,同时通知调度模块2本次分析

完成;否则直接通知调度模块2本次分析完成,具体流程如图2所示;

[0036] 其中,根据用户电力计量信息数据构建高维随机矩阵及其协方差矩阵,其构建方法具体如下:

[0037] 首先,将用户电力计量信息数据电量e、电压v、电流c、有功功率p、无功功率q、功率因素f等按采集时间先后序列化构成时间序列向量:

$$[0038] \quad \text{电量: } \vec{e} = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_n \end{bmatrix}; \text{电压: } \vec{v} = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix}; \text{电流: } \vec{c} = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{bmatrix}; \text{有功功率: } \vec{p} = \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_n \end{bmatrix}; \text{无功功率: } \vec{q} = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \vdots \\ q_n \end{bmatrix}; \text{功率因数: } \vec{f} = \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_n \end{bmatrix};$$

[0039] 其次,将各向量归一化得归一化后的时间序列向量:

$$[0040] \quad \text{电量: } \vec{E} = \sqrt{\vec{e}^T \vec{e}} = \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_n \end{bmatrix}; \text{电压: } \vec{V} = \sqrt{\vec{v}^T \vec{v}} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix}; \text{电流: } \vec{C} = \sqrt{\vec{c}^T \vec{c}} = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_n \end{bmatrix}; \text{有功功率: } \vec{P} = \sqrt{\vec{p}^T \vec{p}} = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_n \end{bmatrix}; \text{无功功率: } \vec{Q} = \sqrt{\vec{q}^T \vec{q}} = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \vdots \\ Q_n \end{bmatrix}; \text{功率因数: } \vec{F} = \sqrt{\vec{f}^T \vec{f}} = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_n \end{bmatrix};$$

[0041] 再次,将归一化后的时间序列向量转置成行向量后一个参数占一行构成矩阵,此即所求的高维随机矩阵:

$$[0042] \quad R = \begin{bmatrix} \vec{E}^T \\ \vec{V}^T \\ \vec{C}^T \\ \vec{P}^T \\ \vec{Q}^T \\ \vec{F}^T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_1 & E_2 & \dots & E_n \\ V_1 & V_2 & \dots & V_n \\ C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ P_1 & P_2 & \dots & P_n \\ Q_1 & Q_2 & \dots & Q_n \\ F_1 & F_2 & \dots & F_n \end{bmatrix}$$

[0043] 最后,通过下式计算得该高维随机矩阵的协方差矩阵:

$$[0044] \quad S_n = \frac{1}{n} \begin{bmatrix} E_1 & E_2 & \dots & E_n \\ V_1 & V_2 & \dots & V_n \\ C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ P_1 & P_2 & \dots & P_n \\ Q_1 & Q_2 & \dots & Q_n \\ F_1 & F_2 & \dots & F_n \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} E_1 & E_2 & \dots & E_n \\ V_1 & V_2 & \dots & V_n \\ C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ P_1 & P_2 & \dots & P_n \\ Q_1 & Q_2 & \dots & Q_n \\ F_1 & F_2 & \dots & F_n \end{bmatrix}$$

[0045] 至此,完成高维随机矩阵及其协方差矩阵的构建,如图2所示。

[0046] 其中,通过分析高维随机矩阵及其协方差矩阵并判定用户是否存在窃电的过程如下:

[0047] 首先,利用线性代数理论求取协方差矩阵特征根,计其特征根为 $\lambda_1 \leq \lambda_2 \leq \dots \leq \lambda_n$;

[0048] 其次,并利用谱分布函数

$$[0049] \quad F(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I(\lambda_i \leq x), x \in R$$

[0050] 求取协方差矩阵特征值在复平面的分布;其中I为示性函数。

[0051] 再次,求谱分布函数的极限收敛函数

$$[0052] \quad f_c(z) = \begin{cases} \frac{1}{\pi c/T} |z|^{2/(T-c)} & , (1-c)^{T/2} \leq |z| \leq 1 \\ 0 & , \text{otherwise} \end{cases}$$

[0053] 在复平面的轨迹。其中f为数据采样频率,T为检测时间区段,c为高维随机矩阵行列比

[0054] 最后,根据单环定律判定原则分析协方差矩阵特征值的谱分布函数极限收敛函数的轨迹圆环外是否有奇异特征值点以判定用户是否存在窃电等异常用电情况;

[0055] 单环定律的判定原则为:当用户正常用电时其协方差矩阵特征值在复平面内全部分布于协方差矩阵特征值谱分布函数极限收敛函数的圆环轨迹内,圆环轨迹外无特征值分布点,相反当用户出现窃电等异常用电情况时圆环轨迹外出现奇异特征值点。

[0056] 其中,利用平均谱半径变化曲线波动规律定位用户窃电开始时间具体过程如下:

[0057] 首先,任一时刻t处取时间窗 t_0 构建 $t - \frac{1}{2}t_0$ 至 $t + \frac{1}{2}t_0$ 时间区段子矩阵,其中边界

位置,在靠近0时刻位置即 $t \leq \frac{1}{2}t_0$ 时时间窗取为 $0 \sim t + \frac{1}{2}t_0$,在靠近T时刻位置即

$T - t \leq \frac{1}{2}t_0$ 时时间窗取为 $t - \frac{1}{2}t_0 \sim T$ 。

[0058] 其次,取时间窗范围内的数据构建随机矩阵和协方差矩阵并求协方差矩阵特征值,具体方法同分析高维随机矩阵及其协方差矩阵并判定用户是否存在窃电的过程。

[0059] 再次,利用式

$$[0060] \quad \theta = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \lambda_i$$

[0061] 求取t时刻的平均谱半径;并以t为变量,随着t的变化绘制时间区段T内的平均谱半径变化曲线;

[0062] 最后,可根据平均谱半径变化曲线波下降沿时间定位用户窃电行为发生时间,通过该曲线上升沿时间定为用户窃电结束时间,通过两者的时间差得出用户窃电时长定位用户异常用电时间区段。因为平均谱半径变化曲线在用户正常用电时,高维随机矩阵协方差矩阵的特征值平均谱半径在整个观测时间区段内变化平稳,仅有微小波动;当窃电等异常行为发生时,平均谱半径在发生时刻出现显著下降沿,当窃电行为结束时则平均谱半径在窃电结束时刻出现显著上升沿。

[0063] 本地数据库接口模块4用于接收调度模块2的用户窃电记录信息并逐条通过数据库访问的Insert方法添加进本地数据库6进行存储;

[0064] 远程数据库接口模块5用于接收调度模块2的用户信息,并根据用户名和户表编号于计量系统远程数据库中采用数据库事务管理的方法检索出该用户24小时内的电量、电压、电流、有功功率、无功功率、功率因素等电力计量信息数据并传送给数据分析模块3,检索结果按时间先后顺序排列。

[0065] 本地数据库6用于存储用户窃电记录信息。用户窃电记录信息包括用户名、户表编号、窃电开始时间、窃电结束时间、窃电时长、记录时间,如图3所示,并将用户名、户表编号、窃电开始时间、窃电结束时间、窃电时长及记录时间分成六个列,且为了保护记录完成性用户窃电记录信息只能通过输出模块1经调度模块2和本地数据库接口模块4进行查询,无法删除和更改。

[0066] 显然,本发明的上述实施例仅仅是为清楚地说明本发明所作的举例,而并非是对本发明的实施方式的限定。对于所属领域的普通技术人员来说,在上述说明的基础上还可以做出其它不同形式的变化或变动。这里无需也无法对所有的实施方式予以穷举。凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明权利要求的保护范围之内。

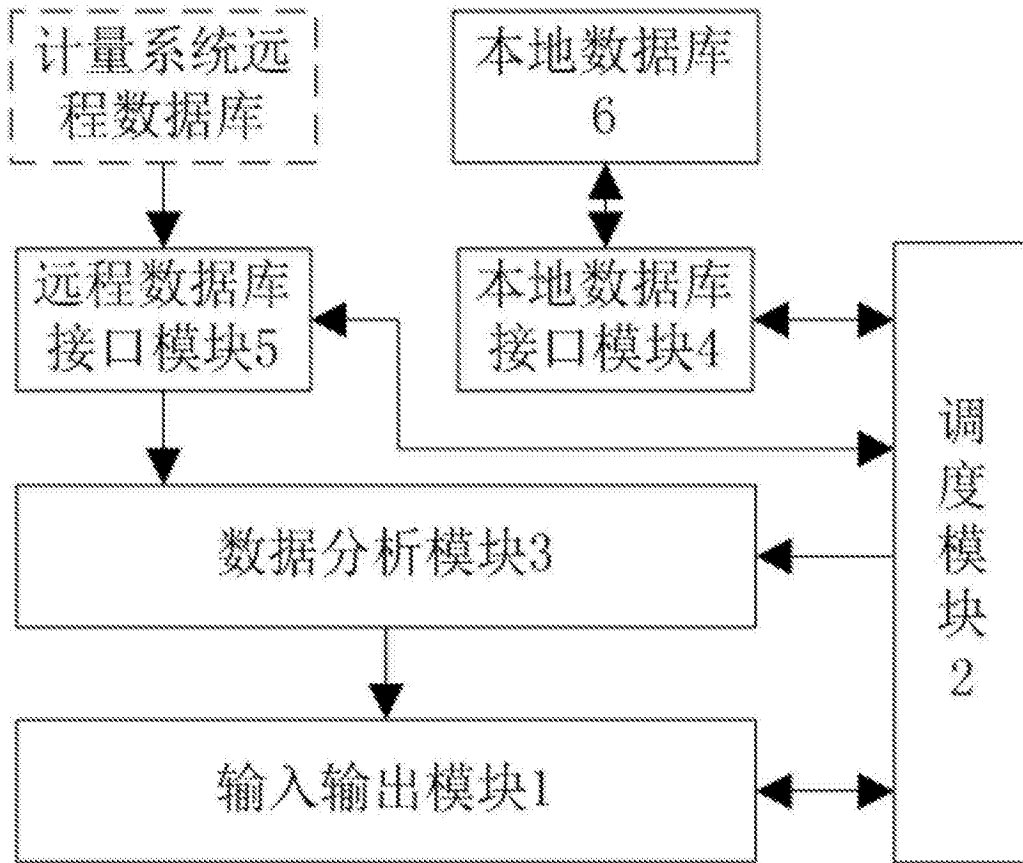


图1

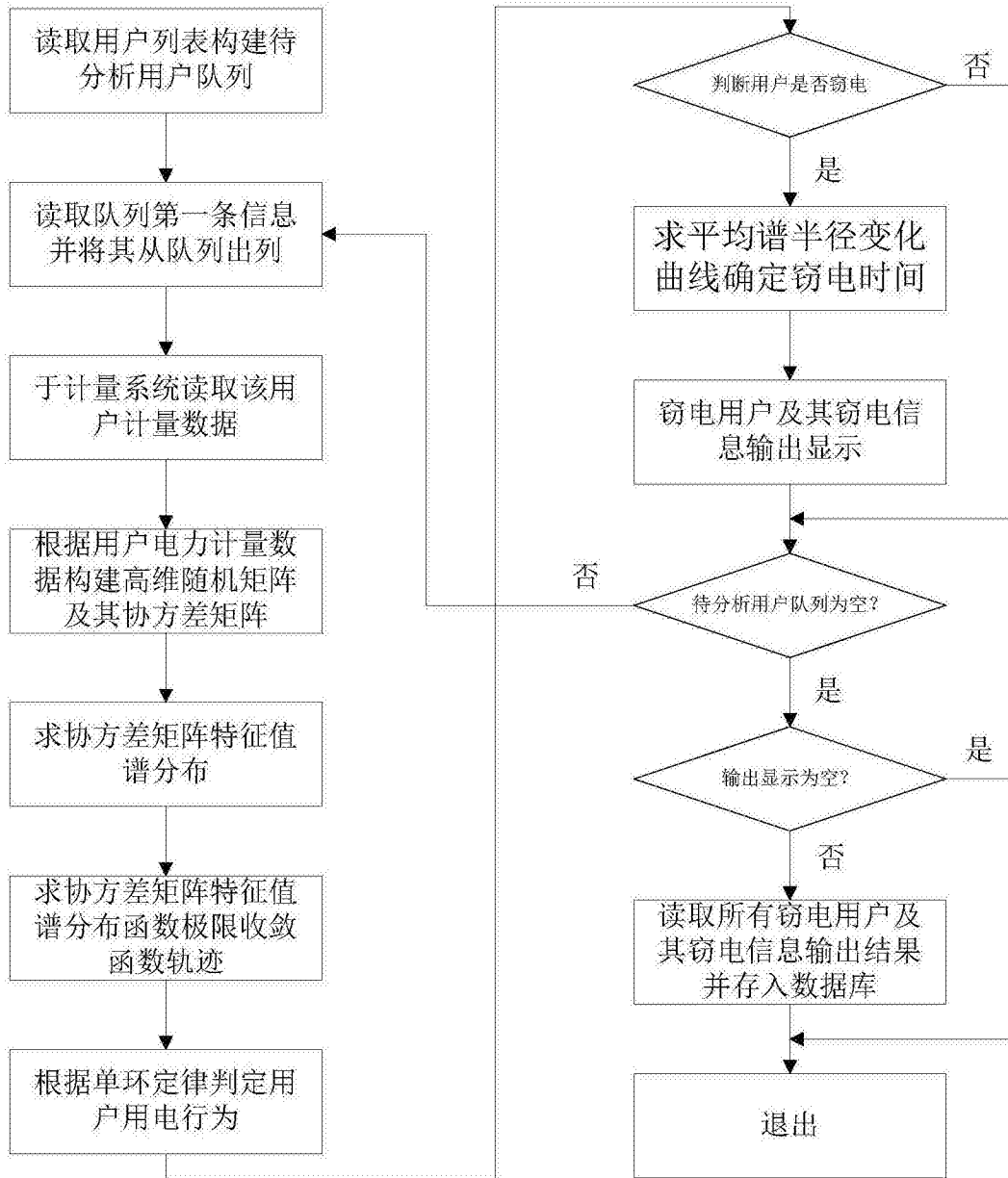


图2

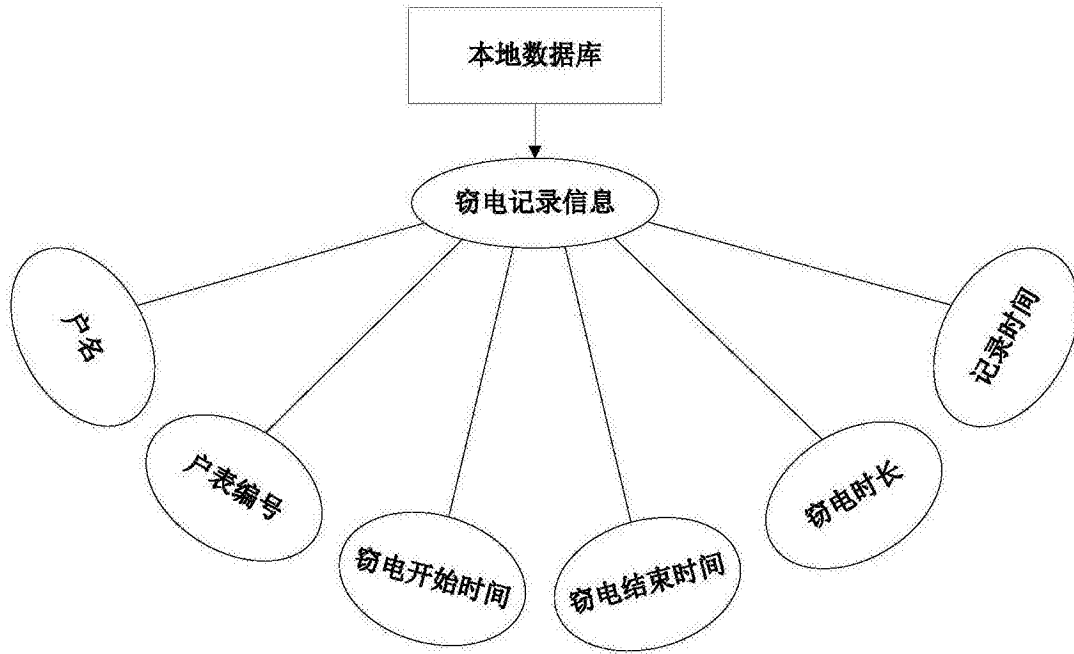


图3