



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104181898 A

(43) 申请公布日 2014. 12. 03

(21) 申请号 201410441039. 7

(22) 申请日 2014. 09. 01

(71) 申请人 东北电力大学

地址 132012 吉林省吉林市船营区长春路
169 号

(72) 发明人 吴云 曲朝阳 王健 王蕾 曲楠
杨杰明 姜建楼 郭晓利

(74) 专利代理机构 吉林市达利专利事务所
22102

代理人 陈传林

(51) Int. Cl.

G05B 19/418(2006. 01)

G05B 15/02(2006. 01)

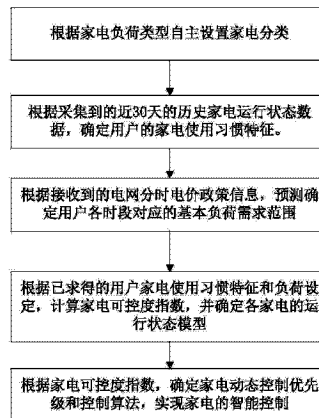
权利要求书5页 说明书11页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于分时电价响应的交互式家电智能控制方法和系统

(57) 摘要

本发明是一种基于分时电价响应的交互式家电智能控制方法和系统,其方法的特点是,包括根据家电负荷类型自主设置家电分类;根据采集到的30天的历史家电运行状态数据,确定用户的家电使用习惯;根据接收电网的分时电价政策信息,预测确定用户各时段对应的基本负荷需求范围;根据已求的用户家电使用习惯特征和负荷设定,计算家电可调度指数,并确定各家电的运行状态模型;根据家电可调度指数,确定家电动态控制优先级和控制算法,实现家电的智能控制等步骤。具有交互性好,用户接收度高,并且可指导用户合理错峰用电,显著减少用电费用等优点。



1. 一种基于分时电价响应的交互式家电智能控制方法,其特征是,它包括以下步骤:

1) 根据家电负荷类型自主设置家电分类

按照家电使用对用户生活的影响程度将家电分为重要负荷家电和可控负荷家电,所述重要负荷家电指电炉、照明类,一旦断电会给用户生活造成较大影响的家电;所述可控负荷家电指空调、热水器用电时间及规律比较稳定、且其短时间断电几乎不影响居民正常生活的家电,对于用户所拥有的全部家电的负荷分类设定可由用户自主调整;

2) 根据采集到的 30 天的历史家电运行状态数据,确定用户的家电使用习惯特征

用户的家电使用习惯特征:由家电的使用优先级表征用户的电器使用偏好;由家电的模糊用电时段表征用户的电器习惯运行区间;由家电使用的最低时长表征电器运行时间的最低界限值;由家电使用的最高时长表征电器运行时间的最低界限值,由于用户在工作日与休息日的家电使用行为差异性较大,因此,其电器使用习惯有工作日和休息日之分,各个家电的使用习惯特征的具体求解过程如下:

(1) 选取用户的家电使用行为分析的样本

从存储模块中的历史的家电状态数据集中选取近 30 天内的家电状态数据按工作日和非工作日进行划分作为分析样本,其家电运行状态数据的主要属性包括家电编号,家电名称,家电开启时间,家电关闭时间,家电的运行功率等,家电的状态数据由可控智能插座采集,传输到智能交互终端暂时存储并发送给小区的智能控制中心统一存储,其采集间隔为 1min;

(2) 建立基于用户习惯的家电使用优先级映射表

首先,确定家电使用优先级,假设该用户的家电总量为 n ,则其基于用户习惯的家电使用优先级划分为 n 级,其次,求解各家电的使用频率,根据当前日确定日期类型,即休息日或工作日,计算求出某家电 i 在样本数据中的使用频率为 f_i :

$$f_i = \frac{d_i}{t_d} \quad (1)$$

其中, d_i 为家电在 t_d 天内的使用次数, t_d 为按当日日期类型对应的家电使用行为分析样本中的天数,最后,确定优先级,建立映射表,通过对 f_i 进行升序排列,其对应家电的优先级分别为 1 到 n , n 表示的优先级最大,进而建立优先级映射表;

(3) 求解基于用户习惯的家电使用基本参数

基于第一步得到的样本数据,计算并求出各个家电的最小用电时长 $\Delta t_{i,\min}$,最大用电时长 $\Delta t_{i,\max}$,平均时长 $\overline{\Delta t_i} = \frac{\Delta t_{i,\min} + \Delta t_{i,\max}}{2}$,平均用电功率 $\overline{p_i}$,根据各个家电的用电时段 $(t_{i,s}, t_{i,e})$ 的均值时间点 $t_{i,\text{mid}}$ 进行 K-Means 聚类分析,算法步骤如下:

①选取特征向量,构建样本特征向量集,由于同一家电的用电时段差异性不大,所以,家电使用均值时间点最能反映出用户的家电使用行为,且同一电器不同日期具有相似的家电使用特性,故选取家电的用电时段均值点 $t_{i,\text{mid}}$ 作为特征向量,以该家电的所有样本的用电时段均值点的按时间升序排列作为样本特征向量集;

②初始化,设样本特征向量集中有 N 个均值点,选取上一天的出现的 k 个均值点作为初始聚类中心,聚类中心矩阵为:

$$U_i = [U_{i,1}, U_{i,2}, \dots, U_{i,k}] \quad (2)$$

对数据集中家电 i 第 j 个样本点 $t_{i,j}$, 计算其与各聚类中心的时差距离, 并获取所属的类别标号, 计算公式如下:

$$U_m(j) \leftarrow \arg \min_j |t_{i,j} - U_{i,m}|, m = 1, \dots, k; j = 1, \dots, N \quad (3)$$

式中, $U_m(j)$ 代表样本点 $t_{i,j}$ 与 k 个簇距离最近的簇;

③重新计算 k 个聚类中心, 计算公式如下:

$$U_{i,m} = \frac{1}{N_m} \sum_{t_{i,j} \in U_{i,m}} t_{i,j} \quad (4)$$

式中, N_m 是以 $U_{i,m}$ 为聚类中心的簇的样本个数;

④重复计算, 直到准则函数收敛为止, 收敛评判依据如下:

$$E = \sum_{j=1}^k \sum_{t \in U_{i,m}} |t - m_j|^2 \quad (5)$$

式中, E 是样本集中所有对象的平方误差的总和, t 是空间中的点, m_j 是簇 $U_{i,m}$ 的平均值, 最终求出的家电 i 的聚类中心矩阵 U_i , 对其均值点按平均时长 $\overline{\Delta t_i}$ 等值扩展, 确定该家电的模糊用电时段矩阵 T_i , 本步骤整体由智能交互端的用电分析模块实现;

3) 根据接收电网的分时电价政策信息, 预测确定用户各时段对应的基本负荷需求范围
分时电价指根据系统负荷水平, 每时段执行不同电费标准的电价制度, 分时电价可表示为

$$P_t = P_0 \cdot (1 + P_{r,t}), t = 1, 2, \dots, N_p \quad (6)$$

式中, t 表示时段, N_p 为划分的总时段数, P_t 表示 t 时刻的费率标准, 单位 $\text{¥}/\text{KW} \cdot \text{h}$, P_0 表示基础电价, $P_{r,t}$ 表示各时段相对费率标准相对基础电价的浮动比率, 分时电价响应是以通过对各时段的进行负荷电量分配限制体现, 其约束条件是满足用户电费相对较少的限制, 以近 30 天的日平均电费支出 M 作为电费支出额度来判断;

负荷分配过程如下:

(a) 根据用电习惯特征, 求解各个家电各时段对应的标准用电量 $Q_{b,i,t}$;

(b) 求解各时段的总负荷 $Q_{\text{sum},t}$, 求解公式如下:

$$Q_{\text{sum},t} = \sum_{i=1}^{N_e} Q_{b,i,t} \quad (7)$$

式中, N_e 为家电个数;

(c) 求解总电费支出 M_s , 求解公式如下:

$$M_s = \sum_{t=1}^{N_p} P_t \quad (8)$$

(d) 判断 M_s 是否超过电费支出额度 M , 若超出, 根据家电使用优先级由低到高的顺序的对单个家电的使用时间向相邻低电价时段, 时间差在一小时以内进行适度偏移, 其偏移时长为时间差, 若无相邻低电价时段, 继续对下一个家电进行判断, 调整完一个家电的运行时段后, 重复 (b) 和 (c), 直到 M_s 在电费支出额度 M 之内, 各时段的总负荷 $Q_{\text{sum},t}$ 即各时段对应的负荷电量限制上限, 重要负荷家电的总负荷 $Q_{\text{imp},t}$ 与 $Q_{\text{sum},t}$ 求解相同, 即其负荷电量限制下限;

4) 根据已求的的用户家电使用习惯特征和负荷设定,计算家电可控度指数,并确定各家电的运行状态模型

用户被控家电的通断电状态往往与用户的满意度有关,同时用户的满意度又受其家电使用情况和用电习惯影响,采用家电可控度指数 K_c 来表征该家电实时状态对用户用电行为的影响,其值越大,用户的满意度越低,其控制就越有必要,根据 1) 中的家电分类,重要负荷家电的通断状态与用户的用电习惯的关联性较大,而可控负荷家电的通断状态与家电电费支出关联性较大,采用某家电 i 可控度指数 $K_{c,i}$ 来表征该家电实时状态,用户可根据历史用电行为,进行分时电价响应的,并依据家电可控度实现智能家电合理控制,其计算公式如下:

$$K_{c,i,t} = \begin{cases} \left| 1 - \frac{\Delta T}{\Delta t_i} \right| & i \in E_a \\ \frac{M_{n,i,t} - M_{s,i,t}}{M_{s,i,t}} & i \in E_u \end{cases} \quad (9)$$

式中, ΔT 为重要负荷家电 i 在当前时段下已开启时段与 2) 中求得的家电器的模糊用电时段矩阵 T_i 中最接近时段的交叉时段, $\overline{\Delta t_i}$ 为 2) 中求得的平均用电时长, $M_{n,i,t}$ 为 t 时段家电 i 的运行电费值, $M_{s,i,t}$ 为家电 i 的若在最低电价时段对应的电费值, E_a 是可控负荷家电集合, E_u 是重要负荷家电集合,由式 (9) 可知,对于重要负荷家电来说,用户用电行为与用户用电习惯息息相关,因此,其可控度指数通过其用电习惯改变程度来描述,可控度指数越大,说明用户满意度越低,其相应家电参与分时电价响应的控制优先级越高,对于可控负荷家电来说,用户用电行为与电费支出息息相关,其可控度指数通过其用电习惯改变程度来描述,可控度指数越大,说明用户满意度越低,其相应家电参与分时电价响应的控制优先级越高, $K_{c,i}$ 已经过标幺化处理,可作为所有家电的典型状态参数进行比较处理;

针对负荷家电分类,确定家电运行状态模型,家电运行状态模型分为两种,分别是可控负荷家电的运行状态模型和重要负荷家电的运行状态模型:

(1) 可控负荷家电的运行状态模型如下:

$$S_{a,t} = \begin{cases} 0 & Q_{n,t} < Q_{a,s} \\ 1 & Q_{n,t} > Q_{a,s} + \Delta Q_a \\ S_{a,t-1} & Q_{a,s} \leq Q_{n,t} \leq Q_{a,s} + \Delta Q_a \end{cases} \quad (10)$$

式中, $S_{a,t}$ 为 t 时段的可控负荷家电工作状态,0 表示断电状态,1 表示通电状态, $Q_{n,t}$ 表示 t 时段的对应的影响因子实时值, $Q_{a,s}$ 表示最高设定值, ΔQ_a 为设定范围,对于可控负荷家电的空调,其运行状态与温度设定有关,当室温最高时,空调通电,低于最低值时,空调断电,处于设定范围内,保持原有状态;

(2) 重要负荷家电的运行状态模型如下:

$$S_{u,t} = \begin{cases} 0 & t \notin T_{i,t} \\ 1 & t \in T_{i,t} \end{cases} \quad (11)$$

式中, $S_{u,t}$ 为 t 时段的重要负荷家电工作状态,0 表示断电状态,1 表示通电状态, $T_{i,t}$ 表示距离 t 时段最近离模糊用电时段矩阵的分量,对比重要负荷家电的微波炉,其运行状态

与用户历史用电习惯有关,处于历史用电时段应开启,否则,应断电;

5) 根据家电可控度指数,确定家电动态控制优先级和控制算法,实现家电的智能控制
为实现合理的家电控制,需对家电的控制优先级进行确定,引入家电控制动态优先级 K , K 可随家电状态实时变化,某家电对应的 K 值越大,越优先控制,

对于家电 i 来说,该家电可控度指数 $K_{c,i}$ 越大,说明用户满意度越低,则其动态控制优先级越高,因此,可以用家电的可控度指数 $K_{c,i}$ 来表征家电动态控制优先级 K , 具体计算过程如下:

表征 K 的采样函数 $K_{app}(t)$ 的求解公式如下:

$$K_{app}(t) = K_c \left(n \left\lfloor \frac{t}{n} \right\rfloor \right) \quad (12)$$

家电优先级函数 $K(t)$ 的求解公式如下:

$$K(t) = N(K_{app}(t)) \quad (13)$$

式中, $\lfloor x \rfloor$ 为小于 x 的最大整数, $N(x)$ 为 x 的排序函数, $K_{app}(t)$ 为 t 时段的表征 K 的采样值, $K_c(t)$ 为 t 时段的家电可控度指数,先按家电负荷类型对可控度指数以 n_{min} 为采样周期,得到家电的可控度指数 K_c , 再对 p 种可控负荷家电的 K_c 排序和 q 种重要负荷家电的 K_c 排序,并将其分别划分为 p 个等级和 q 个等级。其中, p 表示可控负荷家电控制优先级最高, q 表示重要负荷家电控制优先级最高,分析可知,当 n 较小时, K 值可能造成家电通断电状态的频繁变化,影响家电正常工作,当 n 较大时, K 值的更新周期较长,该动态优先级有一定滞后性,将影响用户的满意度,因此需合理选择 n 值,基于用户的家电用户习惯特征,令 n 值取各个家电的最小用电时长 $\Delta t_{i,min}$ 进行初始设定,用户可自主调整,这样不仅使家电控制符合家电使用规律,同时,避免了控制的滞后性;

家电控制目标是:在电网分时电价政策下,保证用户正常用电生活,尽量减少电费开支,按照家电可控度系数确定家电的动态控制优先级 K ,并由高到低执行控制决策,设某时段的家电总负荷量为 $P1$, 响应分时电价的预测的某时段负荷电量限制 $P2$, 本发明的控制原则是先基于分时电价和用户习惯的预测负荷分布进行家电控制,后基于用电习惯对重要负荷家电的进行二次家用电控制,具体的控制算法如下:

(e) 接收电网下一天的分时电价政策,计算分时电价 P_t , 并根据历史用电习惯,计算 $P2$;

(f) 据家电负荷类型和家电实时运行数据计算 K_c 和 K 并排序,确定可控负荷家电和重要负荷家电的动态优先级,在对比判断 $P1$ 和 $P2$ 的大小;

(g) 当 $P1 > P2$ 时,实施第一阶段控制,对可控负荷家电进行控制,按照家电动态优先级由低到高顺序,若该家电为通电状态,则令其断电并更新 $P1$, 然后重复 (f), 否则若该家电处于断电状态,则判定较低优先级家电状态并进行决策,直至 $P1 < P2$ 满足要求,若仍不满足,对重要负荷家电极限第二阶段控制,根据家电的工作状态模型,进行第二阶段状态控制,当重要负荷家电进行控制过程时,按照家电动态优先级由低到高顺序,若该家电为通电状态,需向用户发出家电工作状态改变提醒, $1min$ 内无回应或同意,则自动控制,若回应拒绝,则不执行该控制,控制完成后,更新 $P1$, 然后重复 (f), 否则若该家电处于断电状态,则判定较低优先级家电状态并进行决策,直至 $P1 < P2$ 满足要求;

(h) 当 $P1 < P2$ 时, 根据家电的工作状态模型, 进行第二阶段状态控制, 当重要负荷家电进行控制过程时, 需向用户发出家电工作状态改变提醒, 1min 内同意, 则自动控制, 若回应拒绝或无回应, 则不执行该控制, 控制完成后, 进行家电状态更新, 直至 $P1 < P2$ 满足要求, 进入下一轮控制。

2. 一种基于分时电价响应的交互式家电智能控制系统, 其特征是, 它由智能交互终端、可控智能插座、智能电表采集模块、小区控制中心、电网控制中心组成, 智能交互终端与可控智能插座、小区控制中心、智能电表数据采集模块相连, 其中, 用电分析模块用于家电历史用电习惯分析, 家电控制模块可用于家电运行状态模型构建, 可控度指数计算, 家电控制优先级确定, 控制算法模拟, LED 触摸显示屏用于基本信息录入, 家电运行状态显示, 时钟模块用于确定系统时间, 电源模块用于智能交互终端的电量供给, 通信模块用于上传由可控智能插座采集到的家电运行状态数据, 接收由电网侧发送到小区控制中心并转发给用户的分时电价政策信息, 存储模块用于存储家电运行状态数据、可控度指数、家电动态控制优先级等数据, 告警模块用于向用户发出家电通断提醒, 可控智能插座与智能交互终端相连, 用于测量家电的运行状态, 上传运行状态数据, 接收控制信号, 实现智能控制, 智能电表采集模块, 与智能电表相连, 用于采集智能电表数据, 小区控制中心与电网控制中心和用户的智能交互终端相连, 用于接收存储电网侧分时电价政策信息、用户侧的家电运行状态数据, 分析不同用户的家电运行特点, 下发家电负荷设置需求, 电网控制中心与小区控制中心相连, 用于发布分时电价政策信息, 确保电网负荷平衡。

一种基于分时电价响应的交互式家电智能控制方法和系统

技术领域

[0001] 本发明涉及家电智能控制领域,是一种基于分时电价响应的交互式家电智能控制方法和系统。

背景技术

[0002] 随着智能电网的快速发展,家庭用户智能家电持有量增多,家电负荷不断增加,为了合理减少用电支出,科学的引导用户削峰填谷,家电的智能控制势在必行,同时,智能双向交互技术和需求响应技术的出现,使得用户通过控制家电来主动参与分时电价响应成为可能。

[0003] 目前家庭智能控制方式有:中国发明专利申请号:201110044875.8,公开了一种控制家用电器运行模式的方法、装置及智能家电控制器,它以实现根据电网负荷变化的情况,对家电进行自动控制的技术问题,从而提高能源的使用效率。它是从电网中提取窄带电力线载波通信 PLC 信号,之后将 PLC 信号转化成逻辑电平 TTL,根据转化的逻辑电平 TTL 来确定当前的电网电价信息,再将所诉的电价信息转换成与家用电器对应的控制命令,最后通过电器的控制接口将命令发送给电器以达到控制电器的作用,但是,它仅考虑电网负荷变化因素对家用电器控制的影响,而忽略了用户的用电习惯、分时电价响应和满意度等因素,其控制过程不够人性化,对用户的正常用电生活影响较大,用户接收程度有限。

发明内容

[0004] 本发明所要解决的技术问题之一是:提供一种基于分时电价响应的交互式家电智能控制方法,这种方法基于智能用电双向交互技术,从分时电价响应、电费支出、用户的用电习惯和舒适度四个角度来分析家电运行控制特性,并根据分时电价信息和家电的实时运行状态信息计算家电可控度指数,确定家电的动态控制优先级,在满足用户正常用电生活的基础上,以改变用户的用电习惯和满足用户的舒适度。

[0005] 本发明所要解决的技术问题之二是:提供一种基于分时电价响应的交互式家电智能控制系统。

[0006] 解决其技术问题采用的技术方案之一是:一种基于分时电价响应的交互式家电智能控制方法,其特征是,它包括以下步骤:

[0007] 1) 根据家电负荷类型自主设置家电分类

[0008] 按照家电使用对用户生活的影响程度将家电分为重要负荷家电和可控负荷家电,所述重要负荷家电指电炉、照明类,一旦断电会给用户生活造成较大影响的家电;所述可控负荷家电指空调、热水器用电时间及规律比较稳定、且其短时间断电几乎不影响居民正常生活的家电,对于用户所拥有的全部家电的负荷分类设定可由用户自主调整;

[0009] 2) 根据采集到的 30 天的历史家电运行状态数据,确定用户的家电使用习惯特征

[0010] 用户的家电使用习惯特征:由家电的使用优先级表征用户的电器使用偏好;由家电的模糊用电时段表征用户的电器习惯运行区间;由家电使用的最低时长表征电器运行时

间的最低界限值；由家电使用的最高时长表征电器运行时间的最低界限值，由于用户在工作日与休息日的家电使用行为差异性较大，因此，其电器使用习惯有工作日和休息日之分，各个家电的使用习惯特征的具体求解过程如下：

[0011] (1) 选取用户的家电使用行为分析的样本

[0012] 从存储模块中的历史的家电状态数据集中选取近 30 天内的家电状态数据按工作日和非工作日进行划分作为分析样本，其家电运行状态数据的主要属性包括家电编号，家电名称，家电开启时间，家电关闭时间，家电的运行功率等，家电的状态数据由可控智能插座采集，传输到智能交互终端暂时存储并发送给小区的智能控制中心统一存储，其采集间隔为 1min；

[0013] (2) 建立基于用户习惯的家电使用优先级映射表

[0014] 首先，确定家电使用优先级，假设该用户的家电总量为 n ，则其基于用户习惯的家电使用优先级划分为 n 级，其次，求解各家电的使用频率，根据当前日确定日期类型，即休息日或工作日，计算求出某家电 i 在样本数据中的使用频率为 f_i ：

$$[0015] \quad f_i = \frac{d_i}{t_d} \quad (1)$$

[0016] 其中， d_i 为家电在 t_d 天内的使用次数， t_d 为按当日日期类型对应的家电使用行为分析样本中的天数，最后，确定优先级，建立映射表，通过对 f_i 进行升序排列，其对应家电的优先级分别为 1 到 n ， n 表示的优先级最大，进而建立优先级映射表；

[0017] (3) 求解基于用户习惯的家电使用基本参数

[0018] 基于第一步得到的样本数据，计算并求出各个家电的最小用电时长 $\Delta t_{i,\min}$ ，最大用电时长 $\Delta t_{i,\max}$ ，平均时长 $\overline{\Delta t_i} = \frac{\Delta t_{i,\min} + \Delta t_{i,\max}}{2}$ ，平均用电功率 $\overline{p_i}$ ，根据各个家电的用电时

段 $(t_{i,s}, t_{i,e})$ 的均值时间点 $t_{i,\text{mid}}$ 进行 K-Means 聚类分析，算法步骤如下：

[0019] ①选取特征向量，构建样本特征向量集，由于同一家电的用电时段差异性不大，所以，家电使用均值时间点最能反映出用户的家电使用行为，且同一电器不同日期具有相似的家电使用特性，故选取家电的用电时段均值点 $t_{i,\text{mid}}$ 作为特征向量，以该家电的所有样本的用电时段均值点的按时间升序排列作为样本特征向量集；

[0020] ②初始化，设样本特征向量集中有 N 个均值点，选取上一天的出现的 k 个均值点作为初始聚类中心，聚类中心矩阵为：

$$[0021] \quad U_i = [U_{i,1}, U_{i,2}, \dots, U_{i,k}] \quad (2)$$

[0022] 对数据集中家电 i 第 j 个样本点 $t_{i,j}$ ，计算其与各聚类中心的时差距离，并获取所属的类别标号，计算公式如下：

$$[0023] \quad U_m(j) \leftarrow \arg \min_j |t_{i,j} - U_{i,m}|, m=1, \dots, k; j=1, \dots, N \quad (3)$$

[0024] 式中， $U_m(j)$ 代表样本点 $t_{i,j}$ 与 k 个簇距离最近的簇；

[0025] ③重新计算 k 个聚类中心，计算公式如下：

$$[0026] \quad U_{i,m} = \frac{1}{N_m} \sum_{t_{i,j} \in U_{i,m}} t_{i,j} \quad (4)$$

[0027] 式中， N_m 是以 $U_{i,m}$ 为聚类中心的簇的样本个数；

[0028] ④重复计算,直到准则函数收敛为止,收敛评判依据如下:

$$[0029] \quad E = \sum_{j=1}^k \sum_{t \in U_{i,m}} |t - m_j|^2 \quad (5)$$

[0030] 式中, E 是样本集中所有对象的平方误差的总和, t 是空间中的点, m_j 是簇 $U_{i,m}$ 的平均值,最终求出的家电 i 的聚类中心矩阵 U_i ,对其均值点按平均时长 $\overline{\Delta t_i}$ 等值扩展,确定该家电的模糊用电时段矩阵 T_i ,本步骤整体由智能交互端的用电分析模块实现;

[0031] 3) 根据接收电网的分时电价政策信息,预测确定用户各时段对应的基本负荷需求范围

[0032] 分时电价指根据系统负荷水平,每时段执行不同电费标准的电价制度,分时电价可表示为

$$[0033] \quad P_t = P_0 \cdot (1 + P_{r,t}), t = 1, 2, \dots, N_p \quad (6)$$

[0034] 式中, t 表示时段, N_p 为划分的总时段数, P_t 表示 t 时刻的费率标准,单位 $\text{¥}/\text{KW} \cdot \text{h}$, P_0 表示基础电价, $P_{r,t}$ 表示各时段相对费率标准相对基础电价的浮动比率,分时电价响应是以通过对各时段的进行负荷电量分配限制体现,其约束条件是满足用户电费相对较少的限制,以近 30 天的日平均电费支出 M 作为电费支出额度来判断;

[0035] 负荷分配过程如下:

[0036] (a) 根据用电习惯特征,求解各个家电各时段对应的标准用电量 $Q_{b,i,t}$;

[0037] (b) 求解各时段的总负荷 $Q_{\text{sum},t}$,求解公式如下:

$$[0038] \quad Q_{\text{sum},t} = \sum_{i=1}^{N_e} Q_{b,i,t} \quad (7)$$

[0039] 式中, N_e 为家电个数;

[0040] (c) 求解总电费支出 M_s ,求解公式如下:

$$[0041] \quad M_s = \sum_{t=1}^{N_p} P_t \quad (8)$$

[0042] (d) 判断 M_s 是否超过电费支出额度 M,若超出,根据家电使用优先级由低到高的顺序的对单个家电的使用时间向相邻低电价时段,时间差在一小时以内进行适度偏移,其偏移时长为时间差,若无相邻低电价时段,继续对下一个家电进行判断,调整完一个家电的运行时段后,重复 (b) 和 (c),直到 M_s 在电费支出额度 M 之内,各时段的总负荷 $Q_{\text{sum},t}$ 即各时段对应的负荷电量限制上限,重要负荷家电的总负荷 $Q_{\text{imp},t}$ 与 $Q_{\text{sum},t}$ 求解相同,即其负荷电量限制下限;

[0043] 4) 根据已求的的用户家电使用习惯特征和负荷设定,计算家电可控度指数,并确定各家电的运行状态模型

[0044] 用户被控家电的通断电状态往往与用户的满意度有关,同时用户的满意度又受其家电使用情况和用电习惯影响,采用家电可控度指数 K_c 来表征该家电实时状态对用户用电行为的影响,其值越大,用户的满意度越低,其控制就越有必要,根据 1) 中的家电分类,重要负荷家电的通断状态与用户的用电习惯的关联性较大,而可控负荷家电的通断状态与家电电费支出关联性较大,采用某家电 i 可控度指数 $K_{c,i}$ 来表征该家电实时状态,用户可根据历史用电行为,进行分时电价响应的,并依据家电可控度实现智能家电合理控制,其计算公

式如下：

$$[0045] \quad K_{c,i,t} = \begin{cases} \left| 1 - \frac{\Delta T}{\Delta t_i} \right| & i \in E_a \\ \frac{M_{n,i,t} - M_{s,i,t}}{M_{s,i,t}} & i \in E_u \end{cases} \quad (9)$$

[0046] 式中， ΔT 为重要负荷家电 i 在当前时段下已开启时段与 2) 中求得的家电的模糊用电时段矩阵 T_i 中最接近时段的交叉时段， $\overline{\Delta t_i}$ 为 2) 中求得的平均用电时长， $M_{n,i,t}$ 为 t 时段家电 i 的运行电费值， $M_{s,i,t}$ 为家电 i 的若在最低电价时段对应的电费值， E_a 是可控负荷家电集合， E_u 是重要负荷家电集合，由式 (9) 可知，对于重要负荷家电来说，用户用电行为与用户用电习惯息息相关，因此，其可控度指数通过其用电习惯改变程度来描述，可控度指数越大，说明用户满意度越低，其相应家电参与分时电价响应的控制优先级越高，对于可控负荷家电来说，用户用电行为与电费支出息息相关，其可控度指数通过其用电习惯改变程度来描述，可控度指数越大，说明用户满意度越低，其相应家电参与分时电价响应的控制优先级越高， $K_{c,i}$ 已经过标幺化处理，可作为所有家电的典型状态参数进行比较处理；

[0047] 针对负荷家电分类，确定家电运行状态模型，家电运行状态模型分为两种，分别是可控负荷家电的运行状态模型和重要负荷家电的运行状态模型：

[0048] (1) 可控负荷家电的运行状态模型如下：

$$[0049] \quad S_{a,t} = \begin{cases} 0 & Q_{n,t} < Q_{a,s} \\ 1 & Q_{n,t} > Q_{a,s} + \Delta Q_a \\ S_{a,t-1} & Q_{a,s} \leq Q_{n,t} \leq Q_{a,s} + \Delta Q_a \end{cases} \quad (10)$$

[0050] 式中， $S_{a,t}$ 为 t 时段的可控负荷家电工作状态，0 表示断电状态，1 表示通电状态， $Q_{n,t}$ 表示 t 时段的对应的影响因子实时值， $Q_{a,s}$ 表示最高设定值， ΔQ_a 为设定范围，对于可控负荷家电的空调，其运行状态与温度设定有关，当室温最高时，空调通电，低于最低值时，空调断电，处于设定范围内，保持原有状态；

[0051] (2) 重要负荷家电的运行状态模型如下：

$$[0052] \quad S_{u,t} = \begin{cases} 0 & t \notin T_{i,t} \\ 1 & t \in T_{i,t} \end{cases} \quad (11)$$

[0053] 式中， $S_{u,t}$ 为 t 时段的重要负荷家电工作状态，0 表示断电状态，1 表示通电状态， $T_{i,t}$ 表示距离 t 时段最近离模糊用电时段矩阵的分量，对比重要负荷家电的微波炉，其运行状态与用户历史用电习惯有关，处于历史用电时段应开启，否则，应断电；

[0054] 5) 根据家电可控度指数，确定家电动态控制优先级和控制算法，实现家电的智能控制

[0055] 为实现合理的家电控制，需对家电的控制优先级进行确定，引入家电控制动态优先级 K ， K 可随家电状态实时变化，某家电对应的 K 值越大，越优先控制，

[0056] 对于家电 i 来说，该家电可控度指数 $K_{c,i}$ 越大，说明用户满意度越低，则其动态控制优先级越高，因此，可以用家电的可控度指数 $K_{c,i}$ 来表征家电动态控制优先级 K ，具体计算过程如下：

[0057] 表征 K 的采样函数 $K_{app}(t)$ 的求解公式如下：

[0058]

$$K_{app}(t) = K_c \left(n \left\lfloor \frac{t}{n} \right\rfloor \right) \quad (12)$$

[0059] 家电优先级函数 $K(t)$ 的求解公式如下：

$$K(t) = N(K_{app}(t)) \quad (13)$$

[0061] 式中, $\lfloor x \rfloor$ 为小于 x 的最大整数, $N(x)$ 为 x 的排序函数, $K_{app}(t)$ 为 t 时段的表征 K 的采样值, $K_c(t)$ 为 t 时段的家电可控度指数, 先按家电负荷类型对可控度指数以 n_{min} 为采样周期, 得到家电的可控度指数 K_c , 再对 p 种可控负荷家电的 K_a 排序和 q 种重要负荷家电的 K_b 排序, 并将其分别划分为 p 个等级和 q 个等级。其中, p 表示可控负荷家电控制优先级最高, q 表示重要负荷家电控制优先级最高, 分析可知, 当 n 较小时, K 值可能造成家电通断电状态的频繁变化, 影响家电正常工作, 当 n 较大时, K 值的更新周期较长, 该动态优先级有一定滞后性, 将影响用户的满意度, 因此需合理选择 n 值, 基于用户的家电用户习惯特征, 令 n 值取各个家电的最小用电时长 $\Delta t_{i, min}$ 进行初始设定, 用户可自主调整, 这样不仅使家电控制符合家电使用规律, 同时, 避免了控制的滞后性；

[0062] 家电控制目标是：在电网分时电价政策下, 保证用户正常用电生活, 尽量减少电费开支, 按照家电可控度系数确定家电的动态控制优先级 K, 并由高到低执行控制决策, 设某时段的家电总负荷量为 P1, 响应分时电价的预测的某时段负荷电量限制 P2, 本发明的控制原则是先基于分时电价和用户习惯的预测负荷分布进行家电控制, 后基于用电习惯对重要负荷家电的进行二次家用电控制, 具体的控制算法如下：

[0063] (e) 接收电网下一天的分时电价政策, 计算分时电价 P_t , 并根据历史用电习惯, 计算 P2；

[0064] (f) 据家电负荷类型和家电实时运行数据计算 K_c 和 K 并排序, 确定可控负荷家电和重要负荷家电的动态优先级, 在对比判断 P1 和 P2 的大小；

[0065] (g) 当 $P1 > P2$ 时, 实施第一阶段控制, 对可控负荷家电进行控制, 按照家电动态优先级由低到高顺序, 若该家电为通电状态, 则令其断电并更新 P1, 然后重复 (f), 否则若该家电处于断电状态, 则判定较低优先级家电状态并进行决策, 直至 $P1 < P2$ 满足要求, 若仍不满足, 对重要负荷家电极限第二阶段控制, 根据家电的工作状态模型, 进行第二阶段状态控制, 当重要负荷家电进行控制过程时, 按照家电动态优先级由低到高顺序, 若该家电为通电状态, 需向用户发出家电工作状态改变提醒, 1min 内无回应或同意, 则自动控制, 若回应拒绝, 则不执行该控制, 控制完成后, 更新 P1, 然后重复 (f), 否则若该家电处于断电状态, 则判定较低优先级家电状态并进行决策, 直至 $P1 < P2$ 满足要求；

[0066] (h) 当 $P1 < P2$ 时, 根据家电的工作状态模型, 进行第二阶段状态控制, 当重要负荷家电进行控制过程时, 需向用户发出家电工作状态改变提醒, 1min 内同意, 则自动控制, 若回应拒绝或无回应, 则不执行该控制, 控制完成后, 进行家电状态更新, 直至 $P1 < P2$ 满足要求, 进入下一轮控制。

[0067] 解决其技术问题采用的技术方案二是：提供一种基于分时电价响应的交互式家电智能控制系统, 其特征是, 它由智能交互终端、可控智能插座、智能电表采集模块、小区控制

中心、电网控制中心组成,智能交互终端与可控智能插座、小区控制中心、智能电表数据采集模块相连,其中,用电分析模块用于家电历史用电习惯分析,家电控制模块可用于家电运行状态模型构建,可控度指数计算,家电控制优先级确定,控制算法模拟,LED 触摸显示屏用于基本信息录入,家电运行状态显示,时钟模块用于确定系统时间,电源模块用于智能交互终端的电量供给,通信模块用于上传由可控智能插座采集到的家电运行状态数据,接收由电网侧发送到小区控制中心并转发给用户的分时电价政策信息,存储模块用于存储家电运行状态数据、可控度指数、家电动态控制优先级等数据,告警模块用于向用户发出家电通断提醒,可控智能插座与智能交互终端相连,用于测量家电的运行状态,上传运行状态数据,接收控制信号,实现智能控制,智能电表采集模块,与智能电表相连,用于采集智能电表数据,小区控制中心与电网控制中心和用户的智能交互终端相连,用于接收存储电网侧分时电价政策信息、用户侧的家电运行状态数据,分析不同用户的家电运行特点,下发家电负荷设置需求,电网控制中心与小区控制中心相连,用于发布分时电价政策信息,确保电网负荷平衡。

[0068] 本发明的一种分时电价响应的交互式家电智能控制系统,能够实时采集被控家电运行状态信息并进行数据处理,针对不同的家电实现通断电控制,可实现电网与智能交互终端进行双向通信,一方面将实时采集的家电状态数据传送至智能交互终端,再传送至小区控制中心,最后,传输到电网公司供其参考,另一方面可接收电网下发的分时电价政策信息,可通过对历史家电运行状态数据进行分析,得到家电使用习惯,同时,根据录入基本背景数据和电费支出额度,家电通断提醒,展示家电实时状态信息、分时电价政策信息和家电实时状态信息等,存储近期的家电历史运行状态数据等功能。

[0069] 本发明的一种基于分时电价响应的交互式家电智能控制方法,实现了用户家电基于分时电价的响应控制,显著改善了电网整体负荷曲线,减少了峰谷差,同时在响应分时电价的基础上,兼顾用户的用电习惯和满意度,提出了家电的可控度指数概念,并据此实时计算家电动态控制优先级,使控制结果尽量不影响用户正常生活,提高了家电利用效率,本发明也具有较好交互性,用户接收度高,并且可指导用户合理错峰用电,显著减少用电费用。

附图说明

[0070] 图 1 为本发明的一种基于分时电价响应的交互式家电智能控制方法流程图;

[0071] 图 2 为本发明的一种基于分时电价响应的交互式家电智能控制算法流程图;

[0072] 图 3 为本发明的一种基于分时电价响应的交互式家电智能控制系统结构图。

具体实施方式

[0073] 下面利用附图和具体实施例对本发明作进一步说明。

[0074] 参照图 1,本发明的一种基于分时电价响应的交互式家电智能控制方法流程图,具体步骤详述如下:

[0075] 1) 根据家电负荷类型自主设置家电分类

[0076] 按照家电使用对用户生活的影响程度将家电分为重要负荷家电和可控负荷家电,重要负荷家电指如电炉、照明类家电等其断电会给用户生活造成较大影响的家电,可控负荷指如空调、热水器等用电时间及规律较为稳定,且其短时间断电几乎不影响居民正常生

活的家电,其中,对于用户所拥有的全部家电的负荷分类设定可由用户自主调整;

[0077] 2) 根据采集到的 30 天的历史家电运行状态数据,确定用户的家电使用习惯特征

[0078] 用户的家电使用习惯特征由家电的使用优先级(表征用户的电器使用偏好)、家电的模糊用电时段(表征用户的电器习惯运行区间)、家电使用的最低时长(表征电器运行时间的最低界限值)、家电使用的最高时长(表征电器运行时间的最低界限值)等来综合描述,由于用户在工作日与休息日的家电使用行为差异性较大,因此,其电器使用习惯有工作日和休息日之分,各个家电的使用习惯特征的具体求解过程如下:

[0079] (1) 选取用户的家电使用行为分析的样本

[0080] 从存储模块中的历史的家电状态数据集中选取近 30 天内的家电状态数据按工作日和非工作日进行划分作为分析样本,其家电运行状态数据的主要属性包括家电编号,家电名称,家电开启时间,家电关闭时间,家电的运行功率等,家电的状态数据由可控智能插座采集,传输到智能交互终端暂时存储并发送给小区的智能控制中心统一存储,其采集间隔为 1min;

[0081] (2) 建立基于用户习惯的家电使用优先级映射表

[0082] 首先,确定家电使用优先级,假设该用户的家电总量为 n ,则其基于用户习惯的家电使用优先级划分为 n 级,其次,求解各家电的使用频率,根据当前日确定日期类型(休息日或工作日),计算求出某家电 i 在样本数据中的使用频率为 f_i :

$$[0083] \quad f_i = \frac{d_i}{t_d} \quad (1)$$

[0084] 其中, d_i 为家电在 t_d 天内的使用次数, t_d 为按当日日期类型对应的家电使用行为分析样本中的天数,最后,确定优先级,建立映射表,通过对 f_i 进行升序排列,其对应家电的优先级分别为 1 到 n , n 表示的优先级最大,进而建立优先级映射表;

[0085] (3) 求解基于用户习惯的家电使用基本参数

[0086] 基于第一步得到的样本数据,计算并求出各个家电的最小用电时长 $\Delta t_{i,\min}$,最大用电时长 $\Delta t_{i,\max}$,平均时长 $\overline{\Delta t_i} = \frac{\Delta t_{i,\min} + \Delta t_{i,\max}}{2}$,平均用电功率 $\frac{1}{P_i}$,根据各个家电的用电时

段 $(t_{i,s}, t_{i,e})$ 的均值时间点 $t_{i,\text{mid}}$ 进行 K-Means 聚类分析,算法步骤如下:

[0087] ①选取特征向量,构建样本特征向量集,由于同一家电的用电时段差异性不大,所以,家电使用均值时间点最能反映出用户的家电使用行为,且同一电器不同日期具有相似的家电使用特性,故选取家电的用电时段均值点 $t_{i,\text{mid}}$ 作为特征向量,以该家电的所有样本的用电时段均值点的按时间升序排列作为样本特征向量集;

[0088] ②初始化,设样本特征向量集中有 N 个均值点,选取上一天的出现的 k 个均值点作为初始聚类中心,聚类中心矩阵为:

$$[0089] \quad U_i = [U_{i,1}, U_{i,2}, \dots, U_{i,k}] \quad (2)$$

[0090] 对数据集中家电 i 第 j 个样本点 $t_{i,j}$,计算其与各聚类中心的时差距离,并获取所属的类别标号,计算公式如下:

$$[0091] \quad U_m(j) \leftarrow \arg \min_j |t_{i,j} - U_{i,m}|, m = 1, \dots, k; j = 1, \dots, N, \quad (3)$$

[0092] 式中, $U_m(j)$ 代表样本点 $t_{i,j}$ 与 k 个簇距离最近的簇;

[0093] ③重新计算 k 个聚类中心,计算公式如下:

$$[0094] \quad U_{i,m} = \frac{1}{N_m} \sum_{t_{i,j} \in U_{i,m}} t_{i,j} \quad (4)$$

[0095] 式中, N_m 是以 $U_{i,m}$ 为聚类中心的簇的样本个数;

[0096] ④重复计算,直到准则函数收敛为止,收敛评判依据如下:

$$[0097] \quad E = \sum_{j=1}^k \sum_{t \in U_{i,m}} [t - m_j]^2 \quad (5)$$

[0098] 式中, E 是样本集中所有对象的平方误差的总和, t 是空间中的点, m_j 是簇 $U_{i,m}$ 的平均值,最终求出的家电 i 的聚类中心矩阵 U_i ,对其均值点按平均时长 $\overline{\Delta t_i}$ 等值扩展,确定该家电的模糊用电时段矩阵 T_i ,本步骤整体由智能交互端的用电分析模块实现;

[0099] 3) 根据接收电网的分时电价政策信息,预测确定用户各时段对应的基本负荷需求范围

[0100] 分时电价指根据系统负荷水平,每时段执行不同电费标准的电价制度,分时电价可表示为

$$[0101] \quad P_t = P_0 \cdot (1 + P_{r,t}), t = 1, 2, \dots, N_p \quad (6)$$

[0102] 式中, t 表示时段, N_p 为划分的总时段数, P_t 表示 t 时刻的费率标准,单位 $\text{¥}/\text{KW} \cdot \text{h}$, P_0 表示基础电价, $P_{r,t}$ 表示各时段相对费率标准相对基础电价的浮动比率,分时电价响应是以通过对各时段的进行负荷电量分配限制体现,其约束条件是满足用户电费相对较少的限制,以近 30 天的日平均电费支出 M 作为电费支出额度来判断;

[0103] 负荷分配过程如下:

[0104] (a) 根据用电习惯特征,求解各个家电各时段对应的标准用电量 $Q_{b,i,t}$;

[0105] (b) 求解各时段的总负荷 $Q_{\text{sum},t}$,求解公式如下:

$$[0106] \quad Q_{\text{sum},t} = \sum_{i=1}^{N_e} Q_{b,i,t} \quad (7)$$

[0107] 式中, N_e 为家电个数;

[0108] (c) 求解总电费支出 M_s ,求解公式如下:

$$[0109] \quad M_s = \sum_{t=1}^{N_p} P_t \quad (8)$$

[0110] (d) 判断 M_s 是否超过电费支出额度 M,若超出,根据家电使用优先级由低到高的顺序的对单个家电的使用时间向相邻低电价时段,时间差在一小时以内进行适度偏移,其偏移时长为时间差,若无相邻低电价时段,继续对下一个家电进行判断,调整完一个家电的运行时段后,重复 (b) 和 (c),直到 M_s 在电费支出额度 M 之内,各时段的总负荷 $Q_{\text{sum},t}$ 即各时段对应的负荷电量限制上限,重要负荷家电的总负荷 $Q_{\text{imp},t}$ 与 $Q_{\text{sum},t}$ 求解相同,即其负荷电量限制下限;

[0111] 4) 根据已求的的用户家电使用习惯特征和负荷设定,计算家电可控度指数,并确定各家电的运行状态模型

[0112] 用户被控家电的通断电状态往往与用户的满意度有关,同时用户的满意度又受其

家电使用情况和用电习惯影响,采用家电可控度指数 K_c 来表征该家电实时状态对用户用电行为的影响,其值越大,用户的满意度越低,其控制就越有必要,根据 1) 中的家电分类,重要负荷家电的通断状态与用户的用电习惯的关联性较大,而可控负荷家电的通断状态与家电电费支出关联性较大,采用某家电 i 可控度指数 $K_{c,i}$ 来表征该家电实时状态,用户可根据历史用电行为,进行分时电价响应的,并依据家电可控度实现智能家电合理控制,其计算公式如下:

$$[0113] \quad K_{c,i,t} = \begin{cases} \left| 1 - \frac{\Delta T}{\Delta t_i} \right| & i \in E_a \\ \frac{M_{n,i,t} - M_{s,i,t}}{M_{s,i,t}} & i \in E_u \end{cases} \quad (9)$$

[0114] 式中, ΔT 为重要负荷家电 i 在当前时段下已开启时段与 2) 中求得的家电器的模糊用电时段矩阵 T_i 中最接近时段的交叉时段, $\overline{\Delta t_i}$ 为 2) 中求得的平均用电时长, $M_{n,i,t}$ 为 t 时段家电 i 的运行电费值, $M_{s,i,t}$ 为家电 i 的若在最低电价时段对应的电费值, E_a 是可控负荷家电集合, E_u 是重要负荷家电集合,由式 (9) 可知,对于重要负荷家电来说,用户用电行为与用户用电习惯息息相关,因此,其可控度指数通过其用电习惯改变程度来描述,可控度指数越大,说明用户满意度越低,其相应家电参与分时电价响应的控制优先级越高,对于可控负荷家电来说,用户用电行为与电费支出息息相关,其可控度指数通过其用电习惯改变程度来描述,可控度指数越大,说明用户满意度越低,其相应家电参与分时电价响应的控制优先级越高, $K_{c,i}$ 已经过标幺化处理,可作为所有家电的典型状态参数进行比较处理;

[0115] 针对负荷家电分类,确定家电运行状态模型,家电运行状态模型分为两种,分别是可控负荷家电的运行状态模型和重要负荷家电的运行状态模型:

[0116] (1) 可控负荷家电的运行状态模型如下:

$$[0117] \quad S_{a,t} = \begin{cases} 0 & Q_{n,t} < Q_{a,s} \\ 1 & Q_{n,t} > Q_{a,s} + \Delta Q_a \\ S_{a,t-1} & Q_{a,s} \leq Q_{n,t} \leq Q_{a,s} + \Delta Q_a \end{cases} \quad (10)$$

[0118] 式中, $S_{a,t}$ 为 t 时段的可控负荷家电工作状态 (0 表示断电状态, 1 表示通电状态), $Q_{n,t}$ 表示 t 时段的对应的影响因子实时值, $Q_{a,s}$ 表示最高设定值, ΔQ_a 为设定范围,以空调 (可控负荷家电) 为例,其运行状态与温度设定有关,当室温最高时,空调通电,低于最低值时,空调断电,处于设定范围内,保持原有状态;

[0119] (2) 重要负荷家电的运行状态模型如下:

$$[0120] \quad S_{u,t} = \begin{cases} 0 & t \notin T_{i,t} \\ 1 & t \in T_{i,t} \end{cases} \quad (11)$$

[0121] 式中, $S_{u,t}$ 为 t 时段的重要负荷家电工作状态 (0 表示断电状态, 1 表示通电状态), $T_{i,t}$ 表示距离 t 时段最近离模糊用电时段矩阵的分量,以微波炉 (重要负荷家电) 为例,其运行状态与用户历史用电习惯有关,处于历史用电时段应开启,否则,应断电;

[0122] 5) 根据家电可控度指数,确定家电动态控制优先级和控制算法,实现家电的智能控制

[0123] 为实现合理的家电控制,需对家电的控制优先级进行确定,引入家电控制动态优先级 K , K 可随家电状态实时变化,某家电对应的 K 值越大,越优先控制。

[0124] 对于家电 i 来说,该家电可控度指数 $K_{c,i}$ 越大,说明用户满意度越低,则其动态控制优先级越高,因此,可以用家电的可控度指数 $K_{c,i}$ 来表征家电动态控制优先级 K , 具体计算过程如下:

[0125] 表征 K 的采样函数 $K_{app}(t)$ 的求解公式如下:

[0126]

$$K_{app}(t) = K_c \left(n \left\lfloor \frac{t}{n} \right\rfloor \right) \quad (12)$$

[0127] 家电优先级函数 $K(t)$ 的求解公式如下:

$$K(t) = N(K_{app}(t)) \quad (13)$$

[0129] 式中, $\lfloor x \rfloor$ 为小于 x 的最大整数, $N(x)$ 为 x 的排序函数, $K_{app}(t)$ 为 t 时段的表征 K 的采样值, $K_c(t)$ 为 t 时段的家电可控度指数,先按家电负荷类型对可控度指数以 n_{min} 为采样周期,得到家电的可控度指数 K_c ,再对 p 种可控负荷家电的 K_a 排序和 q 种重要负荷家电的 K_u 排序,并将其分别划分为 p 个等级和 q 个等级。其中, p 表示可控负荷家电控制优先级最高, q 表示重要负荷家电控制优先级最高,分析可知,当 n 较小时, K 值可能造成家电通断电状态的频繁变化,影响家电正常工作,当 n 较大时, K 值的更新周期较长,该动态优先级有一定滞后性,将影响用户的满意度,因此需合理选择 n 值,基于用户的家电用户习惯特征,令 n 值取各个家电的最小用电时长 $\Delta t_{i,min}$ 进行初始设定,用户可自主调整,这样不仅使家电控制符合家电使用规律,同时,避免了控制的滞后性。

[0130] 参考图 2,基于分时电价响应的家电智能控制算法流程图,其算法如下:

[0131] (e) 接收电网下一天的分时电价政策,计算分时电价 P_t ,并根据历史用电习惯,计算 P_2 ;

[0132] (f) 据家电负荷类型和家电实时运行数据计算 K_c 和 K 并排序,确定可控负荷家电和重要负荷家电的动态优先级,在对比判断 P_1 和 P_2 的大小;

[0133] (g) 当 $P_1 > P_2$ 时,实施第一阶段控制,对可控负荷家电进行控制,按照家电动态优先级由低到高顺序,若该家电为通电状态,则令其断电并更新 P_1 ,然后重复 (f),否则若该家电处于断电状态,则判定较低优先级家电状态并进行决策,直至 $P_1 < P_2$ 满足要求,若仍不满足,对重要负荷家电极限第二阶段控制,根据家电的工作状态模型,进行第二阶段状态控制,当重要负荷家电进行控制过程时,按照家电动态优先级由低到高顺序,若该家电为通电状态,需向用户发出家电工作状态改变提醒,1min 内无回应或同意,则自动控制,若回应拒绝,则不执行该控制,控制完成后,更新 P_1 ,然后重复 (f),否则若该家电处于断电状态,则判定较低优先级家电状态并进行决策,直至 $P_1 < P_2$ 满足要求;

[0134] (h) 当 $P_1 < P_2$ 时,根据家电的工作状态模型,进行第二阶段状态控制,当重要负荷家电进行控制过程时,需向用户发出家电工作状态改变提醒,1min 内同意,则自动控制,若回应拒绝或无回应,则不执行该控制,控制完成后,进行家电状态更新,直至 $P_1 < P_2$ 满足要求,进入下一轮控制。

[0135] 参考图 3,基于分时电价响应的交互式家电智能控制系统结构图,它由智能交互终

端、可控智能插座、智能电表采集模块、小区控制中心、电网控制中心组成,智能交互终端与可控智能插座、小区控制中心、智能电表数据采集模块相连,其中,用电分析模块用于家电历史用电习惯分析,家电控制模块可用于家电运行状态模型构建,可控度指数计算,家电控制优先级确定,控制算法模拟,LED 触摸显示屏用于基本信息录入,家电运行状态显示,时钟模块用于确定系统时间,电源模块用于智能交互终端的电量供给,通信模块用于上传由可控智能插座采集到的家电运行状态数据,接收由电网侧发送到小区控制中心并转发给用户的分时电价政策信息,存储模块用于存储家电运行状态数据、可控度指数、家电动态控制优先级等数据,告警模块用于向用户发出家电通断提醒,可控智能插座与智能交互终端相连,用于测量家电的运行状态,上传运行状态数据,接收控制信号,实现智能控制,智能电表采集模块,与智能电表相连,用于采集智能电表数据,小区控制中心与电网控制中心和用户的智能交互终端相连,用于接收存储电网侧分时电价政策信息、用户侧的家电运行状态数据,分析不同用户的家电运行特点,下发家电负荷设置需求,电网控制中心与小区控制中心相连,用于发布分时电价政策信息,确保电网负荷平衡。

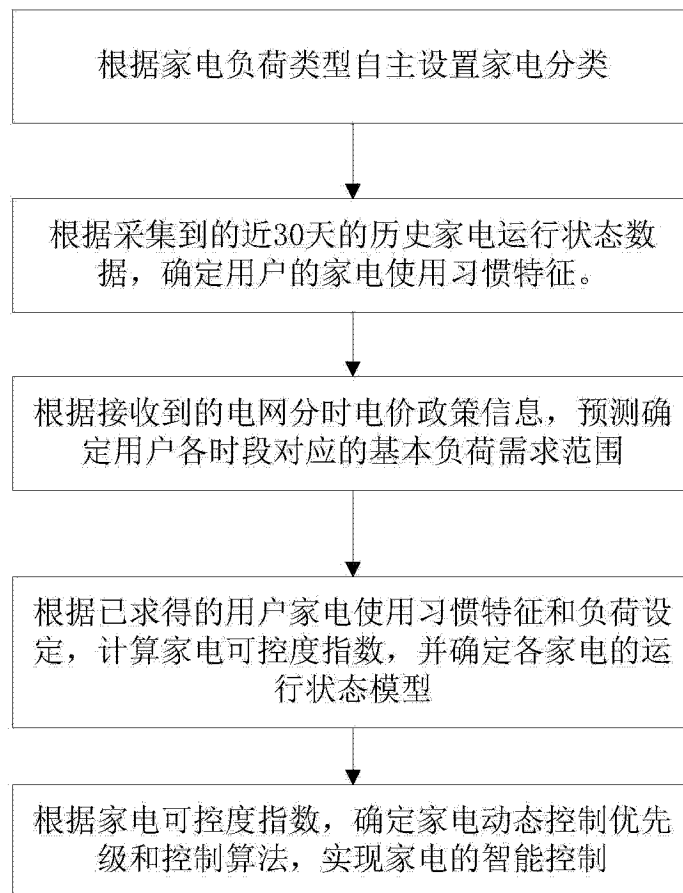


图 1

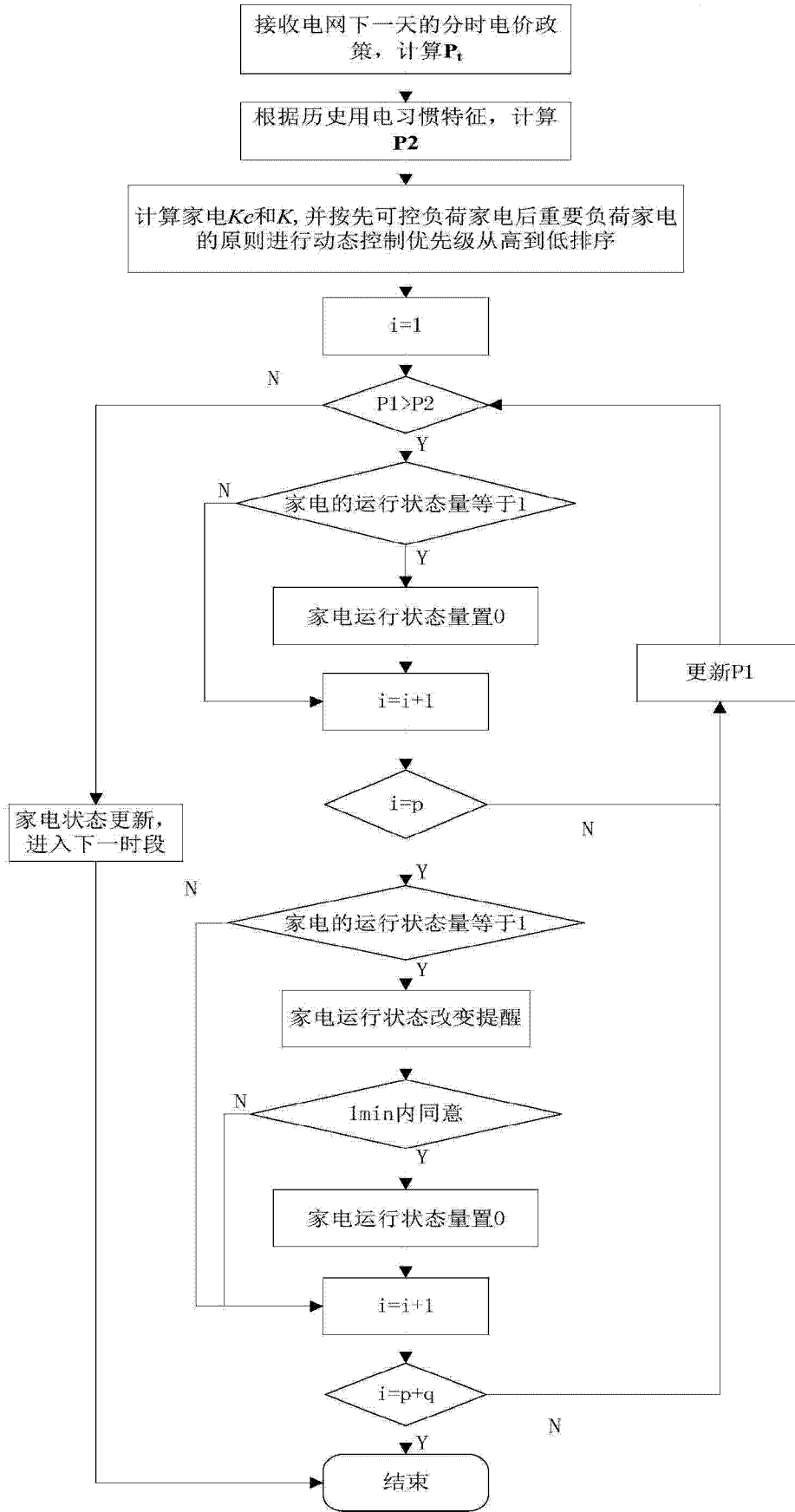


图 2

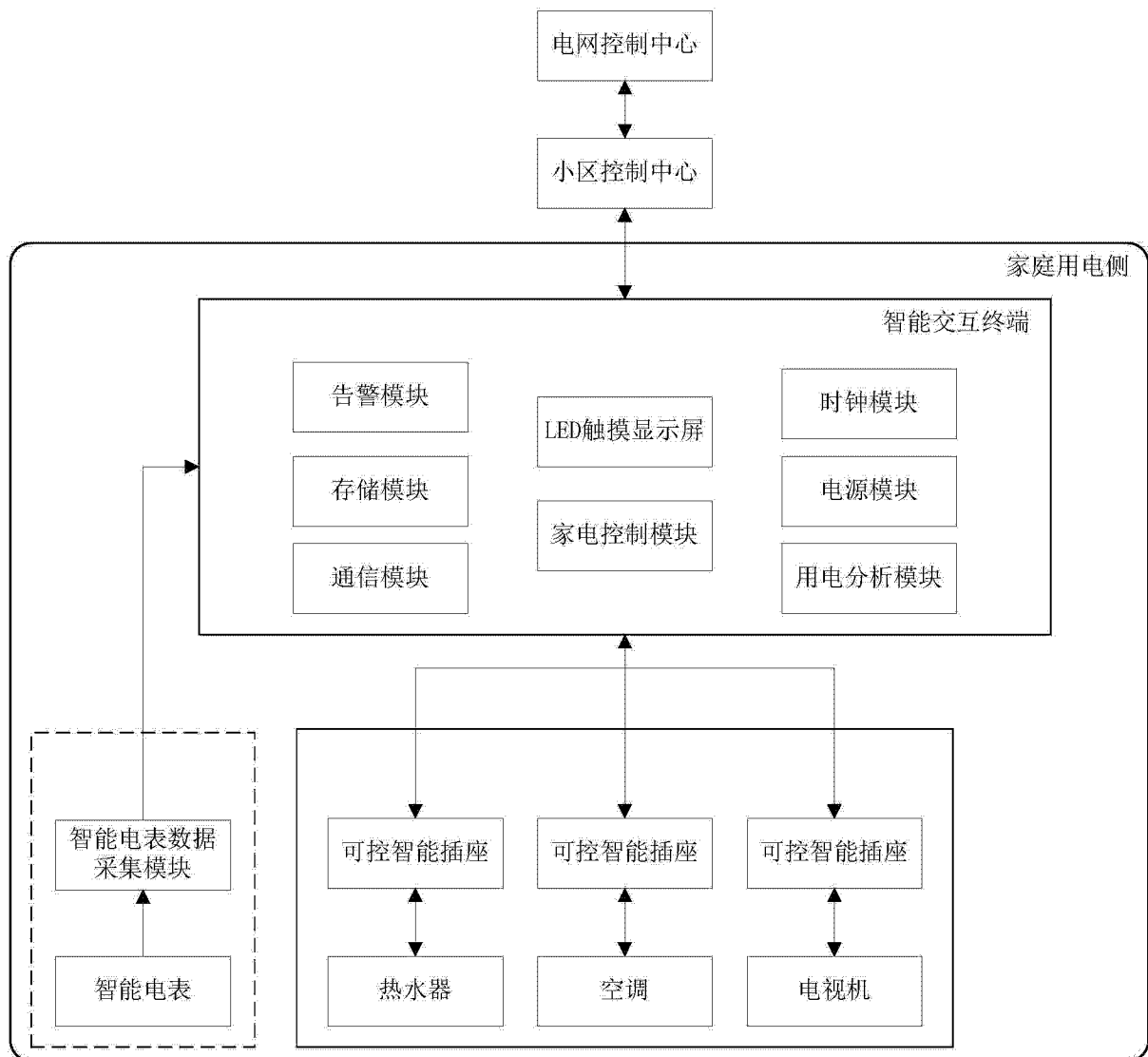


图 3