



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112184020 B

(45) 授权公告日 2021.08.24

(21) 申请号 202011044081.7
 (22) 申请日 2020.09.28
 (65) 同一申请的已公布的文献号
 申请公布号 CN 112184020 A
 (43) 申请公布日 2021.01.05
 (73) 专利权人 国网江苏省电力有限公司营销服务中心
 地址 210019 江苏省南京市建邺区奥体大街9号
 专利权人 国网江苏省电力有限公司
 许继集团有限公司
 国家电网有限公司
 (72) 发明人 黄奇峰 李如意 徐晴 赵双双
 夏国芳 田正其 龚丹 刘永光
 熊章学 王文浩 韩林峰
 (74) 专利代理机构 北京智绘未来专利代理事务所(普通合伙) 11689
 代理人 张红莲 王萍

(51) Int.Cl.
 G06Q 10/06 (2012.01)
 G06Q 50/06 (2012.01)
 G06K 9/62 (2006.01)
 (56) 对比文件
 CN 106936129 A, 2017.07.07
 CN 110991263 A, 2020.04.10
 US 2015309092 A1, 2015.10.29
 Warit Wichakool 等. Modeling and Estimating Current Harmonics. 《IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS》. 2009, 第24卷(第12期),
 王晓换 等. 基于决策融合的非侵入式电力负荷辨识方法及应用. 《电力系统保护与控制》. 2016, 第44卷(第7期),
 审查员 梁艳

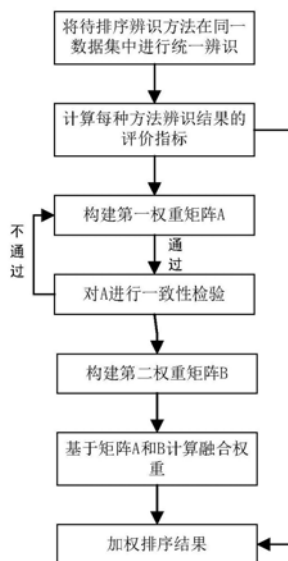
权利要求书5页 说明书17页 附图3页

(54) 发明名称

一种非侵入式负荷辨识融合决策方法及系统

(57) 摘要

一种非侵入式负荷辨识融合决策方法及系统。将被评价的已知非侵入式负荷辨识方法在同一特征数据集集中进行实验, 获得各评价指标的值。利用重要性比例标度两两对比计算第一权重向量, 并进行一致性检验; 计算指标第二权重向量; 融合第一权重向量和第二权重向量, 使得指标赋权既能反应指标客观规律, 又能兼顾决策者的需求和实际工程经验。最后, 基于所得融合权重向量, 对非侵入式负荷辨识方法进行排序, 通过计算评价对象与理想化目标和负理想化目标的接近程度对评价对象进行排序以确定其相对优劣程度, 从而选择最佳方案。



1. 一种非侵入式负荷辨识融合决策方法,其特征在于,所述非侵入式负荷辨识融合决策方法包括以下步骤:

步骤1:对于待辨识的电器设备,采用已知的多种非侵入式负荷辨识方法在同一特征数据集上进行负荷辨识,得到基于多种已知非侵入式负荷辨识方法的电器设备辨识结果;

步骤2:针对步骤1得到的基于多种已知非侵入式负荷辨识方法的电器设备辨识结果,计算每一种辨识方法的辨识结果评价指标;

步骤3:根据实际负荷和侧重需求,设置反映辨识结果评价指标重要性程度的第一权重向量 ω_A ;

步骤4:基于评价指标的对比强度和变化幅度生成非侵入式负荷辨识第二权重向量 ω_B ;

步骤5:基于第一权重向量 ω_A 和第二权重向量 ω_B ,计算非侵入式负荷辨识的融合权重向量 ω ;

步骤6:将每一种辨识方法的辨识结果评价指标加权步骤5所计算得到的非侵入式负荷辨识的融合权重向量 ω 得到每一种辨识方法融合加权后的辨识结果评价指标,然后计算每一种辨识方法与理想解的贴近度,选择贴近度最大的辨识方法作为针对当前实际负荷和侧重需求的最佳负荷辨识方法进行非侵入式负荷辨识。

2. 根据权利要求1所述的非侵入式负荷辨识融合决策方法,其特征在于:

所述已知的多种非侵入式负荷辨识方法包括基于DAE算法的非侵入式负荷辨识方法、基于RNN算法的非侵入式负荷辨识方式和基于DAE-RNN优化算法非侵入式负荷辨识方式。

3. 根据权利要求1或2所述的非侵入式负荷辨识融合决策方法,其特征在于:

采用多种非侵入式负荷辨识方法在UK-DALE公共数据集上对电器设备进行负荷辨识。

4. 根据权利要求1所述的非侵入式负荷辨识融合决策方法,其特征在于:

在步骤2中,所述辨识结果评价指标包括召回率recall、精确度precision、准确率accuracy、精确率和召回率的调和平均数F1、总能耗估值正确率、总能耗正确分配率;

其中,上述辨识结果评价指标分别为:

召回率: $TP / (TP+TN)$;

准确率: $(TP+TN) / (P+N)$;

$F1: 2 \times \frac{precision \times recall}{precision + recall}$;

总能耗估值正确率: $1 - \frac{|\hat{E} - E|}{\max(\hat{E}, E)}$;

总功率正确分配率: $1 - \frac{\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n |\hat{y}_t^{(i)} - y_t^{(i)}|}{2 \sum_{t=1}^T \bar{y}_t}$;

精确度: $TP / (TP+FP)$;

其中,TP/TN分别表示正确判断为正/负样本数;FP/FN表示判断为正的负样本数以及判断为负的正样本数;P/N分别表示正/负样本数量; \hat{E} 和E分别表示预测的总能耗和实际的总能耗; $\hat{y}_t^{(i)}$ 和 $y_t^{(i)}$ 分别表示用电设备i在t时刻估计功率和实际功率; \bar{y}_t 表示t时刻的实际聚

合功率。

5. 根据权利要求1所述的非侵入式负荷辨识融合决策方法,其特征在於:
在步骤3中,具体包括以下内容:

3.1 构建辨识结果评价指标之间重要性比例标度的第一权重矩阵A;

3.2 计算第一权重矩阵A的最大特征根 λ_{\max} 以及对应的特征向量W;

3.3 对第一权重矩阵A的一致性进行判断,如果符合预定的一致性要求则将第一判断矩阵A对应最大特征根的特征向量W归一化后作为非侵入式负荷辨识第一权重向量 ω_A ;否则返回步骤3.1调整第一判断矩阵A指标之间的比例标度值。

6. 根据权利要求5所述的非侵入式负荷辨识融合决策方法,其特征在於:
在3.1中,所述第一权重矩阵A按以下方式构建:

$$A = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \cdots & c_{nn} \end{bmatrix}$$

其中, $c_1, c_2, c_3, c_4 \cdots c_n$ 依次为n种辨识结果评价指标, c_{ij} 表示指标 c_i 相对于指标 c_j 重要性的比例标度值,针对实际情况和侧重需求设定, $c_{ii} = 1$ 。

7. 根据权利要求5或6所述的非侵入式负荷辨识融合决策方法,其特征在於:

在3.3中,对第一权重矩阵A的一致性判断是通过计算一致性比率C.R.是否大于设定阈值进行的,当第一权重矩阵A小于设定阈值,则认为第一权重矩阵A符合一致性要求,否则需要返回步骤3.1调整第一权重矩阵A的元素值,直到符合一致性要求。

8. 根据权利要求7所述的非侵入式负荷辨识融合决策方法,其特征在於:
所述设定阈值为0.1。

9. 根据权利要求1或8所述的非侵入式负荷辨识融合决策方法,其特征在於:
在步骤4中,按照下式计算非侵入式负荷辨识第二权重向量 ω_B :

$$\omega_B(i) = G_i / \sum_{i=1}^n G_i$$

其中, $\omega_B(i)$ 表示非侵入负荷辨识第二权重向量中的第i个结果评价指标第二权重值;

$$G_i = S_i / \bar{x}_i \quad (i=1, 2, \cdots, n);$$

\bar{x}_i 和 S_i 分别为第i个结果评价指标的平均值和标准差。

10. 根据权利要求9所述的非侵入式负荷辨识融合决策方法,其特征在於:

在步骤5中,基于第一权重向量 ω_A 和第二权重向量 ω_B ,计算非侵入式负荷辨识的融合权重向量 ω ;将 ω_A, ω_B 两个权重向量归一化分别得到 ω_A^*, ω_B^* ,则融合权重向量 ω 计算方式如下:

$$\omega_j^* = \sqrt{(\omega_{Aj}^* + \omega_{Bj}^*) / 2}$$

$$\omega_j = \omega_j^* / \sum_{j=1}^n \omega_j^*$$

其中, $\omega_{A_j}^*$ 表示第j个评价指标归一化后的第一权重值, $\omega_{B_j}^*$ 表示第j个评价指标归一化后的第二权重值, ω_j 表示非侵入式负荷辨识的融合权重向量中第j个结果评价指标的融合权重值。

11. 根据权利要求10所述的非侵入式负荷辨识融合决策方法, 其特征在于:

在步骤6中, 令融合权重向量为 $\omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n\}$, 各指标的理想解为 r_j^* , 计算第i个非侵入式负荷辨识方法辨识结果对应指标到该指标理想解 的距离为:

$$d_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n ((r_{ij} - r_j^*) \omega_j)^2}$$

以权重偏差平方和最小为目标构造拉格朗日函数求解:

$$\begin{aligned} \min &= [d_i^2(\omega^*) - d_i^2(\omega_A^*)]^2 + [d_i^2(\omega^*) - d_i^2(\omega_B^*)]^2 \\ &= \sum_{j=1}^n ((r_{ij} - r_j^*)^2 (\omega_j^{*2} - \omega_{A_j}^{*2})^2 + \\ &\quad \sum_{j=1}^n ((r_{ij} - r_j^*)^2 (\omega_j^{*2} - \omega_{B_j}^{*2})^2 \end{aligned}$$

其中, r_{ij} 表示基于第i个非侵入式负荷辨识方法得到的辨识结果的第j个指标, n表示指标数;

d_i 越小, 则表示第i个非侵入式负荷辨识方法辨识结果与理想方案越接近。

12. 根据权利要求10所述的非侵入式负荷辨识融合决策方法, 其特征在于:

在步骤6中, 具体包括以下内容:

6.1 建立各种非侵入式负荷辨识的结果评价指标矩阵X;

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

其中, n表示共n种指标, m表示共m种负荷辨识方法, x_{mn} 表示第m种负荷辨识方法的第n种结果评价指标;

6.2 将结果评价指标矩阵X进行规范化处理得到规范化矩阵F, 设 x_{ij} 为X矩阵中i个方案中第j个指标的值, 其规范化后的值记为 f_{ij} :

$$f_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^m x_{ij} \quad (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n)$$

$$F = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f_{m1} & f_{m2} & \dots & f_{mn} \end{bmatrix} ;$$

6.3 构造加权规范化矩阵, 利用融合权重向量和规范化矩阵F构造加权规范化矩阵R; 其中, r_{ij} 为加权规范矩阵R中第i个非侵入式负荷辨识方法中第j个指标的值;

$$r_{ij} = \omega_j f_{ij} \quad (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n)$$

6.4确定正、负理想解的集合 R^+ 、 R^- ，结果评价指标中越大越好的为效益型指标，越小越好的为成本型指标；以效益型指标的最大值和成本性指标的最小值分别构造正理想解的集合 R^+ 、负理想解的集合 R^- ：

$$R^+ = (r_1^+, r_2^+, \dots, r_n^+)$$

$$R^- = (r_1^-, r_2^-, \dots, r_n^-)$$

其中， r_n^+ ， r_n^- 分别为正理想解的集合 R^+ 、负理想解的集合 R^- 中的第n个指标的值；

6.5计算每一种非侵入式负荷辨识方法的辨识结果分别与正、负理想解的距离 D^+ 、 D^- ：

$$\begin{cases} D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (r_{ij} - r_j^+)^2} \\ D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (r_{ij} - r_j^-)^2} \end{cases} \quad (i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n)$$

6.6根据下式计算每一种非侵入式负荷辨识方法的辨识结果与理想解的贴近度 W_i

$$W_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (i=1,2,\dots,m)$$

选择贴近度 W_i 最大的非侵入式负荷辨识方法作为当前实际负荷和侧重需求的最佳负荷辨识方法进行非侵入式负荷辨识。

13.一种基于权利要求1-12中任一项权利要求所述的非侵入式负荷辨识融合决策方法的非侵入式负荷辨识融合决策系统，包括各非侵入式负荷辨识模块、辨识结果评价指标计算模块、第一权重向量生成模块、第二权重向量计算模块、融合权重向量计算模块、最佳负荷辨识方法评价与选择模块；其特征在于：

通过各非侵入式负荷辨识模块采用现有技术中的对应非侵入式负荷辨识方法对当前负荷进行辨识；

辨识结果评价指标计算模块用于计算各种非侵入式负荷辨识方法下的辨识结果评价指标；

所述第一权重向量生成模块根据实际负荷情况和侧重需求生成第一权重向量；

所述第二权重向量计算模块根据评价指标的对比强度和变化幅度计算得到第二权重向量；

所述融合权重向量计算模块对所述第一权重向量和第二权重向量进行融合得到非侵入式负荷辨识的融合权重向量；

最佳负荷辨识方法评价与选择模块基于非侵入式负荷辨识的融合权重向量计算每一种辨识方法辨识结果与理想解的贴近度，选择贴近度最大的辨识方法作为针对当前实际负荷和侧重需求的最佳负荷辨识方法进行非侵入式负荷辨识。

14.根据权利要求13所述的非侵入式负荷辨识融合决策系统，其特征在于：

所述第一权重向量生成模块包括第一权重矩阵构建子模块、矩阵一致性判断子模块和第一权重向量计算子模块；

所述第一权重矩阵构建子模块根据当前实际负荷和侧重需求建立表示指标重要性的第一权重矩阵；矩阵一致性判断子模块对第一权重矩阵进行一致性分析，当不符合一致性

要求时,调整第一权重矩阵中的元素值,直到符合一致性要求;当符合一致性要求时,第一权重向量计算子模块计算第一权重矩阵的最大特征根及对应的特征向量,生成非侵入式负荷辨识第一权重向量。

15. 根据权利要求14所述的非侵入式负荷辨识融合决策系统,其特征在于:

最佳负荷辨识方法评价与选择模块包括评价指标加权子模块、辨识结果计算子模块、评价选择子模块;

所述评价指标加权子模块将辨识结果评价指标计算模块中的评价指标与融合权重向量进行加权计算,辨识结果计算子模块计算每一种辨识方法的辨识结果与理想解的贴近度,所述评价选择子模块根据计算得到的贴近度选择贴近度最大的辨识方法作为针对当前实际负荷和侧重需求的最佳负荷辨识方法进行非侵入式负荷辨识。

16. 一种计算机系统,其特征在于,包括处理器及存储介质;

所述存储介质用于存储指令;

所述处理器用于根据所述指令进行操作以执行根据权利要求1-12任一项所述方法的步骤。

17. 计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,其特征在于,该程序被处理器执行时实现权利要求1-12任一项所述方法的步骤。

一种非侵入式负荷辨识融合决策方法及系统

技术领域

[0001] 本发明属于智能电网技术领域,涉及非侵入式负载监测技术,特别是涉及一种非侵入式负荷辨识融合决策方法及系统。

背景技术

[0002] 随着能源领域相关技术的发展,相继出现了包括智能电器、分布式传感网络直接测量、智能插头在内的多种解决方案,但是其中最具有前景的解决方案是非侵入式负荷监测(Non-intrusive Load Monitoring, NILM)技术,它只需在电力入口处安装非侵入式装置,不仅能降低硬件成本,同时提高用户接受度。非侵入式电力负荷监测技术是电力管理系统和用户能源管理系统的重要组成部分,也是目前电网智能化,家居管理智能化进一步提升的方向。相比于侵入式技术而言,非侵入式技术具有用户侧友好、经济成本低廉,安装维护便利等优点,呈现出良好的发展前景。

[0003] 非侵入式电力负荷监测(Non-intrusive Load Monitoring)技术的核心是辨识算法,主要包括优化方法、监督学习方法以及非监督学习方法三类。优化方法以整数规划为依据,建立负荷辨识模型;而监督学习和非监督学习以模式识别为理论支撑,其性能在一定程度上各具优势,成为目前研究的热点。随着国家电网、南方电网等电力单位的大力推进,如何开发和利用现有非侵入式负荷辨识方法成为关注的焦点。

[0004] 目前,准确率等直观的唯一效益性指标仍是衡量和验证非侵入式负荷辨识方法可行性和可靠性的主流方案,但是非侵入式负荷辨识易受训练数据等因素的影响,单一的准确率等指标并不足以说明问题,甚至出现识别准确率畸高而实际辨识效果很差的情况。此时利用单一的准确率指标会出现决策失误,不足以反映识别效果。此外,在实际应用中往往需要同时兼顾不同的非侵入式负荷辨识方法的多种性能,而同一非侵入式负荷辨识方法在不同指标下的性能表现并不相同,因此,如何针对实际情况和侧重需求对非侵入式负荷辨识进行融合决策从而选择最佳方案成为当前待解决的问题之一。

发明内容

[0005] 本发明要解决的技术问题是:如何针对实际负荷情况和侧重需求对非侵入式负荷辨识方法进行融合决策,同时兼顾专家经验、工程实际以及客观指标数据价值,获得最优的负荷辨识方案。为解决上述技术问题,本发明具体采用以下技术方案。

[0006] 一种非侵入式负荷辨识融合决策方法,其特征在于,所述非侵入式负荷辨识融合决策方法包括以下步骤:

[0007] 步骤1:对于待辨识的电器设备,采用已知的多种非侵入式负荷辨识方法在同一特征数据集中进行负荷辨识,得到基于多种已知非侵入式负荷辨识方法的电器设备辨识结果;

[0008] 步骤2:针对步骤1得到的基于多种已知非侵入式负荷辨识方法的电器设备辨识结果,计算每一种辨识方法的辨识结果评价指标;

[0009] 步骤3:根据实际负荷和侧重需求,设置反映辨识结果评价指标重要性程度的第一权重向量 ω_A ;

[0010] 步骤4:基于评价指标的对比强度和变化幅度生成非侵入式负荷辨识第二权重向量 ω_B ;

[0011] 步骤5:基于第一权重向量 ω_A 和第二权重向量 ω_B ,计算非侵入式负荷辨识的融合权重向量 ω ;

[0012] 步骤6:将每一种辨识方法的辨识结果评价指标加权步骤5所计算得到的非侵入式负荷辨识的融合权重向量 ω 得到每一种辨识方法融合加权后的辨识结果评价指标,然后计算每一种辨识方法与理想解的贴进度,选择贴进度最大的辨识方法作为针对当前实际负荷和侧重需求的最佳负荷辨识方法进行非侵入式负荷辨识。

[0013] 本发明进一步包括以下优选方案:

[0014] 所述已知的多种非侵入式负荷辨识方法包括但不限于基于DAE算法的非侵入式负荷辨识方法、基于RNN算法的非侵入式负荷辨识方式和基于DAE-RNN优化算法非侵入式负荷辨识方式。

[0015] 采用多种非侵入式负荷辨识方法在UK-DALE公共数据集上对电器设备进行负荷辨识。

[0016] 在步骤2中,所述辨识结果评价指标包括但不限于召回率recall、精确度precision、准确率accuracy、精确率和召回率的调和平均数F1、总能耗估值正确率、总能耗正确分配率;

[0017] 其中,上述辨识结果评价指标分别为:

[0018] 召回率: $TP / (TP + TN)$;

[0019] 准确率: $(TP + TN) / (P + N)$;

[0020] $F1: 2 \times \frac{precision \times recall}{precision + recall}$;

[0021] 总能耗估值正确率: $1 - \frac{|\hat{E} - E|}{\max(\hat{E}, E)}$;

[0022] 总功率正确分配率: $1 - \frac{\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n |\hat{y}_t^{(i)} - y_t^{(i)}|}{2 \sum_{t=1}^T \bar{y}_t}$;

[0023] 精确度: $TP / (TP + FP)$;

[0024] 其中,TP/TN分别表示正确判断为正/负样本数;FP/FN表示 \hat{E} 判断为正的负样本数以及判断为负的正样本数;P/N分别表示正/负样本数量; \hat{E} 和E分别表示预测的总能耗和实际的总能耗; $\hat{y}_t^{(i)}$ 和 $y_t^{(i)}$ 分别表示用电设备i在t时刻估计功率和实际功率; \bar{y}_t 表示t时刻的实际聚合功率。

[0025] 在步骤3中,具体包括以下内容:

[0026] 3.1构建辨识结果评价指标之间重要性比例标度的第一权重矩阵A;

[0027] 3.2计算第一权重矩阵A的最大特征根 λ_{\max} 以及对应的特征向量W;

[0028] 3.3对第一权重矩阵A的一致性进行判断,如果符合预定的一致性要求则将第一判断矩阵A对应最大特征根的特征向量W归一化后作为非侵入式负荷辨识第一权重向量 ω_A ;否则返回步骤3.1调整第一判断矩阵A指标之间的比例标度值。

[0029] 在3.1中,所述第一权重矩阵A按以下方式构建:

$$[0030] \quad A = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \cdots & c_{nn} \end{bmatrix}$$

[0031] 其中, $c_1, c_2, c_3, c_4 \cdots c_n$ 依次为n种辨识结果评价指标, c_{ij} 表示指标 C_i 相对于指标 C_j 重要性的比例标度值,针对实际情况和侧重需求设定, $c_{ii} = 1$ 。

[0032] 在3.3中,对第一权重矩阵A的一致性判断是通过计算一致性比率C.R.是否大于设定阈值进行的,当第一权重矩阵A小于设定阈值,则认为第一权重矩阵A符合一致性要求,否则需要返回步骤3.1调整第一权重矩阵A的元素值,直到符合一致性要求。

[0033] 所述设定阈值为0.1。

[0034] 在步骤4中,按照下式计算非侵入式负荷辨识第二权重向量 ω_B :

$$[0035] \quad \omega_B(i) = G_i / \sum_{i=1}^n G_i$$

[0036] 其中, $\omega_B(i)$ 表示非侵入负荷辨识第二权重向量中的第i个结果评价指标第二权重值;

$$[0037] \quad G_i = S_i / \bar{x}_i \quad (i = 1, 2, \cdots, n);$$

[0038] \bar{x}_i 和 S_i 分别为第i个结果评价指标的平均值和标准差。

[0039] 在步骤5中,基于第一权重向量 ω_A 和第二权重向量 ω_B ,计算非侵入式负荷辨识的融合权重向量 ω ;将 ω_A, ω_B 两个权重向量归一化分别得到 ω_A^*, ω_B^* ,则融合权重向量 ω 计算方式如下:·:

$$[0040] \quad \omega_j^* = \sqrt{(\omega_{Aj}^{*2} + \omega_{Bj}^{*2}) / 2};$$

$$[0041] \quad \omega_j = \omega_j^* / \sum_{j=1}^n \omega_j^*$$

[0042] 其中, ω_{Aj}^* 表示第j个评价指标归一化后的第一权重值, ω_{Bj}^* 表示第j个评价指标归一化后的第二权重值, ω_j 表示非侵入式负荷辨识的融合权重向量中第j个结果评价指标的融合权重值。

[0043] 在步骤6中,令融合权重向量为 $\omega = \{\omega_1, \omega_2, \cdots, \omega_n\}$,各指标的理想值为 r_j^* ,计算第i个非侵入式负荷辨识方法辨识结果对应指标到该指标理想点的距离为:

$$[0044] \quad d_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n ((r_{ij} - r_j^*) \omega_j)^2}$$

[0045] 以权重偏差平方和最小为目标构造拉格朗日函数求解:

$$\begin{aligned}
\min &= [d_i^2(\omega^*) - d_i^2(\omega_A^*)]^2 + [d_i^2(\omega^*) - d_i^2(\omega_B^*)]^2 \\
[0046] \quad &= \sum_{j=1}^n ((r_{ij} - r_j^*)^2 (\omega_j^{*2} - \omega_{Aj}^{*2})^2 + \\
&\quad \sum_{j=1}^n ((r_{ij} - r_j^*)^2 (\omega_j^{*2} - \omega_{Bj}^{*2})^2
\end{aligned}$$

[0047] 其中, r_{ij} 表示基于第 i 个非侵入式负荷辨识方法得到的辨识结果的第 j 个指标, n 表示指标数;

[0048] d_i 越小, 则表示第 i 个非侵入式负荷辨识方法辨识结果与理想方案越接近。

[0049] 在步骤6中, 具体包括以下内容:

[0050] 6.1 建立各种非侵入式负荷辨识的结果评价指标矩阵 X ;

$$[0051] \quad X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

[0052] 其中, n 表示共 n 种指标, m 表示共 m 种负荷辨识方法, x_{mn} 表示第 m 种负荷辨识方法的第 n 种结果评价指标;

[0053] 6.2 将结果评价指标矩阵 X 进行规范化处理得到规范化矩阵 F , 设 x_{ij} 为 X 矩阵中 i 个方案中第 j 个指标的值, 其规范化后的值记为 f_{ij} :

$$[0054] \quad f_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^m x_{ij} \quad (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n)$$

$$[0055] \quad F = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \cdots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \cdots & f_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f_{m1} & f_{m2} & \cdots & f_{mn} \end{bmatrix}$$

[0056] 6.3 构造加权规范化矩阵, 利用融合权重向量和规范化矩阵 F 构造加权规范化矩阵 R ; 其中, r_{ij} 为加权规范矩阵 R 中第 i 个非侵入式负荷辨识方法中第 j 个指标的值;

$$[0057] \quad r_{ij} = \omega_j f_{ij} \quad (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n)$$

[0058] 6.4 确定正、负理想解的集合 R^+ 、 R^- , 结果评价指标中越大越好的为效益型指标, 越小越好的为成本型指标; 以效益型指标的最大值和成本性指标的最小值分别构造正理想解的集合 R^+ 、负理想解的集合 R^- :

$$[0059] \quad R^+ = (r_1^+, r_2^+, \dots, r_n^+)$$

$$[0060] \quad R^- = (r_1^-, r_2^-, \dots, r_n^-)$$

[0061] 其中, r_n^+ , r_n^- 分别为正理想解的集合 R^+ 、负理想解的集合 R^- 中的第 n 个指标的值;

[0062] 6.5 计算每一种非侵入式负荷辨识方法的辨识结果分别与正、负理想解的距离 D^+ 、 D^- ;

$$[0063] \quad \begin{cases} D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (r_{ij} - r_j^+)^2} \\ D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (r_{ij} - r_j^-)^2} \end{cases} \quad (i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n)$$

[0064] 6.6根据下式计算每一种非侵入式负荷辨识方法的辨识结果与理想解的贴近度 W_i

$$[0065] \quad W_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (i=1,2,\dots,m)$$

[0066] 选择贴近度 W_i 最大的非侵入式负荷辨识方法作为当前实际负荷和侧重需求的最佳负荷辨识方法进行非侵入式负荷辨识。

[0067] 本发明同时公开了一种基于前述的非侵入式负荷辨识融合决策方法的非侵入式负荷辨识融合决策系统,包括各非侵入式负荷辨识模块、辨识结果评价指标计算模块、第一权重向量生成模块、第二权重向量计算模块、融合权重向量计算模块、最佳负荷辨识方法评价与选择模块;其特征在于:

[0068] 通过各非侵入式负荷辨识模块采用现有技术中的对应非侵入式负荷辨识方法对当前负荷进行辨识;

[0069] 辨识结果评价指标计算模块用于计算各种非侵入式负荷辨识方法下的辨识结果评价指标;

[0070] 所述第一权重向量生成模块根据实际负荷情况和侧重需求生成第一权重向量;

[0071] 所述第二权重向量计算模块根据评价指标的对比强度和变化幅度计算得到第二权重向量;

[0072] 所述融合权重向量计算模块对所述第一权重向量和第二权重向量进行融合得到非侵入式负荷辨识的融合权重向量;

[0073] 最佳负荷辨识方法评价与选择模块基于非侵入式负荷辨识的融合权重向量计算每一种辨识方法辨识结果与理想解的贴近度,选择贴近度最大的辨识方法作为针对当前实际负荷和侧重需求的最佳负荷辨识方法进行非侵入式负荷辨识。

[0074] 进一步优选地,

[0075] 所述第一权重向量生成模块包括第一权重矩阵构建子模块、矩阵一致性判断子模块和第一权重向量计算子模块;

[0076] 所述第一权重矩阵构建子模块根据当前实际负荷和侧重需求建立表示指标重要性的第一权重矩阵;矩阵一致性判断子模块对第一权重矩阵进行一致性分析,当不符合一致性要求时,调整第一权重矩阵中的元素值,直到符合一致性要求;当符合一致性要求时,第一权重向量计算子模块计算第一权重矩阵的最大特征根及对应的特征向量,生成非侵入式负荷辨识第一权重向量。

[0077] 最佳负荷辨识方法评价与选择模块包括评价指标加权子模块、辨识结果计算子模块、评价选择子模块;

[0078] 所述评价指标加权子模块将辨识结果评价指标计算模块中的评价指标与融合权重向量进行加权计算,辨识结果计算子模块计算每一种辨识方法的辨识结果与理想解的贴近度,所述评价选择子模块根据计算得到的贴近度选择贴近度最大的辨识方法作为针对当

前实际负荷和侧重需求的最佳负荷辨识方法进行非侵入式负荷辨识。

[0079] 本申请还公开了一种终端,其特征在於,包括处理器及存储介质;

[0080] 所述存储介质用于存储指令;

[0081] 所述处理器用于根据所述指令进行操作以执行根据前述非侵入式负荷辨识融合决策方法的步骤。

[0082] 一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,其特征在於,该程序被处理器执行时实现前述非侵入式负荷辨识融合决策方法的步骤。本发明的有益效果为:

[0083] 本发明综合运用包括召回率、准确率、F1、总能耗估值正确率、精确度、总能耗正确分配率共六项负荷辨识算法的评价指标,解决了现有的以准确率等单一评价指标评价辨识算法的问题,为完善非侵入式负荷辨识方法评价体系提供了一种新的解决方案。

[0084] 本发明提出的基于组合赋权的模型,将非侵入式负荷辨识方法评价过程看作一个多指标综合决策问题,本发明对数据分布及样本量、指标数无严格限制,原始数据的利用较充分,信息损失少且计算适中,具有集成其他方法的强大能力。

[0085] 本发明兼顾专家经验、工程实际以及客观指标数据价值,避免了传统评价模型中存在的权重确定单一易造成评价失真等问题。

附图说明

[0086] 图1为本发明非侵入式负荷辨识融合决策方法的流程示意图;

[0087] 图2权重对比分析示意图;

[0088] 图3为本发明优选实施例中非侵入式负荷辨识融合决策方法流程示意图;

[0089] 图4为本发明非侵入式负荷辨识融合决策系统结构示意图;

[0090] 附图标记含义为:1-非侵入式负荷辨识模块、2-辨识结果评价指标计算模块、3-第一权重向量生成模块、4-第二权重向量计算模块、5-融合权重向量计算模块、6-最佳负荷辨识方法评价与选择模块、7-第一权重矩阵构建子模块、8-矩阵一致性判断子模块、9-第一权重向量计算子模块、10-评价指标加权子模块、11-辨识结果计算子模块、12-评价选择子模块。

具体实施方式

[0091] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明的技术方案进行清楚、完整地描述。

[0092] 本申请所描述的实施例仅仅是本发明一部分的实施例,而不是全部实施例。基于本发明精神,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的有所其它实施例,都属于本发明的保护范围。

[0093] 参见附图1所示,本发明公开的非侵入式负荷辨识融合决策方法包括以下步骤:

[0094] 步骤1:对于待辨识的电器设备,采用已知的多种非侵入式负荷辨识方法在同一特征数据集中进行负荷辨识,得到基于多种已知非侵入式负荷辨识方法的电器设备辨识结果;

[0095] 所述已知的多种非侵入式负荷辨识方法包括但不限于基于DAE算法的非侵入式负荷辨识方法、基于RNN算法的非侵入式负荷辨识方式和基于DAE-RNN优化算法非侵入式负荷

辨识方式。

[0096] 采用多种非侵入式负荷辨识方法在UK-DALE公共数据集上对电器设备进行负荷辨识。

[0097] 步骤2:针对步骤1得到的基于多种已知非侵入式负荷辨识方法的电器设备辨识结果,计算每一种辨识方法的辨识结果评价指标;

[0098] 所述辨识结果评价指标包括但不限于召回率recall、精确度precision、准确率accuracy、精确率和召回率的调和平均数F1、总能耗估值正确率、总能耗正确分配率;

[0099] 其中,上述辨识结果评价指标分别为:

[0100] 召回率: $TP / (TP+TN)$;

[0101] 准确率: $(TP+TN) / (P+N)$;

[0102] $F1: 2 \times \frac{precision \times recall}{precision + recall}$;

[0103] 总能耗估值正确率: $1 - \frac{|\hat{E} - E|}{\max(\hat{E}, E)}$;

[0104] 总功率正确分配率: $1 - \frac{\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n |\hat{y}_t^{(i)} - y_t^{(i)}|}{2 \sum_{t=1}^T \bar{y}_t}$;

[0105] 精确度: $TP / (TP+FP)$;

[0106] 其中,TP/TN分别表示正确判断为正/负样本数;FP/FN表示判断为正的负样本数以及判断为负的正样本数;P/N分别表示正/负样本数量; \hat{E} 和E分别表示预测的总能耗和实际的总能耗; $\hat{y}_t^{(i)}$ 和 $y_t^{(i)}$ 分别表示用电设备i在t时刻估计功率和实际功率; \bar{y}_t 表示t时刻的实际聚合功率。

[0107] 步骤3:根据实际负荷和侧重需求,设置反映辨识结果评价指标重要性程度的第一权重向量 ω_A ;如表1所示。

[0108] 表1重要性比例标度表

[0109] Tab.1 Scale of importance ratio

	标准值	赋值注释
	1	指标 C_i 和 C_j 同等重要
[0110]	3	指标 C_i 比 C_j 稍微重要
	5	指标 C_i 比 C_j 明显重要
	7	指标 C_i 比 C_j 强烈重要
	9	指标 C_i 比 C_j 极端重要

[0111] 备注:标准值2,4,6,8分别表示1,3,5,7,9之间的重要度赋值;且 $W_{ij} = 1/W_{ji}$

[0112] 本领域技术人员可以理解,第一权重向量 ω_A 的设置有多种方式,可以根据本发明的实施例,结合本领域技术人员的工程经验设置反映评价指标重要性程度的一组权重向量;也可以利用几何平均法等:针对所选六种指标,对总权重1平均分配得到第一权重为[1/6 1/6 1/6 1/6 1/6 1/6];以及德尔菲法等。而本发明接下来要介绍的只是本发明的优选

实施例,本领域普通技术人员既可以采用直接赋值的方式获得第一权重向量,也可以采用下面的优选实施例以获得更佳的技术效果。

[0113] 在本发明步骤3中,优选采用以下实施例,具体包括以下内容:

[0114] 3.1构建辨识结果评价指标之间重要性比例标度的第一权重矩阵A;

[0115] 3.2计算第一权重矩阵A的最大特征根 λ_{\max} 以及对应的特征向量W;

[0116] 3.3对第一权重矩阵A的一致性进行判断,如果符合预定的一致性要求则将第一判断矩阵A对应最大特征根的特征向量W归一化后作为非侵入式负荷辨识第一权重向量 ω_A ;否则返回步骤3.1调整第一判断矩阵A指标之间的比例标度值。

[0117] 在3.1中,所述第一权重矩阵A按以下方式构建:

$$[0118] \quad A = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \cdots & c_{nn} \end{bmatrix}$$

[0119] 其中, $c_1, c_2, c_3, c_4 \dots c_n$ 依次为n种辨识结果评价指标, c_{ij} 表示指标 C_i 相对于指标 C_j 重要性的比例标度值,针对实际情况和侧重需求设定, $c_{ii}=1$ 。

[0120] 在3.3中,对第一权重矩阵A的一致性判断是通过计算一致性比率C.R.是否大于设定阈值进行的,当第一权重矩阵A小于设定阈值,则认为第一权重矩阵A符合一致性要求,否则需要返回步骤3.1调整第一权重矩阵A的元素值,直到符合一致性要求。

[0121] 所述设定阈值为0.1。

[0122] 步骤4:基于评价指标的对比强度和变化幅度生成非侵入式负荷辨识第二权重向量 ω_B ;

[0123] 在步骤4中,按照下式计算非侵入式负荷辨识第二权重向量 ω_B ;

$$[0124] \quad \omega_B(i) = G_i / \sum_{i=1}^n G_i$$

[0125] 其中, $\omega_B(i)$ 表示非侵入负荷辨识第二权重向量中的第i个结果评价指标第二权重值;

$$[0126] \quad G_i = S_i / \bar{x}_i \quad (i=1, 2, \dots, n);$$

[0127] \bar{x}_i 和 S_i 分别为第i个结果评价指标的平均值和标准差。

[0128] 步骤5:基于第一权重向量 ω_A 和第二权重向量 ω_B ,计算非侵入式负荷辨识的融合权重向量 ω 。

[0129] 此外,权重融合方法还包括加权最小偏差范数(WLDN),加权最小二乘偏差范数(WLSDN)和加权最小偏差范数(WMDN)等方法,本发明接下来要介绍的只是本发明的优选实施例,本领域普通技术人员既可以采用上述列举的其他方法获得融合权重向量,也可以采用下面的优选实施例以获得更佳的技术效果。

[0130] 基于第一权重向量 ω_A 和第二权重向量 ω_B ,计算非侵入式负荷辨识的融合权重向量 ω ;将 ω_A, ω_B 两个权重向量归一化分别得到 ω_A^*, ω_B^* ,则融合权重向量 ω 计算方式如下::

$$[0131] \quad \omega_j^* = \sqrt{(\omega_{Aj}^{*2} + \omega_{Bj}^{*2})/2};$$

$$[0132] \quad \omega_j = \omega_j^* / \sum_{j=1}^n \omega_j^*$$

[0133] 其中, ω_{Aj}^* 表示第j个评价指标归一化后的第一权重值, ω_{Bj}^* 表示第j个评价指标归一化后的第二权重值, ω_j 表示非侵入式负荷辨识的融合权重向量中第j个结果评价指标的融合权重值。

[0134] 步骤6:将每一种辨识方法的辨识结果评价指标加权步骤6所计算得到的非侵入式负荷辨识的融合权重向量 ω 得到每一种辨识方法融合加权后的辨识结果评价指标,然后计算每一种辨识方法与理想解的贴近度,选择贴近度最大的辨识方法作为针对当前实际负荷和侧重需求的最佳负荷辨识方法进行非侵入式负荷辨识。

[0135] 在步骤6中,具体包括以下内容:

[0136] 6.1建立各种非侵入式负荷辨识的结果评价指标矩阵X;

$$[0137] \quad X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

[0138] 其中,n表示共n种指标,m表示共m种负荷辨识方法, x_{mn} 表示第m种负荷辨识方法的第n种结果评价指标;

[0139] 6.2将结果评价指标矩阵X进行规范化处理得到规范化矩阵F,设 x_{ij} 为X矩阵中i个方案中第j个指标的值,其规范化后的值记为 f_{ij} :

$$[0140] \quad f_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^m x_{ij} \quad (i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n)$$

$$[0141] \quad F = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \cdots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \cdots & f_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f_{m1} & f_{m2} & \cdots & f_{mn} \end{bmatrix}$$

[0142] 6.3构造加权规范化矩阵,利用融合权重向量和规范化矩阵F构造加权规范化矩阵R;其中, r_{ij} 为加权规范矩阵R中第i个非侵入式负荷辨识方法中第j个指标的值;

$$[0143] \quad r_{ij} = \omega_j f_{ij} \quad (i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n)$$

[0144] 6.4确定正、负理想解的集合 R^+ 、 R^- ,结果评价指标中越大越好的为效益型指标,越小越好的为成本型指标;以效益型指标的最大值和成本性指标的最小值分别构造正理想解的集合 R^+ 、负理想解的集合 R^- :

$$[0145] \quad R^+ = (r_1^+, r_2^+, \dots, r_n^+)$$

$$[0146] \quad R^- = (r_1^-, r_2^-, \dots, r_n^-)$$

[0147] 其中, r_n^+ , r_n^- 分别为正理想解的集合 R^+ 、负理想解的集合 R^- 中的第n个指标的值;

[0148] 6.5计算每一种非侵入式负荷辨识方法的辨识结果分别与正、负理想解的距离 D^+ 、

D^- ;

$$[0149] \quad \begin{cases} D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (r_{ij} - r_j^+)^2} \\ D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (r_{ij} - r_j^-)^2} \end{cases} \quad (i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n)$$

[0150] 6.6根据下式计算每一种非侵入式负荷辨识方法的辨识结果与理想解的贴近度 W_i

$$[0151] \quad W_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (i=1,2,\dots,m)$$

[0152] 选择贴近度 W_i 最大的非侵入式负荷辨识方法作为当前实际负荷和侧重需求的最佳负荷辨识方法进行非侵入式负荷辨识。

[0153] 实施例1:参见附图3,本发明提供一种非侵入式负荷辨识融合决策方法。特别地,在比较评价不同算法时,应当在同一特征数据集中进行实验。共分为6大部分。

[0154] 步骤1:对于待辨识的电器设备,采用已知的多种非侵入式负荷辨识方法在同一特征数据集中进行负荷辨识,得到各种非侵入式负荷辨识方法的辨识结果;

[0155] 选取DAE算法、RNN算法和DAE-RNN优化算法共三种非侵入式负荷辨识方法,在UK-DALE公共数据集上对洗衣机、洗碗机、水壶、微波炉、冰箱共5种常用的电器设备测试得到辨识结果。

[0156] 步骤2:针对步骤1中采用的三种非侵入式负荷辨识方法的辨识结果,计算每一种辨识方法的6种评价指标,如表2所示;

[0157] 表2非侵入式方法辨识结果评价指标

[0158] Tab.2 Non-invasive method identification result evaluation index

评价指标	DAE	RNN	DAE-RNN
召回率	0.69	0.77	0.78
准确率	0.99	1	0.99
F1	0.71	0.80	0.83
总能耗估值正确率	0.92	0.54	0.85
总功率正确分配率	0.99	0.98	0.98
精确度	1	0.81	0.98

[0160] 步骤3:构建辨识结果评价指标之间重要性比例标度的第一权重向量A,根据专家经验和实际侧重,由表1得到判断矩阵A, C_1, C_2, \dots, C_6 依次表示表2中的六种指标。

$$[0161] \quad A = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} & c_{15} & c_{16} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} & c_{25} & c_{26} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} & c_{35} & c_{36} \\ c_{41} & c_{42} & c_{43} & c_{44} & c_{45} & c_{46} \\ c_{51} & c_{52} & c_{53} & c_{54} & c_{55} & c_{56} \\ c_{61} & c_{62} & c_{63} & c_{64} & c_{65} & c_{66} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 1/2 & 3 & 4 & 1 \\ 2 & 1 & 1/2 & 5 & 4 & 2 \\ 2 & 1 & 1 & 5 & 4 & 2 \\ 1/3 & 1/5 & 1/5 & 1 & 1/2 & 1/3 \\ 1/2 & 1/4 & 1/4 & 2 & 1 & 1/2 \\ 1 & 1/2 & 1/2 & 3 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

[0162] 对第一权重矩阵A的一致性进行判断:

[0163] $C.R. = \frac{C.I.}{R.I.}$

[0164] $C.I. = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$

[0165] 得到其一致性比率C.R.为0.0046,经验证C.R.<0.1,满足阈值条件,通过一致性检验。因此对于正定互反矩阵A,采用特征根法计算其唯一的最大特征根:

[0166] $AW = \lambda_{\max} W$

[0167] 得到对应的特征向量W,对W进行归一化后即可作为第一权重向量如表3中 ω_A 所示。

[0168] 表3融合权重

[0169] Tab.3 Fusion weight

评价指标	\bar{x}_i	S_i	G_i	ω_A	ω_B	ω
召回率	0.7467	0.0403	0.0539	0.1290	0.1240	0.1085
准确率	0.9933	0.0047	0.0047	0.2402	0.0109	0.1458
F1	0.7800	0.0510	0.0654	0.3882	0.1503	0.2525
[0170] 总能耗估值正确率	0.7700	0.1651	0.2144	0.0433	0.4930	0.3002
总功率正确分配率	0.9833	0.0047	0.0048	0.0703	0.0110	0.0432
精确度	0.9300	0.0852	0.0917	0.1290	0.2107	0.1499

[0171] 步骤4:计算非侵入式负荷辨识第二权重向量 ω_B ;首先根据下式计算第i个评价指标的平均值和标准差,如表3中 \bar{x}_i 和 S_i 所示

[0172]
$$\begin{cases} \bar{x}_i = \sum_{j=1}^m x_{ij} / m \\ S_i = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_i)^2} \end{cases} \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m)$$

[0173] 其次,计算变异系数 $G_i = S_i / \bar{x}_i$ ($i = 1, 2, \dots, n$),结果如表3中 G_i 所示;最后,利用归一化方法 $\omega_B(i) = G_i / \sum_{i=1}^n G_i$ 得到第二权重向量,如表3中 ω_B 所示。

[0174] 步骤5:基于第一权重向量 ω_A 和第二权重向量 ω_B ,计算非侵入式负荷辨识的融合权重向量 ω ;

[0175] 首先将 ω_A, ω_B 两个权重向量归一化分别得到 ω_A^*, ω_B^* ,则融合权重向量 ω 计算方式如下,得到结果如表3中 ω 列所示。

[0176] $\omega_j = \sqrt{(\omega_{Aj}^{*2} + \omega_{Bj}^{*2}) / 2}$;

$$[0177] \quad \omega_j = \omega_j^* / \sum_{j=1}^n \omega_j^*$$

[0178] 参见附图2为采用本发明方法权重融合后的对比分析示意图。

[0179] 步骤6: (1) 根据下式对原始评价指标矩阵进行规范化处理:

$$[0180] \quad f_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^m x_{ij} \quad (i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n)$$

[0181] 得到规范化矩阵F为:

$$[0182] \quad F = \begin{bmatrix} 0.3080 & 0.3438 & 0.3482 \\ 0.3322 & 0.3356 & 0.3322 \\ 0.3034 & 0.3419 & 0.3547 \\ 0.3983 & 0.2338 & 0.3680 \\ 0.3356 & 0.3322 & 0.3322 \\ 0.3584 & 0.2903 & 0.3513 \end{bmatrix}$$

[0183] (2) 将每一种辨识方法的辨识结果评价指标加权步骤6所计算得到的非侵入式负荷辨识的融合权重向量 ω 得到每一种辨识方法融合加权后的辨识结果评价指标:

$$[0184] \quad R = \begin{bmatrix} 0.0334 & 0.0373 & 0.0378 \\ 0.0484 & 0.0489 & 0.0484 \\ 0.0766 & 0.0863 & 0.0896 \\ 0.1195 & 0.0702 & 0.1105 \\ 0.0145 & 0.0143 & 0.0143 \\ 0.0537 & 0.0435 & 0.0526 \end{bmatrix}$$

[0185] (3) 由此确定正、负理想解集合 R^+ 、 R^- 为:

$$[0186] \quad R^+ = (0.0378 \ 0.0489 \ 0.0896 \ 0.1195 \ 0.0145 \ 0.0537)$$

$$[0187] \quad R^- = (0.0334 \ 0.0484 \ 0.0766 \ 0.0702 \ 0.0143 \ 0.0435)$$

[0188] (4) 然后计算每一种辨识方法与理想解的贴近度,

$$[0189] \quad D^+ = (0.0137 \ 0.0505 \ 0.0092)$$

$$[0190] \quad D^- = (0.0504 \ 0.0105 \ 0.0435)$$

$$[0191] \quad W = (0.7867 \ 0.1716 \ 0.8259)$$

[0192] (5) 选择贴近度最大的辨识方法作为针对当前实际负荷和侧重需求的最佳负荷辨识方法进行非侵入式负荷辨识。由上述结果可知, $W_3 > W_1 > W_2$, 即单状态设备辨识中, DAE-RNN算法最优, DAE算法次之, RNN算法性能最差。根据训练期间电器可见的数据和使用训练期电器不可见的数据训练优化网络的识别结果。DAE神经网络对单状态负荷辨识性能优于RNN网络, 在保持准确率和精确度优势上, 能耗分配准确率也相对较高。DAE-RNN优化结构总体应用性能都在其他两者之上, 在保留了DAE网络单状态电器识别准确率优势的基础上提高了F1得分, 保证该辨识方法能更好地处理数据分布不均的情况, 使辨识方法更加稳定可靠, 证明了基于融合权重的改进评价结果与实际工程性能相符, 证明本发明技术方案实际有效可行。

[0193] 为了进一步说明本发明指标组合的优势性, 通过改变指标数量和不同指标组合设

置对比试验,实验结果如表4所示,证明本发明所提出的非侵入式负荷辨识算法评价指标组合兼顾复杂性和准确性,本发明所介绍的知识本发明的优选指标组合实施例,针对指标数目、指标种类所作的变化均在本发明的保护范围之内。

[0194] 表4指标组合与评价结果

[0195] Tab.4Indicator combination and evaluation results

指标个数	指标组合	理想解贴近度			评价结果	
		F ₁	F ₂	F ₃		
	C ₁ C ₂ C ₃ C ₄	0.7834	0.1743	0.8236	F ₃ > F ₁ > F ₂	
	C ₁ C ₂ C ₃ C ₅	0.0075	0.7731	0.9751	F ₃ > F ₂ > F ₁	
	C ₁ C ₂ C ₃ C ₆	0.5012	0.4279	0.9246	F ₃ > F ₁ > F ₂	
	C ₁ C ₂ C ₄ C ₅	0.9058	0.0848	0.8166	F ₁ > F ₃ > F ₂	
	C ₁ C ₂ C ₄ C ₆	0.8993	0.0907	0.8202	F ₁ > F ₃ > F ₂	
	C ₁ C ₂ C ₅ C ₆	0.6415	0.3316	0.9068	F ₃ > F ₁ > F ₂	
[0196]	四个指标	C ₁ C ₃ C ₄ C ₅	0.7557	0.1978	0.8265	F ₃ > F ₁ > F ₂
	(C ₆ ⁴ = 15)	C ₁ C ₃ C ₄ C ₆	0.7354	0.2148	0.8319	F ₃ > F ₁ > F ₂
		C ₁ C ₃ C ₅ C ₆	0.4830	0.4444	0.9295	F ₃ > F ₁ > F ₂
		C ₁ C ₄ C ₅ C ₆	0.8703	0.1170	0.8235	F ₁ > F ₃ > F ₂
		C ₂ C ₃ C ₄ C ₅	0.8061	0.1526	0.8218	F ₃ > F ₁ > F ₂
		C ₂ C ₃ C ₄ C ₆	0.7802	0.1742	0.8265	F ₃ > F ₁ > F ₂
		C ₂ C ₃ C ₅ C ₆	0.5510	0.3746	0.9177	F ₃ > F ₁ > F ₂
		C ₂ C ₄ C ₅ C ₆	0.9855	0.0145	0.8188	F ₁ > F ₃ > F ₂
		C ₃ C ₄ C ₅ C ₆	0.7528	0.1971	0.8299	F ₃ > F ₁ > F ₂
	五个指标	C ₁ C ₂ C ₃ C ₄	0.7962	0.1638	0.8225	F ₃ > F ₁ > F ₂

	$(C_6^1 = 6)$	C_5				
		$C_1 C_2 C_3 C_4$	0.7752	0.1811	0.8269	$F_3 > F_1 > F_2$
		C_6				
		$C_1 C_2 C_3 C_5$	0.5122	0.4184	0.9227	$F_3 > F_1 > F_2$
		C_6				
[0197]		$C_1 C_2 C_4 C_5$	0.9053	0.8052	0.8198	$F_1 > F_3 > F_2$
		C_6				
		$C_1 C_3 C_4 C_5$	0.7516	0.2012	0.8299	$F_3 > F_1 > F_2$
		C_6				
		$C_2 C_3 C_4 C_5$	0.7945	0.1623	0.8252	$F_3 > F_1 > F_2$
		C_6				

[0198] 实施例2:

[0199] 实施例2在某家庭用户场景下测试了关联RNN算法、LSTM以及Bi-LSTM(双向长短期记忆网络)算法对电采暖1,2,3档、电炖锅、泡脚桶、电吹风冷风、热风档、电磁炉、高压锅、打印机、电饭锅、豆浆机、电视共13种用电状态的辨识结果,如表5所示。按照案例一的评价步骤对三种算法进行排序,结果如表6所示。

[0200] 最后由TOPSIS模型计算待评价算法的理想解贴近度为 $W = [0.2041 \ 0.6443 \ 0.9533]$ 。即Bi-LSTM最优,LSTM次之,关联RNN第三,与实际应用结果相符,证明文中所提模型适用于不同的评价数据集。

[0201] 表5算法辨识结果

[0202] Tab.5 Algorithm identification result

	评价指标	关联 RNN	LST M	Bi-LSTM
[0203]	召回率	0.80	0.95	0.97
	准确率	1	0.98	0.99
	F1	0.88	0.83	0.90
	总能耗估值正确 率	0.65	0.77	0.81
[0204]	总功率正确分配 率	1	0.95	0.96
	精确率	0.86	0.93	0.99

[0205] 表6融合权重

[0206] Tab.6 Fusion weight

评价指标	\bar{x}_i	Si	Gi	ω_A	ω_B	ω
召回率	0.9	0.0	0.0	0.1	0.2	0.1
	067	759	837	290	819	934
准确率	0.9	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1
	900	082	082	402	278	509
F1	0.8	0.0	0.0	0.3	0.11	0.2
[0207]	700	294	338	882	40	525
总能耗估	0.7	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1
值正确率	433	680	915	433	081	942
总功率正	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
确分配率	700	216	223	703	750	642
精确度	0.9	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1
	267	531	573	290	931	449

[0208] 由图4可知,本发明同时公开了一种基于前述的非侵入式负荷辨识融合决策方法的非侵入式负荷辨识融合决策系统,包括各非侵入式负荷辨识模块1、辨识结果评价指标计算模块2、第一权重向量生成模块3、第二权重向量计算模块4、融合权重向量计算模块5、最佳负荷辨识方法评价与选择模块6。

[0209] 通过各非侵入式负荷辨识模块1采用现有技术中的对应非侵入式负荷辨识方法对当前负荷进行辨识。

[0210] 辨识结果评价指标计算模块2用于计算各种非侵入式负荷辨识方法下的辨识结果评价指标。

[0211] 所述第一权重向量生成模块3根据实际负荷情况和侧重需求生成第一权重向量;所述第一权重向量生成模块3包括第一权重矩阵构建子模块7、矩阵一致性判断子模块8和第一权重向量计算子模块9;

[0212] 所述第一权重矩阵构建子模块7根据当前实际负荷和侧重需求建立表示指标重要性的第一权重矩阵A;矩阵一致性判断子模块8对第一权重矩阵进行一致性分析,当不符合一致性要求时,调整第一权重矩阵中的元素值,直到符合一致性要求;当符合一致性要求时,第一权重向量计算子模块9计算第一权重矩阵的最大特征根及对应的特征向量,生成非侵入式负荷辨识第一权重向量。

[0213] 所述第二权重向量计算模块4根据评价指标的对比强度和变化幅度计算得到第二权重向量。

[0214] 所述融合权重向量计算模块5对所述第一权重向量和第二权重向量进行融合得到

非侵入式负荷辨识的融合权重向量。

[0215] 最佳负荷辨识方法评价与选择模块6基于非侵入式负荷辨识的融合权重向量计算每一种辨识方法辨识结果与理想解的贴近度,选择贴近度最大的辨识方法作为针对当前实际负荷和侧重需求的最佳负荷辨识方法进行非侵入式负荷辨识。

[0216] 最佳负荷辨识方法评价与选择模块6包括评价指标加权子模块10、辨识结果计算子模块11、评价选择子模块12;

[0217] 所述评价指标加权子模块10将辨识结果评价指标计算模块中的评价指标与融合权重向量进行加权计算,辨识结果计算子模块11计算每一种辨识方法的辨识结果与理想解的贴近度,所述评价选择子模块12根据计算得到的贴近度选择贴近度最大的辨识方法作为针对当前实际负荷和侧重需求的最佳负荷辨识方法进行非侵入式负荷辨识。

[0218] 基于本发明的精神,本领域技术人员能够容易想到基于前述非侵入式负荷辨识融合决策方法可以得到一种计算机程序产品。计算机程序产品可以包括计算机可读存储介质,其上载有用于使处理器实现本公开的各个方面的计算机可读程序指令。即本申请还包括一种计算机系统,包括处理器及存储介质;

[0219] 所述存储介质用于存储指令;

[0220] 所述处理器用于根据所述指令进行操作以执行根据前述非侵入式负荷辨识融合决策方法的步骤。

[0221] 一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,该程序被处理器执行时实现前述非侵入式负荷辨识融合决策方法的步骤。

[0222] 计算机可读存储介质是可以保持和存储由指令执行设备使用的指令的有形设备。计算机可读存储介质例如可以是一—但不限于—电存储设备、磁存储设备、光存储设备、电磁存储设备、半导体存储设备或者上述的任意合适的组合。计算机可读存储介质的更具体的例子(非穷举的列表)包括:便携式计算机盘、硬盘、随机存取存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、可擦式可编程只读存储器(EPROM或闪存)、静态随机存取存储器(SRAM)、便携式压缩盘只读存储器(CD-ROM)、数字多功能盘(DVD)、记忆棒、软盘、机械编码设备、例如其上存储有指令的打孔卡或凹槽内凸起结构、以及上述的任意合适的组合。这里所使用的计算机可读存储介质不被解释为瞬时信号本身,诸如无线电波或者其它自由传播的电磁波、通过波导或其它传输媒介传播的电磁波(例如,通过光纤电缆的光脉冲)、或者通过电线传输的电信号。

[0223] 这里所描述的计算机可读程序指令可以从计算机可读存储介质下载到各个计算/处理设备,或者通过网络、例如因特网、局域网、广域网和/或无线网下载到外部计算机或外部存储设备。网络可以包括铜传输电缆、光纤传输、无线传输、路由器、防火墙、交换机、网关计算机和/或边缘服务器。每个计算/处理设备中的网络适配卡或者网络接口从网络接收计算机可读程序指令,并转发该计算机可读程序指令,以供存储在各个计算/处理设备中的计算机可读存储介质中。

[0224] 用于执行本公开操作的计算机程序指令可以是汇编指令、指令集架构(ISA)指令、机器指令、机器相关指令、微代码、固件指令、状态设置数据、或者以一种或多种编程语言的任意组合编写的源代码或目标代码,所述编程语言包括面向对象的编程语言—诸如Smalltalk、C++等,以及常规的过程式编程语言—诸如“C”语言或类似的编程语言。计算机

可读程序指令可以完全地在用户计算机上执行、部分地在用户计算机上执行、作为一个独立的软件包执行、部分在用户计算机上部分在远程计算机上执行、或者完全在远程计算机或服务器上执行。在涉及远程计算机的情形中,远程计算机可以通过任意种类的网络—包括局域网 (LAN) 或广域网 (WAN) —连接到用户计算机,或者,可以连接到外部计算机(例如利用因特网服务提供商来通过因特网连接)。在一些实施例中,通过利用计算机可读程序指令的状态信息来个性化定制电子电路,例如可编程逻辑电路、现场可编程门阵列 (FPGA) 或可编程逻辑阵列 (PLA),该电子电路可以执行计算机可读程序指令,从而实现本公开的各个方面。以上实例仅用于说明本发明的设计思想和特点,其目的在于使本领域内的技术人员能够了解本发明的内容并据以实施,本发明的保护范围不限于上述实例,所以,凡依据本发明所揭示的原理、设计思路所作的等同变化或修饰,例如改变评价指标等,均在本发明的保护范围之内。

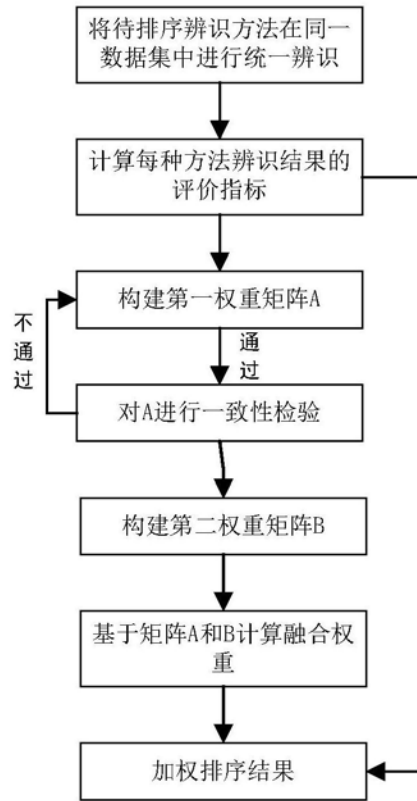


图1

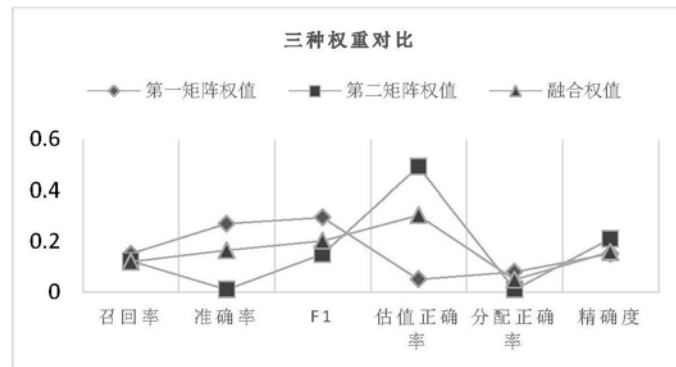


图2

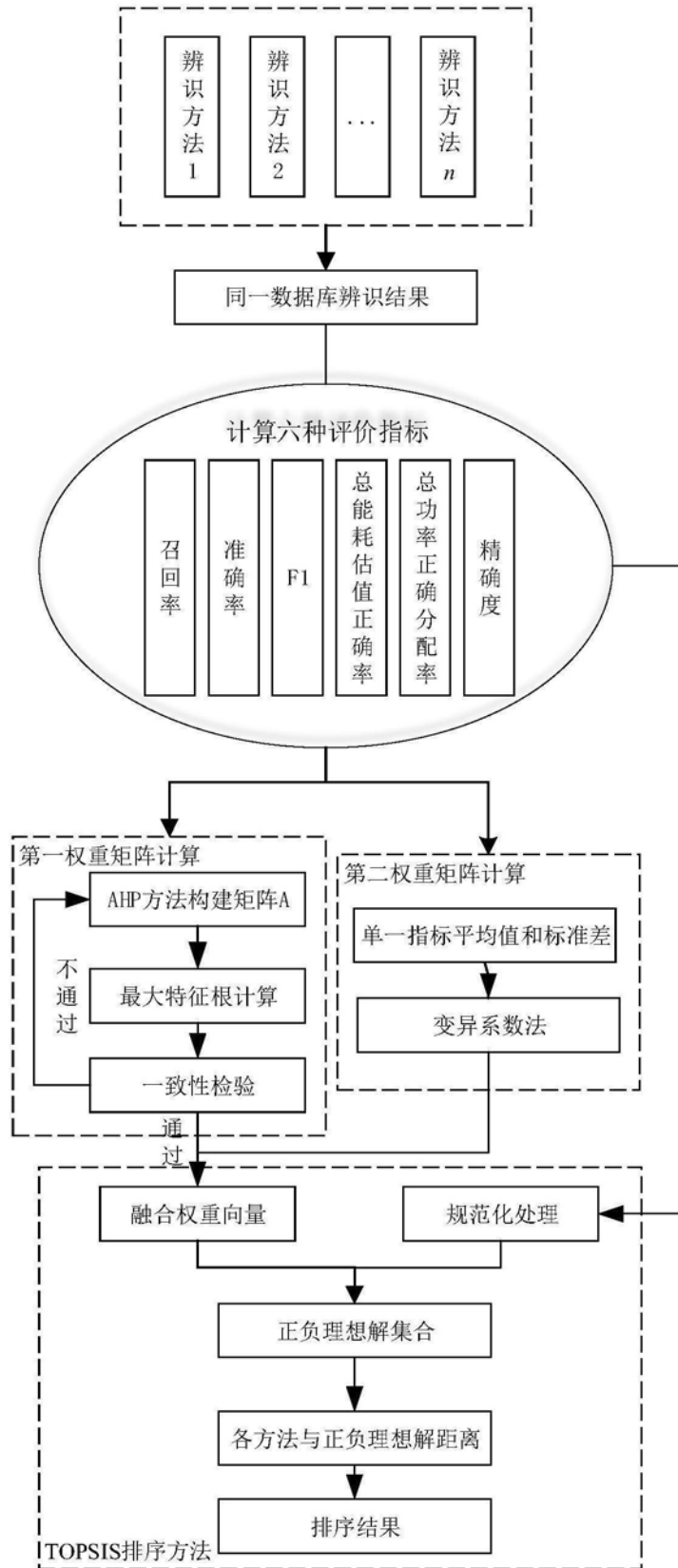


图3

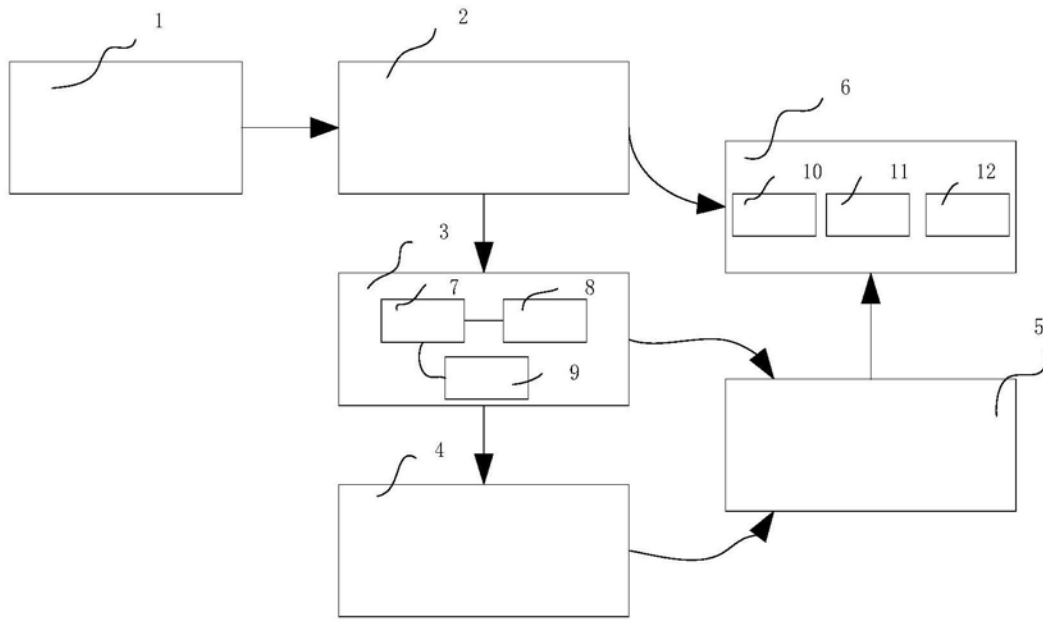


图4