

# 一类基于非侵入式家用电器监测系统的设计与实现

瞿杏元

四川建筑职业技术学院数学教研室, 四川 德阳

收稿日期: 2022年11月22日; 录用日期: 2022年12月23日; 发布日期: 2022年12月31日

---

## 摘要

本文研究提出了一类基于非侵入式家用电器监测系统的设计与实现, 概述了非侵入式家用电器监测系统的六个模块, 包含采集数据模块、预处理数据模块、GPRS数据传输模块, 存储数据模块, 云端算法识别模块, 智能显示模块。分别对各个模块的设计和实现来分析, 其中算法识别模块在遗传算法的基础之上进行了算法改进, 采用了量子遗传算法并选择了交叉熵函数作为适应度函数来实现, 使得非侵入式家庭电器识别系统的精确度更高, 算法识别放在云端来实现, 在计算速度上也会有很大的提高, 不仅能够存储非常丰富的样本数据库, 稳定性更高, 并且适用范围也更广。

## 关键词

非侵入式, 电器监测, 量子遗传, 交叉熵

---

# Design and Implementation of a Non Intrusive Household Appliance Monitoring System

Xingyuan Qu

Mathematics Teaching and Research Office, Sichuan College of Architectural Technology, Deyang Sichuan

Received: Nov. 22<sup>nd</sup>, 2022; accepted: Dec. 23<sup>rd</sup>, 2022; published: Dec. 31<sup>st</sup>, 2022

---

## Abstract

This paper studies and proposes the design and implementation of a non-invasive household appliance monitoring system, and summarizes six modules of the non-invasive household appliance

monitoring system, including acquisition data module, preprocessing data module, GPRS transmission module, data storage module, cloud algorithm recognition module, and intelligent display module. The design and implementation of each module are analyzed respectively. The algorithm identification module is improved on the basis of the genetic algorithm. The quantum genetic algorithm is adopted and the cross entropy function is selected as the fitness function to achieve, it make the non-invasive home appliance identification system more accurate and, the algorithm recognition is implemented in the cloud, and the computing speed will also be greatly improved. It can not only store a very rich sample database, but also has higher stability and wider application scope.

## Keywords

Non-Invasive, Electrical Monitoring, Quantum Genetics, Cross Entropy

Copyright © 2022 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

目前,随着人们生活水平的提高,电力用户对电能的消耗越来越大,节省居民用电量,对家用电器的耗能管理变得非常重要。因而有了电力监测装置,它可以智能地监测房子中各个用电设备的开关情况和用电情况。及时发现电路存在的漏电、短路等异常情况。因此家庭电力监测是实现节约用电的基础和关键,也能有效的缓解能源危机压力,具有重要的现实意义[1]。传统的家庭电器监测较多是侵入式监测,也就是相应地在每一个被监测的电器进线端处安装传感器设备来进行信号采集,然而此方法安装铺设繁琐复杂,维护不便且成本较高。而非侵入式电器监测系统只需在用户的电力总回路处安装测量装置,就能够监测用户家中每一个电器的用电情况,不需安装大量的传感器和测量装置,从而减小安装维护系统硬件的成本,是未来负荷分解的发展热点之一[2]。非侵入负荷监测的核心是对负荷特征的提取,通过对负荷特征的辨识确定负荷的类别[3],而识别的算法也在不断的改进。文献[4]中给出了遗传算法的识别,其在识别多电器同时使用识别上精度不太高。在遗传算法的基础上将量子计算与遗传算法结合起来,可以更有效的解决很多复杂的问题,与一般算法相比,它优化问题的效果更好[5]。文献[6]给出了一类非侵入式居民负荷特征提取方法,在数据采集上文献[7]也给出了一类非侵入式电力负载识别错误样本的采集方法。文献[8]给出了基于交叉熵的电器识别,选择了交叉熵作为算法的适应度函数,识别方式简单、有效。

本文中提出了一类非侵入式家用电器监测系统,文中不仅从硬件和软件方面描述了系统高,在算法上也进行了优化,采用了量子遗传算法结合交叉熵来进行识别。

## 2. 非侵入式家用电器识别系统的总体设计

本文提出了一类非侵入式家庭用电监测系统的整体方案。它只需要在用户小区的电源总进口和用户进户线的总开关处安装一个传感器,然后通过采集并分析家庭用户端的电压和耗电总电流来识别总电力负荷内部每种类型的家用电器的用电功率以及它的工作状态(比如空调有制热、制冷等不同工作状态),从而知晓每种类型的家庭电器的耗电状态和耗电规律。这样的电器监测系统并不需要安装很多监测设备,就可以进行负荷监测和故障监测与分析等多种类型的好点质量分析。因此优势显著而且比较适合承担家庭电器用电监测的任务,有希望发展为新一代的智能电表核心技术,为电力用户以及整个社会都带来很

多方面的效益。并且本系统中采用的量子遗传优化算法较传统遗传算法不仅提升了一倍解空间，更大提升了多种设备同时运行的识别精准率，也降低了时间复杂度，在设备数量比较大时，量子遗传相对于遗传算法的优化更明显。

系统主要包括以下六大模块：采集模块、数据预处理模块、GPRS 传输模块，数据存储模块，云端算法识别模块，智能显示模块。系统结构如图 1。

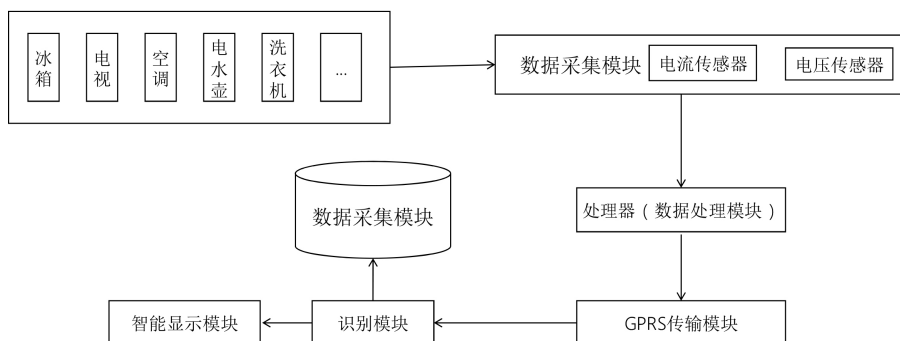


Figure 1. System structure  
图 1. 系统结构

### 3. 非侵入式家用电器识别系统硬件系统

整套非侵入式家庭电器监测系统硬件系统由外围保护电路，高精度电压、电流磁效应传感器，ADI 419F 采集处理芯片、GPRS 传输模块组成。

在家庭电力入口处安装独立的非侵入式监测装置。非侵入式装置需要与 220 V 供电回路的火线和零线并联，通过电压互感器(PT)获取电压波形数据，同时通过内置的 5 V 电源适配器为机内芯片供电。同时，还需将 220 V 供电回路的火线穿过电流磁效应传感器(CT)的磁环，以非侵入式的方式获取电流波形数据。安装位置如图 2。

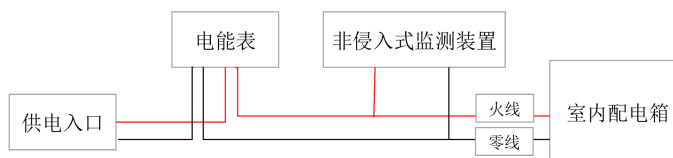


Figure 2. Installation position of non intrusive monitoring system  
图 2. 非侵入式监测系统安装位置

## 4. 非侵入式家用电器识别系统软件

### 4.1. 非侵入式家用电器识别系统需求分析

如今在数字信息化时代，社会正面临着紧迫的环境问题，比如全球性的能源危机，国内雾霾问题还未得到有效解决。提高能源利用的效率、节约能源是突破这些问题非常重要的途径。电能也是应用很广的二次能源，尽管可再生能源应用领域迅速发展，但依旧存在很多问题，比如认识不足、成本高、技术创新能力弱、市场需求不太稳定等，因此节约用电对社会经济以及环境的可持续发展都有直接和关键的作用。

家庭用电监测是开展节约用电工程的第一步，因为只有清楚电能是怎样被利用和消耗的，才能找到更有效的节约用电调控措施与更高效的用电方式。研究发现，如果使用有效的技术向家庭电力用户反馈

用电信息，即使不采取相关自动调控措施，用户主动的优化用电也可以达到明显的节能效果，从而节约家庭用电。因此电力监测是实现节约用电的基础和关键，它不仅能够有效的缓解能源危机压力，也能实现能源资源和生态环境的可持续发展并建设节约型社会，它具有非常重要的现实意义。

负荷监测技术作为高级量测体系最重要的组成部分之一，必须要突破目前已经安装的电力监测装置比如智能电表，它只能收集和上送用电量信息，但是并不能深入了解用户的瓶颈。

## 4.2. 非侵入式家用电器识别系统软件模块实现与设计

针对非侵入式家用电器数据采集，处理，算法识别模块的具体实现如下：

### 4.2.1. 采集数据模块

利用搭建的硬件实验平台，在正常安全的测试环境下，首先对数据采集设备进行测试检查，确定其能无故障工作后，将待测的家庭有电电器连接到采集数据的设备上然后打开设备和待测试的家用电器，确定电器开始进入稳定工作的时候，再正确地测量并采集电器在稳态区段下的电压电流的波形数据，采集的数据分装为训练的数据集以及测试的数据集。

### 4.2.2. 预处理数据模块

预处理数据模块是将我们采集的家用电器的端电压、总电流和总功率等数据的原始数字的信号进行预处理，这个模块包含了抗混叠滤波处理、波形去噪处理和数据异常值处理等。其中抗混叠滤波截止频率不低于系统要求的最高次谐波频率的两倍。并对总电流信号进行降噪处理、数据异常值进行校正或者剔除来保证负荷监测的准确性和可靠性，达到不漏检不误检的目的。并且还要通过电流相位校正来保证相位信息的准确性，根据电流起点来截取  $M$  周期电流幅值，然后计算电流有效的最小，最大值，和电流幅值最小，最大，均值，差值等作为数据集。

### 4.2.3. 云端算法识别模块

本模块利用改进的量子遗传算法并结合交叉熵函数作为适应度函数来建立云端的算法识别。量子遗传算法使用动态旋转角，并按照改进的方案进化，会使得更新的过程范围更大，更加随机全面。量子遗传算法进化效率相比遗传算法进化的效率非常高，利用 Hadamard 变换推广到  $n$  重量子比特上，经过  $n$  个旋转门的变换可以产生  $2^n$  个叠加状态，所以它的效率比其他的优化算法要高。

算法流程图如下(图 3)。

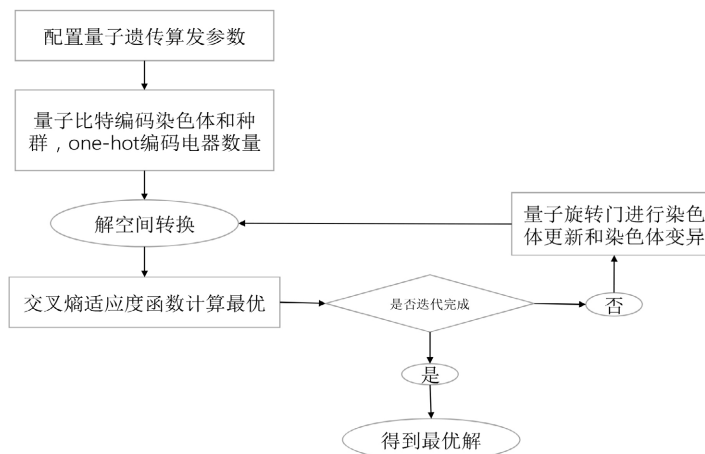


Figure 3. Algorithm flow chart  
图 3. 算法流程图

1) 配置量子遗传算法所需要的一些参数, 比如最大迭代的次数(可以设置为 100), 种群的大小, 以及每种类型的家用电器的数量用来设置定义域区间的上限值, 以及染色体长度等。

2) 利用量子遗传算法中量子比特的编码初始化染色体的矩阵。编码方案:

$$P_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_{i1} & \cos \theta_{i2} & \dots & \cos \theta_{im} \\ \sin \theta_{i1} & \sin \theta_{i2} & & \sin \theta_{im} \end{bmatrix}, \text{ 当前最优量子量子位的概率幅为 } A = \begin{bmatrix} \alpha_0 & \alpha_1 \\ \beta_0 & \beta_1 \end{bmatrix}。$$

旋转角  $\theta$  决定每次迭代量子旋转门的转角方向, 因而旋转角  $\theta$  的值决定了算法的收敛效果。改进后旋转角的更新公式为:  $\theta_{ij}(t+1) = \theta_{ij}(t) - \text{sgn}(A) \cdot \Delta\theta_{ij} \cdot k$ 。

对不同种类的电器数量采用 one-hot 方式编码, 并将居民用户中同种类型的家用电器数量设置为算法中解空间转换时的变量, 给出每类电器的电器数量的区间值即解空间转换的定义域, 如居民负荷设备定义域为  $[m, n]$ ,  $m, n$  为正整数, 通过解空间的转换得到多组不同类型的电器数量解。并选取量子旋转门以及染色体变异, 实现染色体的更新, 然后进行解空间转换。量子旋转门转角方向可以改变量子位的相位, 来实现  $\cos \theta_{ij}(t+1)$  和  $\sin \theta_{ij}(t+1)$  的更新, 概率幅的更新公式为:

$$\begin{bmatrix} \cos \theta_{ij}(t+1) \\ \sin \theta_{ij}(t+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \Delta\theta_{ij} & -\sin \Delta\theta_{ij} \\ \sin \Delta\theta_{ij} & \cos \Delta\theta_{ij} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta_{ij}(t) \\ \sin \theta_{ij}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos[\theta_{ij}(t) + \Delta\theta_{ij}] \\ \sin[\theta_{ij}(t) + \Delta\theta_{ij}] \end{bmatrix}$$

3) 通过解空间转换获得的家用电器数量得到多组不同类型的家用电器数量的解列表对应的每组类型电器列表, 然后计算每种类型电器数量的权重, 再利用得到的权重值作为电流占比用来计算预测的电器组合电流幅值列表。对获得的实测数据电流幅值列表以及通过量子遗传算法取得的多组预测电流幅值列表分别来进行 softmax 回归处理, 然后选用交叉熵函数  $H(P, Q) = -\sum P(x) \log Q(x)$  作为算法适应度函数, 交叉熵适应度函数中的函数  $P(x)$  为通过 softmax 回归处理后得到的实测数据的电流幅值列表, 交叉熵适应度函数中的函数  $Q(x)$  为通过 softmax 回归处理后预测得到的电流幅值列表, 然后计算交叉熵适应度函数的函数值。

4) 将计算获得的多组适应度函数值进行排序并列表表示, 分别对每一项采用比分标记, 适应度函数值越高的比分越低, 反之比分越高, 最小比分设置为 1, 获得比分最高的适应度函数值将作为最优解保存, 并与下一次迭代获取的最优解进行比较。重复步直到迭代结束, 获取最后的最优解即为最优电器设备数量列表实现。

本文中改进的量子遗传算法, 其搜索能力比传统的遗传算法更优化, 这是因为量子遗传算法中量子位概率幅的编码机制大大的增加了它的搜索能力。

## 5. 结束语

本文基于节省居民节省用电量, 实现有关缓解电能源危机压力、并实现电能源的资源和生态环境可持续发展的以及建设有关节约型社会的基础上, 提出了一类基于非侵入式家庭用电监测系统, 稳重分别详细描述了系统的硬件系统和软件系统, 软件系统从数据采集, 数据处理, 云端算法识别三个方面展开讲述, 云端算法采用了量子遗传算法并结合交叉熵作为适应度函数来提高多电器同时使用的准确度, 非常大的满足了家庭用电能耗节省情况。

## 参考文献

- [1] 周明, 宋旭帆, 涂京, 李庚银, 栾开宁. 基于非侵入式负荷监测的居民用电行为分析[J]. 电网技术, 2018, 42(10): 7.
- [2] Hart, G.W. (1992) Nonintrusive Appliance Load Monitoring. *Proceedings of the IEEE*, **80**, 1870-1891. <https://doi.org/10.1109/5.192069>

- [3] 程祥, 李林芝, 吴浩, 等. 非侵入式负荷监测与分解研究综述[J]. 电网技术, 2016, 40(10): 3108-3117.  
<https://doi.org/10.13335/j.1000-3673.pst.2016.10.026>
- [4] 孙毅, 崔灿, 陆俊, 等. 基于遗传优化的非侵入式家居负荷分解方法[J]. 电网技术, 2016, 40(12): 3912-3917.
- [5] 陈垚彤. 基于优化问题的量子遗传算法研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2019.
- [6] 耿赫男. 非侵入式居民负荷特征提取及智能用电研究[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 沈阳工程学院, 2019.
- [7] 四川长虹电器股份有限公司. 一种非侵入式电力负载识别错误样本的采集方法[P]. 中国专利, CN201910642536.6, 2019-10-18.
- [8] 四川长虹电器股份有限公司. 基于交叉熵的非侵入式电器识别方法[P]. 中国专利, CN201910453513.0, 2019-08-20.