

# 基于交互式人工智能的用电全过程业务管理平台

黄祖源, 田园, 高宇豆, 保富, 刘溪

(云南电网有限责任公司信息中心, 云南 昆明 650217)

**摘要:** 为解决电力企业相关业务数据的处理分析不及时、管理效率低下的问题, 结合交互式人工智能技术, 提出针对用电全过程业务综合管理平台的构建。首先根据人工智能技术与C/S构架进行交互式人工智能引擎的设计, 然后针对电力用户运行期管理等用电全过程业务, 在用户侧业务功能与数据库表基础上, 架构业务管理平台。利用平台检测进行检测, 分析网络参数对数据导入量与速度的影响, 取得网络隐藏层数与相关阈值的最优参数分别是2、24.5、15.72、13.98, 经平台功能测试环节验证, 该平台能有效实现各功能的交互式操作, 且具有较为理想的反馈即时性。

**关键词:** 人机交互式; 人工智能; 用电全过程; 业务管理; 神经网络; 决策树

中图分类号: TP182 文献标识码: A 文章编号: 1003-7241(2025)02-0155-05

## Power Consumption Whole Process Business Management Platform Based on Interactive Artificial Intelligence

HUANG Zu-yuan, TIAN Yuan, GAO Yu-dou, BAO Fu, LIU Xi

(Information Center of Yunnan Power Grid Co., Ltd., Kunming 650217 China)

**Abstract:** In order to solve the problems of untimely processing and analysis of relevant business data of electric power enterprises, and low management efficiency, the construction of a comprehensive management platform for the whole process of power consumption is proposed in combination with interactive artificial intelligence technology. First, it designs an interactive artificial intelligence engine based on artificial intelligence technology and C/S architecture. Then, based on the user-side business functions and database tables, the business management platform is constructed for the whole-process business of power consumption such as power user operation management. It uses platform detection to detect, analyze the influence of network parameters on the amount and speed of data import, and obtains the optimal parameters for the number of hidden layers and related thresholds of the network are 2, 24.5, 15.72 and 13.98 respectively. After the platform function test link verifies, the platform can effectively realize the interactive operation of each function, and has ideal feedback immediacy.

**Keywords:** man-machine interaction; artificial intelligence; whole process of power consumption; business management; neural network; decision tree

### 0 引言

生活与经济水平的不断攀升, 电力网的客户规模与日俱增, 用电需求也越来越大, 想要了解、管理数以百万计客户的用电全过程情况, 存在极大难度。且人为操作过程中容易因不规范操作行为产生较多漏洞, 使用电量及其费用方面普遍存在“跑、冒、滴、漏”等现象<sup>[1]</sup>。这些情况不仅加大了用电全过程的管控复杂度, 而且还带来了一系列的负面影响, 轻则降低用电体验感, 影响供电企业形象, 重则造成经济与生命财产损失。

国外在电力智能建设方面较早, 英国、美国等许多发达国家自上世纪开始就采用GIS技术兴建“数字电网”, 例如西班牙的电力公司采用GIS技术建设监控与数据库查

询系统为45万平方公里范围内的用户提供用电服务, 该系统具有自动绘图、设备管理及GIS等功能。纳什维尼亚选用的GIS电力系统具有超强的响应能力, 可为田纳西州600多平方英里范围的用户提供服务。我国是在提出建设智能电网战略目标后, 随着计算机技术的飞速发展, 才逐渐实现电力行业的智能化、信息化、数字化, 为顺利开展电网业务活动提供技术支持。交互式人工智能技术借助挑战性与综合性, 常用于问答系统等对话系统<sup>[2]</sup>内, 通过对话、交互, 即可作出符合情境的智能行为, 实现学习与建模。为此, 本文创新性地使用交互式人工智能技术, 构建用电全过程业务管理平台, 赋予电网互动化属性。采用结构简洁的改进径向基神经网络, 既节省推理单元在平台上的存储空间, 也有助于减小计算复杂度, 加快交互反馈速度。

## 1 用于管理平台的交互式人工智能引擎设计

用电全过程业务管理的智能化与信息化主要体现在交互式人工智能引擎上。利用该项技术工具既能够自然地实现人机交互功能,也可以通过语音交互,智能地理解客户用电需求,智能管控用电全过程业务。

以C/S构架<sup>[3]</sup>为基础,采用不同接口、智能推理单元以及存储模块等组件,构建如图1所示的交互式人工智能引擎。

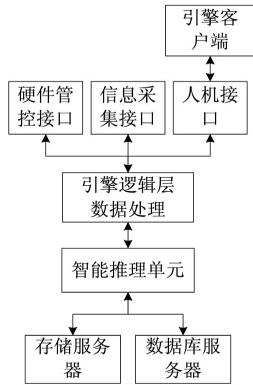


图1 交互式人工智能引擎结构示意图

智能推理模块是交互式人工智能引擎中的核心部分,对管理平台的智能性与体验感有着决定性作用,故利用改进的径向基神经网络<sup>[4]</sup>,无监督学习人机交互任务的特征属性。

假设改进径向基神经网络含有 $L$ 个隐藏层节点,初始值是0,第 $l$ 个隐藏层的中心为 $c_l$ ,宽度是 $\delta_l$ ,权值为 $\beta_l$ ,人工智能引擎的推理规则是 $p_n$ ,则改进径向基神经网络的推理算法目标函数,交互任务特征属性 $f(p_n)$ 的界定表达式如下所示:

$$f(p_n) = \beta_0 + \sum_{i=1}^L \beta_i \exp\left(-\frac{1}{\delta_i^2} \|p_n - c_i\|^2\right) \quad (1)$$

式中, $\beta_0$ 指代初始权值。

交互过程中,任务属性与引擎状态一直改变,用电全过程业务数据不断更新。假定网络输出是 $f(p_n)$ ,其估计是 $\hat{f}(p_n)$ ,根据经验与训练学习精度,设定阈值 $\psi_1$ 、 $\psi_2$ 、 $\psi_n$ ,将规则 $p_n$ 看成网络输入层的第 $n$ 个节点,与其最近的隐藏层节点中心是 $o_n^n$ ,故为满足当前时刻的学习精度,采用下列不等式方程组,判定神经网络鲁棒性:

$$\begin{cases} \|\hat{f}(p_n) - f(p_n)\| > \psi_1 \\ \sqrt{\sum_{i=n-n_{sw}+1}^n \frac{\|e_i\|^2}{n_{sw}}} > \psi_2 \\ \|p_n - o_n^n\| > \psi_n \end{cases} \quad (2)$$

式中, $\|\hat{f}(p_n) - f(p_n)\|$ 指代输出与估计间的差值范数; $n_{sw}$ 指代输入第 $i$ 个数据前误差范数 $\|e_i\|$ 的连续输出次数,即滑

动窗口<sup>[5]</sup>长度,作用是保证隐藏层节点的平滑增长。其中,阈值 $\psi_n$ 的取值约束如下所示:

$$\psi_n = \max\{\psi_{\max} \gamma^n, \psi_{\min}\} \quad (3)$$

参数 $\gamma$ 的取值范围是0到1,控制着规则 $p_n$ 与中心 $o_n^n$ 的距离差范数值,业务数据复杂度与输出决定着精度阈值极值 $\psi_{\min}$ 、 $\psi_{\max}$ 的取值。

若满足方程组(2),则神经网络鲁棒性欠佳,需按照下列等式方程组所示的增加规则,添加隐藏层节点 $L+1$ :

$$\begin{cases} o_{L+1} = p_n \\ \delta_{L+1} = \theta \|p_n - o_n^n\| \\ \beta_{L+1} = \|\hat{f}(p_n) - f(p_n)\| \end{cases} \quad (4)$$

式 $z, \theta$ 指代控制参数系数,作用是调节点 $L+1$ 的宽度 $\delta_{L+1}$ ;该节点的权值与中心各是 $\beta_{L+1}, o_{L+1}$ 。

若未同时满足方程组(2)中各不等式条件,表明该网络鲁棒性符合训练学习精度需求,省略节点增加步骤,直接进入部分参数权重的预测更新阶段,通过下列方程组实现:

$$\begin{cases} G_n = \begin{bmatrix} b_1(p_n) b_1(p_n) (2\beta_1 / \delta_1^2) (p_n - o_1)^t \\ b_1(p_n) (2\beta_1 / \delta_1^3) \|p_n - o_1\|^2 \\ \dots \\ b_L(p_n) b_L(p_n) (2\beta_L / \delta_L^2) (p_n - o_L)^t \\ b_L(p_n) (2\beta_L / \delta_L^3) \|p_n - o_L\|^2 \end{bmatrix} \\ K_n = C_{n-1} G_n (V_n + G_n^t C_{n-1} G_n)^{-1} \end{cases} \quad (5)$$

该方程组中,梯度矩阵与卡尔曼滤波增益矩阵各是 $G_n, K_n, t$ 为矩阵旋转因子,网络集函数为 $b_j(j=1, 2, \dots, L)$ ,卡尔曼滤波算法<sup>[6]</sup>的噪声方差是 $V_n$ ,误差协方差矩阵是 $C_{n-1}$ 。

通过下式解得隐藏层节点 $l$ 的输出结果,结合该节点的最大输出范数 $\|ou_{\max}\|$ ,利用式(7)取得各隐藏层节点的标准输出,完成人机交互任务特征属性的无监督学习:

$$ou_n^l = \beta_l \exp\left(-\frac{1}{\delta_l^2} \|p_n - c_l\|^2\right) \quad (6)$$

$$\xi_n^l = \frac{ou_n^l}{\|ou_{\max}\|} \quad (7)$$

## 2 用电全过程业务管理平台构建

### 2.1 用电全过程业务管理平台功能分析

针对管理业扩报装时期、运行期管理以及用电变更构成的用电全过程业务,基于用户侧业务功能,设计用电全过程业务管理平台,其功能视图如图2所示,提供有关业务数据整合、查询以及交互等功能服务。

采集子站数据通过相互独立的各个数据采集主站上传后,统一存储至分布式数据中心,为管理业务数据提

供支持,以便更好地服务于电网公司、服务公司以及用电客户等对象。

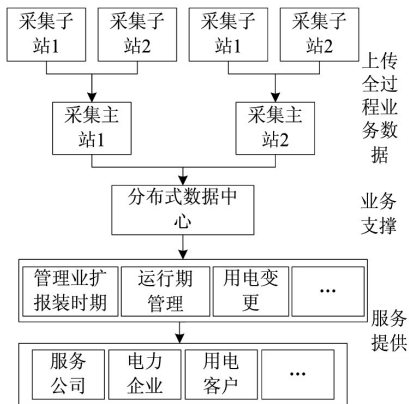


图2 用电全过程业务管理平台功能示意图

## 2.2 用电全过程业务数据库构建

业务管理平台的数据库由概念模型、逻辑以及物理等设计阶段组成。表1—表3为平台较为常用的几种数据库表。

表1 客户基本信息表

名称	类型	含义	备注
ID	nvarchar(10)	客户编码	主键
Name	nvarchar(25)	客户姓名	不可空
Address	nvarchar(15)	客户地址	不可空
Districtid	nvarchar(25)	归属台区	不可空
Phone	nvarchar(15)	联系方式	不可空
Type	nvarchar(10)	客户类型	不可空
Remark	nvarchar(150)	备注	可空

表2 客户用电基本信息表

名称	类型	含义	备注
ID	nvarchar(5)	抄表编码	主键
Meter time	date time	抄表时间	不可空
Last degree	float	上次电表度数	不可空
This degree	float	本次电表度数	不可空
Meter	float	记录人员	不可空
Type	nvarchar(20)	用电阶梯	不可空
Charge standard	nvarchar(30)	电费标准	不可空

表3 用电全过程业务数据导入日志信息表

名称	类型	含义	备注
ID	nvarchar(5)	抄表编码	主键
Customer	nvarchar(20)	客户编码	外键
Import date	date time	导入时间	不可空
Remark	nvarchar(180)	导入备注	可空

## 2.3 用电全过程业务数据挖掘

业务数据作为平台的最基本要素,利用交互式人工智能引擎与数据挖掘引擎,通过联机分析,在平台上显示最终的处理结果。

该挖掘引擎中采用的是基于贪心算法<sup>[7]</sup>的决策树归

纳技术,实现流程如下所述:

(1) 针对当前样本集合  $T$  的备选属性集  $T_a$ , 建立事例集合节点  $N$  (即根节点);

(2) 若集合  $T$  所含元素个数与类别  $C$  数量相同, 则节点  $N$  为类别节点 (即叶节点), 得到类别  $C$ ;

(3) 如果当前备选属性集  $T_a$  满足  $T_a = \emptyset$ , 或集合  $T$  剩余的样本个数比预设阈值小, 则节点  $N$  为类别节点 (即叶节点), 且是集合  $T$  内的最大类别;

(4) 基于各备选属性集  $T_a$  的属性集  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ , 将剩余样本集合设定为  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$ , 其中,  $m$  表示属性个数与剩余样本个数, 则利用下列计算公式解得属性集  $A$  分类集合  $S$  时的信息增益率:

$$GR(A) = \frac{Gi(A)}{SI(A)} \quad (8)$$

式中,  $Gi(A)$  指代信息增益;  $SI(A)$  指代集合  $S$  的期望信息 (即总熵), 计算公式如下所示:

$$SI(A) = -\sum_{i=1}^m p_i \log p_i \quad (9)$$

式中, 既属于集合  $S$ , 又属于类别  $c_i$  的概率是  $p_i$ 。

(5) 令叶节点  $N$  测试属性  $T_a$  的信息增益率最大化;

(6) 若属性  $T_a$  具有连续性, 则寻找其对应的分割阈值;

(7) 对于每一个节点  $N$ , 一旦其相应样本子集  $T'$  满足  $T' = \emptyset$ , 就通过分裂手段得到新的叶节点, 并作出最大类别标识; 若  $T' = \emptyset$  条件不成立, 则反复循环整个算法步骤, 不断进行分裂, 直到满足收敛条件  $T' = \emptyset$ ;

(8) 分裂完全后, 将用电全过程业务数据的挖掘过程看成是一般的二分类问题, 通过下列方程组计算出各节点的类别划分准确度与精度, 融合、交叉应用预剪枝与后剪枝方法<sup>[8]</sup>, 完成决策树的剪枝处理, 实现业务数据挖掘:

$$\begin{cases} acc = \frac{TP + TN}{TP + FN + FP + TN} \\ pre = \frac{TP}{TP + FP} \end{cases} \quad (10)$$

式中,  $TP$  指代真正类;  $TN$  指代真反类;  $FN$  指代假反类;  $FP$  指代假正类。

## 3 用电全过程业务管理平台仿真试验

从某电力企业的用电全过程业务数据里选取 3 000 个数据分别用于训练与检测, 其中, 2 000 个用来训练神经网络; 1 000 个用来检测平台实现效果。

### 3.1 神经网络参数对业务数据管理平台的影响

业务管理平台的交互式人工智能引擎以改进的径向基神经网络为基础, 网络参数设定对整个平台的有效运行与性能发挥着重要的决定性作用, 因此, 本实验环节主要讨论改进径向基神经网络的隐藏层数、阈值  $\psi_1, \psi_2, \psi_n$

等参数对管理平台业务数据导入数据量与速度的影响,如图3所示。

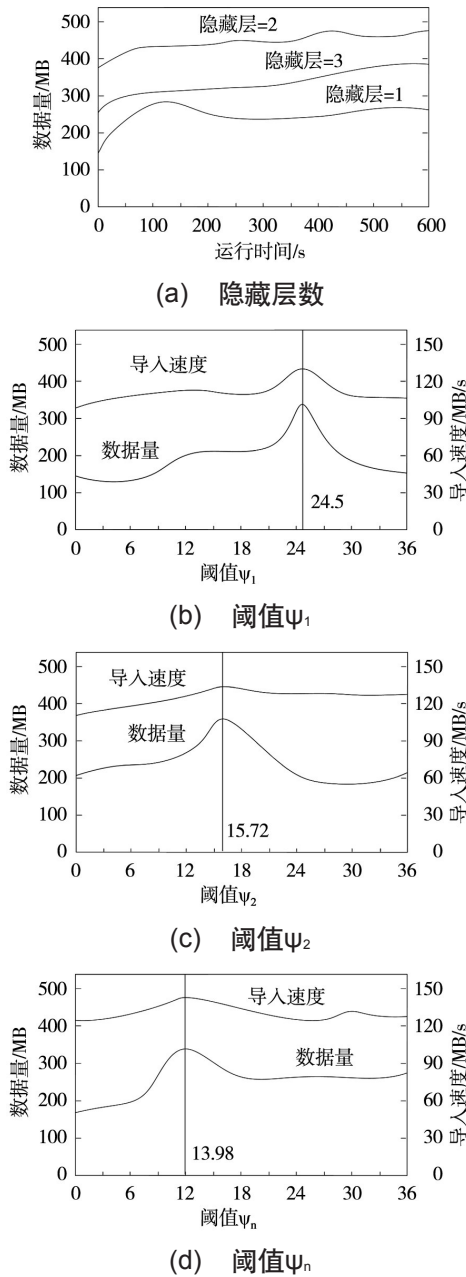


图3 神经网络参数与业务数据相关性

表4 改进径向基神经网络最优参数

指标	数值
学习速率	0.001
权重	0.000 5
动量	1
变化指数	0.1
隐藏层数	2
阈值	24.5
阈值	15.72
阈值	13.98

根据以上实验结果,得到最佳数据量与导入速度对应的参数值,即改进径向基神经网络最优参数,如表4所

示,以此为依据进行设置,客观验证管理平台的功能实现效果与性能发挥程度。

### 3.2 平台功能实现效果

利用1 000个用于检测的用电全过程业务数据,验证业务管理平台的功能反馈即时性与管理效果。选取平台上的文件上传、下载、删除与文件夹新建、删除、编辑以及智能引擎、挖掘引擎等主要功能,通过交互式人工智能引擎各启动10次,每个功能的有效实现次数与数据反馈均时如图4所示。

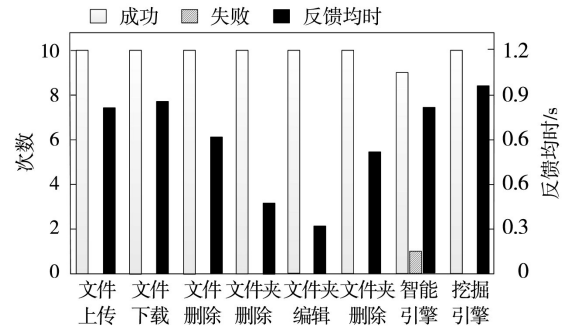


图4 平台功能实现情况示意图

从功能的成功实现次数与反馈均时等指标数据可以看出:除智能引擎因文本指令识别有误而失败一次之外,其余功能均得以有效实现,且所有功能都在1 s内就快速给出反馈,即时性较为理想。该平台的显著优势得益于基于C/S构架的交互式人工智能引擎,该项技术工具利用改进的径向基神经网络,无监督学习人机交互任务的特征属性,有效实现了人机交互,通过人机接口的语音交互,又好又快地完成了其他功能的交互式操作。

## 4 结束语

计算机技术的发展对电力行业的智能化进步产生了巨大的推动力,有关业务范围也得到了相应扩展,比如融合了信息技术的电能监测、设备监测等。电能供应与使用是整个电力流程中较为关键的两个环节,尤其是用电环节的相关业务,直接影响电力用户体验感,因此,本文设计一种基于交互式人工智能的用电全过程业务管理平台,以期赋予电网业务更高的体验感与应用价值。虽然电力信息化建设取得了长足进步,但仍需展开深入探索:电力业务数据种类多样,应细化数据结构形式进行针对性研究,让管理效用得到最大发挥;人工智能技术与人机交互技术的制约性因素较多,需继续学习新型技术的理论知识,令交互式人工智能引擎性能产生质的飞跃;基于用电全过程业务架构统一、高效的评估体系,为管理工作提供助力;将其应用于实际电力企业中,通过实践不断完善平台功能,增加操作便捷性。

(下转第171页)