

[电能表]

基于神经网络算法的抄表数据异常判断方法

文/郑 灿 李 诚 沈超伦 刘 县 顾丹虹 刘小双
国网嘉兴供电公司

随着浙江省电力市场化改革的深入，偏差考核和“月结月清”的模式对抄表准确性提出了更高的要求，从数据异常校验规则出发，设计出一套基于神经网络算法的抄表数据异常判断方法作为当前抄表数据异常判断的改进部分。该改进将有效监测出抄表数据中的异常，及时校正抄表人员的错漏，提高电费结算准确性。

电能表作为电量计量的基础设备，同时也是供电方和用电方进行电费结算的主要依据，其抄表准确性具有较重要的意义。随着浙江省电力市场化改革的深入，供电公司、售电公司和用户之间的市场化购售电机制已全面建立，由此带来的电价月度更新和电费偏差考核机制对计量准确性和“月结月清”的核算提出了更高的要求，减少电能表装拆过程中抄表差错，提高月度计费准确性被赋予更高的意义。减少抄表数据差错带来的电费差错率，能够有效减少由此带来的电费退补计算、核定和审批的工作量，同时在电力用户心中建立“对、准、清”的电费印象，有利于与用户建立更加深度的信任基础，助力地方营商环境的提升。当前电能表基本能实现远采集抄覆盖，但是在个别信号不佳、通信故障的情况下仍需现场抄表，当前电力公司多采用移动作业终端红外抄表和手工抄表相结合的方式开展。但在抄表准确性上相较远采集抄仍然存在问题，主要体现在手工抄录和红外抄表的不规范造成的数据异常，现场抄表数据上传后，缺乏有效的数据校验和纠偏机制，造成数据异常差错。该差错存在隐蔽性和复杂性，必将带来电费上的差错，在市场化结算中为供电方、售电方、用电方的结算带来麻烦。

电量监测与抄表异常

用户抄表数据直接影响到用户结算电量。反之，用户电量的异常最能表征抄表数据是否正常。基于该逻辑，本研究设计一套以电量数据为基本检测样本，以神经网络算法为主要判断规则的抄表数据异常判断方法，该方法通过归类、分析和预测用电数据，实现对用电量的趋势预测，通过预测值与结算值的偏差判断抄表数据是否异常。

BP神经网络算法

人工神经网络常用于解决数字识别中的非线性映射或分类问题，近年来在智能化领域得到了大量应用，推进了工业控制等相关研究领域的发展。BP神经网络是人工神经网络中应用最广泛、发展比较成熟的一种，通过对数据样本进行学习，合理提取样本中的趋势，对测试样本具有分析和预测能力。该算法的最大优势是实现数据从输入层到输出层的正向传播，以及误差是从输出层到输入层进行反向传播。

正向传播时，输入数据经过输入层各神经元，传递到中间各层神经元，在这里进行信息变换。中间层神经元接收到数据变化的刺激，设置为单隐层或多隐层结构，最后一个隐层处理数据后，

一次循环结束，在输出层逐层处理，最终得到预测数据。当输出层的预测数据与实际输出核验后，如果误差超过阈值，误差将开展反向传播，即将误差进行反向输入中间神经元，根据误差进行自我训练和参数迭代优化，按误差梯度下降的方式修正各层权值和阈值，向隐含层、输入层逐层反传，目的是减小下一次预测结果与预想结果的误差，直到输出信息接近预想结果。这就是BP神经网络学习训练的过程。此过程可不断迭代，直至误差可控在阈值以下。从原则上说，每层神经元的状态只会受到单向影响。

BP神经网络结构如图1所示。图1中， $x_1, x_2, \dots, x_i$ 表示输入值； $y_1, y_2, \dots, y_j$ 表示预测值（输出值）； V 和 W 是BP神经网络权值，也可理解为不同的映射函数。把BP神经网络的输入与输出看作一对有函数关系的变量， $x_1, x_2, \dots, x_i$ 是该函数的自变量， $y_1, y_2, \dots, y_j$ 是该函数的因变量。在本研究中，输入和输出为等维度数列。利用BP神经网络进行数据预测时，需要先对BP神经网络进行训练，使其具有联想记忆和预测能力。

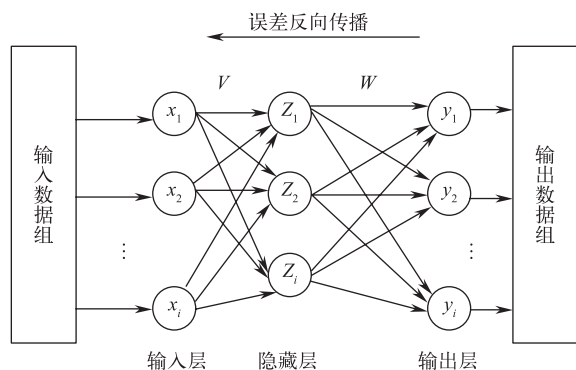


图1 BP神经网络结构图

用公式表达BP神经网络的正向传播，隐藏层第 i 个节点的输入 N_i 、输出 O_i ，输出层第 k 个节点的输入 N_k 、输出 O_k 的计算公式为

$$N_i = \sum_{j=1}^M V_{ij} x_j + p_i \quad (1)$$

$$O_i = \varphi(N_i) = \varphi\left(\sum_{j=1}^M V_{ij} x_j + p_i\right) \quad (2)$$

$$N_k = \sum_{i=1}^q V_{ik} \varphi\left(\sum_{j=1}^M V_{ij} x_j + p_i\right) + a_k \quad (3)$$

$$O_k = \theta\left[\sum_{i=1}^q V_{ik} \varphi\left(\sum_{j=1}^M V_{ij} x_j + p_i\right) + a_k\right] \quad (4)$$

式中， M 为输入信号数量； V_{ij} 为第 i 个神经元和第 j 个神经元之间的关联权值（映射函数）； x_j 为第 j 个神经元的输入信号； p_i 为第 i 个节点的阈值； φ 为神经元的输出函数； q 为隐藏层变量数量； a_k 为第 k 个节点的偏置； θ 为激励函数。

用公式表达BP神经网络的反向传播，输出信号与实际值（训练过程中）进行比较后，误差将反向传输，从而产生循环调节机制，被反向传输的误差可表示为

$$e = 0.5 \sum_{k=1}^L (T_k - O_k)^2 \quad (5)$$

式中， L 为输出层层数； T_k 为第 k 个神经元的实际值。

通过以上机制描述可知，BP神经网络具有将复杂函数简单化、可实现自适应学习和调整的优点。将该算法应用于抄表数据异常判断，通过大量历史电量数据的训练，使其获得较为符合用户用电规律的函数映射，用数据预测的方法检验抄表示数录入中的异常波动。

仿真验证

通过MATLAB仿真平台的神经网络工具程序仿真算法，该编程遵循人工神经网络理论，利用数字模型处理输入和输出之间的逻辑函数、算法迭代等过程进行模拟，同时对部分内容进行了简化，主要内容分为模型构建、模型训练和模型预测判断三部分，如图2所示。

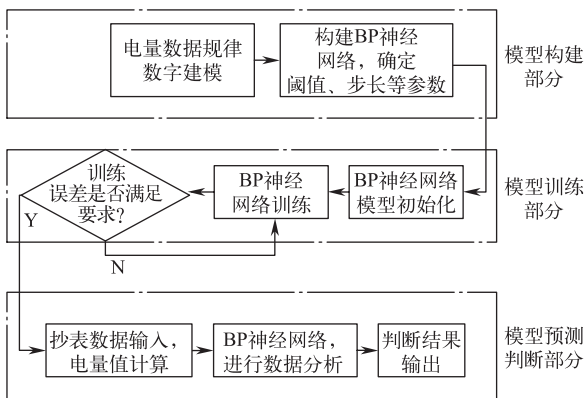


图2 BP神经网络模型构建流程

本研究选取当地典型用电特征的大工业用户、商业用户、非工业用户及普通工业用户各3户，通过电力采集系统调取样本用户历史用电数据，对算

法开展训练。

- 1) 近30日的每日24 h的电量数据。
- 2) 用户近期12个月的每月第二个典型日（与待验证抄表日同周属性的当日）电量数据。
- 3) 用户近三年同日期电量数据。

依靠训练结果预测当日不同时间段的用电电量情况，与实际当日用电量进行比较，模型预测与实际误差见表1。

表1 样本用户的用前两预测值与实际值误差					
误差 (%)	用电性质	容量/ (kV·A)	8:00 – 10:00	12:00 – 14:00	20:00 – 22:00
用户1	大工业	800	-3.13	-4.69	-95.19
用户2	大工业	10 800	1.39	-1.39	-17.74
用户3	大工业	3 630	7.41	-15.63	-38.46
用户4	商业	1 630	42.31	-10.34	17.14
用户5	商业	3 000	-3.13	-9.62	8.33
用户6	商业	3 750	18.18	-14.29	22.86
用户7	非工业	5 000	-14.29	-25.00	-20.00
用户8	非工业	3 200	20.00	9.09	0.00
用户9	非工业	1 600	2.20	10.98	0.00
用户10	普通工业	250	104.72	16.06	-22.76
用户11	普通工业	160	21.96	1.97	4.51
用户12	普通工业	200	-13.17	98.67	-65.35

1) 从预测时间段来看，白天用电量预测效果较好，夜晚模型预测效果较差，主要与夜晚生产较为不规律有关。

2) 从用户容量来看，对于大容量用户的预测效果较好，对小容量用户的预测效果较差，主要是大容量用户用电较为稳定和规律，特别是大工业用户，其展现出24 h生产特性，减少了预测难度。

3) 从用户种类分析，对于持续生产经营用户（如大工业用户、商业用户），BP神经网络的预测效果较好，误差可以控制在25%以内；对于生产具有间歇性的用户，预测效果较差，该分析与容量分析结论一致。

对于需进行异常校验的抄表数据，均发生于白天，即抄收人员工作时间开展的现场抄表数据；对于大工业用户、商业用户和非工业用户，预测误差绝大多数控制在50%以下。将异常数据筛选规则的预警下限控制在50%，误差50%以上可认定为抄表数据异常，该算法对于异常数据的核查仍为有效。

因此在原有的抄表判断流程中增加“神经网络算法异常判断”，可以大大降低抄表差错和电费差错，改进后的流程图如图3所示。

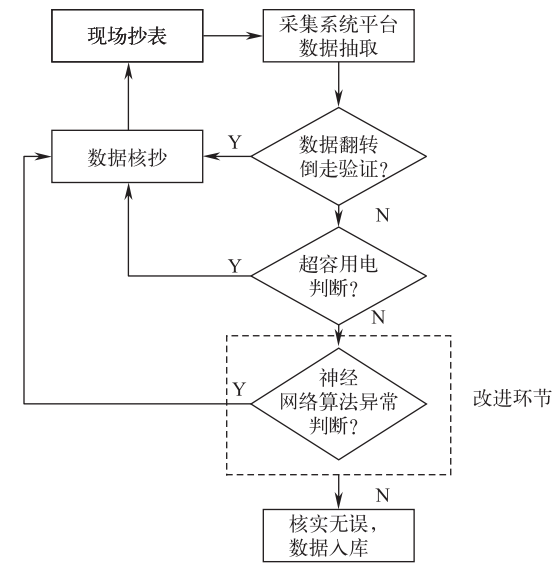


图3 改进后的抄表数据异常核查流程

将改进后的抄表数据异常核查流程通过MATLAB实现，对用户1~12设置4个典型抄表差错，观察系统异常报错机制结果见表2。

表2 典型差错核查报错率			
差错类型	改进前报错	改进后报错	提升异常核查率 (%)
错输小数点位置	10	12	16.67
漏输小数点后一位	5	9	33.33
漏输小数前一位	12	12	0.00
错输上次抄表数据	0	8	66.67
合计	27	41	29.17

由表2可知，改进后的抄表数据异常核查流程在现场抄表的输错小数点位置等人工或红外拆表等常见错误中能够提高预警率，有效发现数据异常。

结束语

在研究神经网络算法的预测性和自适应性的基础上，通过分析抄表数据异常的特征，在电力抄表数据异常核查中引入神经网络算法异常判断方法，实现了对异常核查流程的优化，提高了抄表准确度，极大地改善了电费差错频发的困境，相关仿真实验验证了该应用的有效性。EA

（收稿日期：2023-11-19）