

基于自组织神经网络的变压器故障诊断

顾民, 葛良全

(成都理工大学核技术与自动化工程学院, 四川 成都 610059)

摘要: 变压器故障诊断实质上是属于一种模式识别, 基于类内样本与类中心的距离的不同而对类中心的偏移产生不同影响的思想, 改善了传统 ART2 网络存在模式漂移的不足。首先对变压器 DGA 故障样本的输入矢量进行扩展处理, 然后用改进后的 ART2 网络对样本进行诊断。通过与传统的三比值法和 BP 神经网络的诊断结果对比, 验证了该方法的有效性和可行性。

关键词: 电力变压器; 故障诊断; 油中溶解气体分析; ART2 网络; 欧氏距离

Fault diagnosis of power transformers based on the neural network of self-organizing map

GU Min, GE Liang-quan

(School of Nuclear Technology and Automation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: Fault Diagnosis of Power Transformers is a kind of pattern recognition. The paper modifies the traditional ART-2 network based on this idea: different distances for samples to center of cluster produce different influence on excursion of center of cluster and the lack of pattern drifting is improved. First the input vector of sample is extended, then it is diagnosed by the modified ART2-network. The results are compared with those obtained by the IEC three-ratio and BPNN method. Comparison result verify that the algorithm proposed is effective and feasible.

This paper is supported by National Natural Science Foundation of China(No.40374051).

Key words: power transformer fault; diagnosis; dissolved gas-in-oil analysis; ART2 network; euclidean distance

中图分类号: TM772; TP181 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2007)23-0028-03

0 引言

电力变压器油中溶解气体的色谱分析(DGA)是变压器内部故障诊断的重要手段, 国内外研究电力变压器内部故障诊断方法很多, 如神经网络方法^[1]、模糊集理论方法^[2]、专家系统方法、综合人工智能技术^[3]以及变压器故障在线监测技术的应用等。由于神经网络具有并行处理、学习和记忆、非线性映射和自适应能力等特点, 非常适合应用在电气故障诊断领域。这些网络一般都采取前馈型神经网络(如 BP 网络, RBF 网络), 但前馈型网络具有一定的局限性, 如学习偶发事件能力差, 对训练样本内没有的故障类型无法分类等。基于自适应共振理论的 ART-2 神经网络采用竞争学习和自稳机制原理实现稳定的无监督分类, 可以进行实时学习, 并对已学过的模式自动响应和自动识别, 分类能力较强, 而且克服了大多数前向网络容易陷入局部极小点的缺陷, 可

以得到全局最优点。由于传统的 ART2 存在模式漂移的不足, 影响其故障分类的正确性, 文章采用基于类内样本与类中心的距离的不同而对类中心的偏移产生不同影响的思想, 对传统的 ART2 网络算法进行分析和改进, 改善了模式漂移的缺点, 提高了分类能力, 从而极大地提高了故障分类的正确性。将其用于变压器内部故障诊断, 同时对输入样本的输入矢量进行了扩展, 通过实例, 证明了该方法的在诊断故障时能够随新的样本调整故障特征曲线, 同时具有较高的准确性。

1 ART2 网络模型及改进

1.1 传统 ART2 网络简介^[4,5]

一种典型的 ART2 神经网络结构如图 1 所示。

整个系统分为注意子系统和定向子系统两部分。注意子系统完成由底向上矢量的竞争选择及矢量间相似程度的比较, 定向子系统检查相似度能否达到检测标准, 并做出相应的动作, 共振或者重置。输入模式 X 在 F1 层特征表示场通过向量归一化和

基金项目: 国家自然科学基金项目(40374051)

非线性变换进行预处理, 达到抑制噪声增强对比, 得到自稳后的输入模式 U 。并经 P 进入上行滤波通道后, 在 F2 层类别场产生并行搜索编码模式 Y , 通过竞争选择获胜节点 Y_I , 获胜节点的外星连接权矢量 w_{jI}' 反馈到 F1 层与 U 一起进行运算后, 进入调整子系统中进行相似度的警戒测试。如果通过检验, 调整当前激活节点 I 的内星及外星连接权矢量, 其相应的模板中心调整过程为:

上行滤波通道权矢量 (内星) 学习算法为:

$$\frac{d}{d_t} w_{Ij} = d(1-d) \left(\frac{u_j}{1-d} - w_{Ij} \right) \quad (1)$$

下行反馈通道权矢量 (外星) 学习算法为:

$$\frac{d}{d_t} w'_{jI} = d(1-d) \left(\frac{u_j}{1-d} - w'_{jI} \right) \quad (2)$$

如果未通过检验, 当前激活节点 I 被重置并被屏蔽, 在剩余的节点中继续搜寻最匹配的。如果所有节点均不能通过警戒测试则开辟新的输出节点, 即创建一个新类。

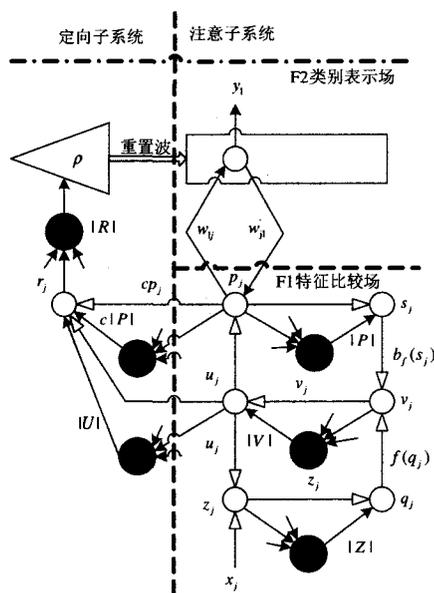


图 1 传统 ART2 网络结构

Fig. 1 Structure of traditional ART2 neural network

1.2 传统 ART2 网络的不足及改进

模式漂移现象主要是由权值的修正方法不合理引起的。从权值的修正算法公式 (1)、(2) 可以看出, 每当学习过程结束后, 新的模板中心 W_I 与 F1 层当前输入的中层模式 U 平行^[6]。

$$w_{Ij} = \frac{u_j}{1-d} \quad w'_{jI} = \frac{u_j}{1-d} \quad (3)$$

每次学习结束时权值 W_I 总是向当前输入的中

层模式 U 漂移, 这样就造成该类的模板中心会不断地向新加入模式的方向偏移, 最后可能导致模板中心严重偏离模式类真正中心。模板中心就失去了对该类的代表性。

在聚类中, 样本之间的距离常常作为它们是否属于同一类一个判别标准, 因此, 将输入模式与现有的模板中心的欧氏距离引入了匹配度检验阶段及权值修改中, 极大地改善了模式漂移现象, 具体改进算法如下:

首先计算输入模式与现有的模板中心的欧氏距离

$$Dis = \| \frac{w_I}{|w_I|} - U \|_2 = \left(\sum_{j=1}^m \left(\frac{w_{Ij}}{|w_I|} - U_j \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

然后在 F2 场开辟一个 $2m$ 维矢量空间 D 。其中奇节点记录属于该类别的所有样本点的模式 U 与归一化的模板中心 W_I 之间的欧式距离和, 相邻的偶节点记录属于该类别的样本数量 K 。即

$$D_{2I-1}(k) = Dis + D_{2I-1}(k-1) \quad I = 1, \dots, m \quad (5)$$

$$D_{2I} = k$$

最后进行权值的修正。

对于同一个类的样本, 当新增加一个样本, 距离模板中心越远的样本对模板中心的迁移影响越大。基于这种思想, 采用式 (6) 对权值进行修正, 这样得到的模板中心就会尽可能的接近真正的聚类中心, 从而会极大地改善了模式漂移现象。

$$w_{Ij}(k) = w_{Ij}(k-1) + \frac{Dis}{D_{2I-1}} u_j \quad (6)$$

$$w'_{jI}(k) = w'_{jI}(k)$$

2 变压器故障诊断的改进 ART2 网络模型

2.1 输入矢量及输出矢量的确定

输入矢量反映样本的特征, 对原始输入矢量进行不同的处理, 会给进一步处理带来不同的效果, 本文采用扩大输入矢量的方法, 使输入矢量从不同的侧面反映变压器故障特征。变压器 DGA 故障诊断是利用变压器油中气体 H_2 、 CH_4 、 C_2H_6 、 C_2H_4 、 C_2H_2 来判定变压器的故障类型, 对于一个诊断样本, 扩展后的输入矢量由以下三部分构成, 首先将各气体含量占 5 种气体含量总和和百分比作为改进 ART2 网络的输入矢量的第一部分。三比值法作为传统的检测手段, 能够判别 80% 的故障, 因此将 C_2H_2 / C_2H_4 、 CH_4 / H_2 、 C_2H_4 / C_2H_6 的比值的结果再

分别除以这 3 个比值之和,使其位于 0, 1 之间,然后作为输入矢量的第二部分;第三部分将输入值按如下方法处理:

$$P_{new}(i) = \frac{(p(i) - p_{min}) + 1}{p_{max} - p_{min}} \quad (7)$$

$i = 1, 2, 3, 4, 5;$

其中: $p(i)$ 表示该样本中气体含量值, p_{max} 和 p_{min} 分别是该组样本数据中最大值和最小值, $p_{new}(i)$ 为各种气体归一化的值,将得到的 $p_{new}(i)$ 再除以 5 种气体归一化的值的和,作为输入矢量的第三部分,其值介于 0 与 1 之间。这样,输入矢量由 13 个分量组成,分别是 5 种气体含量占总和百分比、三比值法的结果占它们之和的百分比以及输入归一化后的值占它们之和的百分比。变压器的内部故障就其故障现象而言,主要有过热性故障与放电性故障,一般以单一故障为主,复合故障有时也有发生,输出采用正常 Y1、低温过热 Y2(<300℃)、中温过热 Y3(300~700℃)、高温过热 Y4(>700℃)、低能放电 Y5、高能放电 Y6、低能放电兼过热 Y7、高能放电兼过热 Y8 共 8 种输出。

2.2 提取故障类型特征曲线

将收集到的 180 个各种故障类型的样本数据输入到改进后的 ART2 网络,提取出代表输出类型的 8 种故障的特征曲线,如图 2 所示,其中改进 ART2 网络的参数选取如下:

$a=10; b=10; c=0.2; d=0.8; e=0; \theta=0.1; ww=0.01; \rho=0.978。$

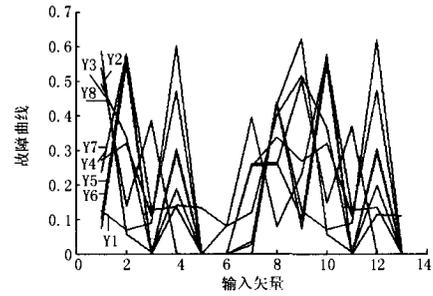


图 2 变压器故障类型特征曲线

Fig.2 Feature curve of transformer fault type

2.3 故障诊断及仿真实例分析

另采用 100 组变压器故障样本进行进行诊断,并将改进的 ART2 网络诊断结果与 BP 网络以及三比值法进行比较,其中 BP 网络训练时输入为 5 种气体占总气体含量百分比,隐层节点为 10 个,训练函数选取 trainlm。采用 ART2 网络的诊断正确率为 91%,采用 BP 网络诊断正确率为 87%,采用三比值法的正确率为 83%,其中三比值法对于单一故障有一定的正确诊断率,但无法识别复合故障,BP 网络对于在训练集中充分学习的单一样本和复合故障均能有效诊断,但对于没有训练不足或训练集中没有的故障无法识别,而改进的 ART2 网络不仅识别率高,同时还能在识别的同时调整故障特征曲线,从而具有一定的自适应性。表 1 列举了其中 9 种典型实例的故障诊断结果,从表 1 中可看出三比值法对于诊断会出现一些无对应故障的编码,而且无法识别复合故障,采用 BP 网络和 ART2 网络均有一定的准确率。

表 1 ART2 网络与三比值法以及 BP 网络诊断结果的比较

序	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	ART2 网	BP 网	三比值	实际状况
1	14.67	3.68	10.54	2.71	0.20	正确	正确	000	正常
2	183	1032	115	557.8	0.3	正确	正确	022	高温过热
3	13.1	44.7	91.5	213.3	4.2	正确	正确	021	中温过热
4	98	58	43	37	0	正确	错误	000 [#]	低温过热
5	56	78	18	21	0	正确	正确	021 [#]	低温过热
6	97.8	13.2	11.5	66.5	7.0	正确	正确	102	高能放电
7	35	25	0	23	22	错误	正确	102 [#]	低能放电
8	21.4	39.2	0	0	1.4	正确	正确	222 [*]	高能兼过热
9	188	236	18.1	237	31.8	正确	错误	122 [*]	低能兼过热

*: 三比值法无此对应编码; #: 错误编码

3 结束语

基于自适应共振理论的 ART-2 神经网络根据其自身优势在模式在变压器故障诊断方面具有很强的优势,改进的 ART2 网络克服传统 ART2 网络存在

模式漂移的不足,得到更准确的分类结果,实例验证了改进的 ART2 网络比 BP 网络和三比值法具有更高的准确率。

(下转第 34 页 continued on page 34)

- [2] 干敏梁, 梁永明, 刘海春. 智能型配电测控仪的研究[J]. 电工技术杂志, 2003, (3): 39-41.
GAN Min-liang, LIANG Yong-ming, LIU Hai-chun. Study on Intelligent Measuring Control Instrument for Electricity[J]. Electrotechnical Journal, 2003 (3): 39-41.
- [3] 赵红羽, 范通馗. C/PC系列配电运行综合测控仪[J]. 供用电, 2005, (5): 36.
ZHAO Hong-yu, FAN Tong-kui. C/PC Series Distribution Measuring Control Instrument[J]. Distribution & Utilization, 2005, (5): 36.
- [4] 朱守云. 低压电器数据通讯及其规约[J]. 江苏电器, 2001, (1): 4-6.
ZHU Sou-yun. Data Communication and Its Criteria for Low Voltage Apparatus[J]. Jiangsu Electric Equipment, 2001, (1): 4-6.
- [5] 李庆良. 综合自动化变电站中通讯规约的规范化[J]. 山西电力, 2003, (12): 40-41.
LI Qing-liang. The Standardization of Communication Standard in Substation Automation System[J]. Shanxi Electric Power, 2003, (12): 40-41.
- [6] 韩世伟. 按实例学 Visual C++ 6.0[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
HAN Shi-wei. Study Visual C++ 6.0 by Examples[M]. Beijing: Science Press, 2000.
- [7] 齐舒. Visual C++ 用户界面制作技术与应用实例[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004.
QI Shu. Visual C++ User Interface Technic and Application Examples[M]. Beijing: China Water Power Press, 2004.
- [8] 郝蕴. Visual C++ 6.0 开发与实例[M]. 北京: 电子工业出版社, 1999.
HAO Yun. Visual C++ 6.0 Exploitation and Examples[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 1999.
- [9] 李现勇. Visual C++ 串口通信技术与工程实践[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2004.
LI Xian-yong. Visual C++ Serial Ports' Communication Technic and Project Practice[M]. Beijing: People's Posts & Telecom Press, 2004.
- [10] 龚建伟. Visual C++/Turbo C 串口通信编程实践[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
GONG Jian-wei. Visual C++/Turbo C Serial Ports' Communication Program Practice[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2004.

收稿日期: 2006-11-10; 修回日期: 2007-09-24

作者简介:

张晓萍 (1984-), 女, 硕士研究生, 主要从事电力系统继电保护研究; E-mail: crystalzxp@163.com

都洪基 (1960-), 男, 高级工程师, 硕士生导师, 主要从事电力系统继电保护研究。

(上接第 30 页 continued from page 30)

参考文献

- [1] 魏星, 舒乃秋, 张霖, 等. 基于改进 PSO - BP 混合算法的电力变压器故障诊断[J]. 电力自动化设备, 2006, 26 (5): 35-38.
WEI Xing, SHU Nai-qiu, ZHANG Lin, et al. Power Transformer Fault Diagnosis Based on Improved PSO-BP Hybrid Algorithm[J]. Electric Power Automation Equipment, 2006, 26 (5): 35-38.
- [2] SU Q, MI C, LAI L L, et al. A Fuzzy Dissolved Gas Analysis Method for the Diagnosis of Multiple Incipient Fault in a Transformer [J]. IEEE Trans on Power Systems, 2000, 15(2): 593-598.
- [3] 吴宏岐, 刘霞, 周妮娜. 集成神经网络信息融合技术在变压器故障诊断中的应用[J]. 微计算机信息, 2006, 22 (2-1): 193-195.
WU Hong-qi, LIU Xia, ZHOU Ni-na. The Information Fusion of Integrate Neural Network's Application in Transformer Fault Diagnosis[J]. Control & Information, 2006, 22 (2-1): 193-195.
- [4] Carpenter G A, Grossberg S. ART-2: Self Organization of Stable Category Recognition Codes for Analog Input Pattern[J]. Applied Optics, 1987: 26: 4914-4930.
- [5] Carpenter G A, Grossberg S. ART2-A: An Adaptive Resonance Algorithm for Rapid Category Learning and Recognition[J]. Neural Network, 1991 (4): 493-504.
- [6] 徐艺萍, 邓辉文, 李阳旭. 一种改进的 ART2 网络学习算法[J]. 计算机应用, 2006, 26(3): 659-662.
XU Yi-ping, DENG Hui-wen, LI Yang-xu. An Improved ART2 Neural Network Clustering Algorithm[J]. Computer Applications, 2006, 26(3) 659-662.
- [7] 飞思科技产品研发中心. 神经网络理论与 MATLAB7 实现[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
Fei Si Science and Technology R&D Center. Theory of Neural Network and Matlab7 Application[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2005.

收稿日期: 2007-04-30; 修回日期: 2007-05-30

作者简介:

顾民 (1971-), 男, 博士研究生, 讲师, 研究方向为故障诊断、电力负荷预测、神经网络在电力系统的应用等; E-mail: gumin_cdut@126.com

葛良全 (1962-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为信息处理技术。