

基于邻域粒子群优化神经网络的变压器故障诊断

贾 嵘, 徐其惠, 李 辉, 刘 伟

(西安理工大学电力工程系, 陕西 西安 710048)

摘要: 为了提高变压器故障诊断正判率, 提出了一种邻域粒子群算法优化 BP 神经网络的电力变压器油中气体分析(DGA)方法, 即通过相关统计分析和数据的预处理, 选择变压器油中典型气体作为神经网络的输入, 然后利用训练好的邻域粒子群算法优化后的神经网络进行变压器故障类型诊断。试验结果表明, 该类方法具有很好的分类效果, 较好地解决了变压器放电和过热共存时故障的难分辨问题, 对故障类型的正判率较高。

关键词: 变压器; 油中溶解气体分析; 故障诊断; 粒子群算法; 神经网络

中图分类号: TM835.4

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2008)01-0008-03

Power Transformer Fault Diagnosis via Neural Network Based on Particle Swarm Optimization with Neighborhood Operator

JIA Rong, XU Qi-hui, LI Hui, LIU Wei

(College of Electrical Engineering, Xi 'an University of Technology, Xi 'an 710048, China)

Abstract: In order to improve the correct judgement rate in power transformer fault diagnosis, this paper investigates a dissolved gas analysis method of transformer via neural network based on particle swarm optimization with neighborhood operator. Based on correlation analysis and data pretreatment, some typical gases in transformer oil are selected as the input of neural network for training, then the fault diagnosis is accomplished via the trained and optimized neural network. The experimental results show that this method gains good classification result, and can identify faults under the difficult situation where transformer overheat and partial discharge coexist. Moreover, this method works with a higher correct judgement rate.

Key words: Transformer; Dissolved Gas Analysis (DGA); fault diagnosis; particle swarm optimization(PSO); neural network

0 引言

变压器故障类型有多种, 特别是高温过热和过热兼放电两类故障, 由于特征气体体积分数较为相近, 因此容易产生误判。利用绝缘油中溶解气体分析(DGA)检测变压器内部早期故障, 已经成为变压器绝缘监督的一个重要手段。传统三比值法及相关改良比值法在工程实际使用中仍暴露出编码不全、编码边界过于绝对等弊端。多年来国内外学者对 DGA 进行了研究并提出了多种故障诊断的人工智能算法, 其中较为成功的是将神经网络引入到 DGA 中来^[1,2], 但标准的 BP(Back Propagation 误差反传前馈)神经网络算法存在学习收敛速度太慢、网络学习容易陷入局部极小而无法收敛到全局最优等实际问题^[3-5]。当前很多学者利用遗传算法改进神经网络

的权值和阈值^[6,7], 但遗传算法存在变异和交叉操作, 容易陷入局部最优, 而且编码方式较为复杂。针对上述问题提出带有邻域的粒子群算法(PSO)^[8,9]优化 BP 神经网络的变压器故障诊断。实例分析表明, 该方法结构简单, 容易收敛, 且能很好地区分多种故障特征, 有效地提高了故障正判率。

1 PSO 及邻域 PSO 算法

1.1 PSO 优化算法

文[9]于 1995 年提出了一种进化计算技术-粒子群算法(PSO), 其来源于对鸟群捕食的行为研究。算法初始化为一群随机粒子(随机解), 然后通过迭代寻找最优解。在每一次迭代中, 粒子通过跟踪两个“极值”来更新自己。第一个就是粒子本身所找到的最优解, 该解叫做个体极值 p_{best} ; 另一个极值是整个种群目前找到的最优解, 该极值是全局极值 g_{best} 。另

收稿日期: 2007-08-22; 修回日期: 2007-10-09

基金项目: 国家级科技攻关项目西部专项(2005BA901A33); 陕西省科技厅 2007 年工业攻关计划(2007K05-15)。

作者简介: 贾 嵘(1971-)男, 陕西省西安市人, 博士, 副教授, 主要研究方向为电力系统自动化装置。

外也可以不用整个种群而只是用其中一部分作为粒子的邻居,那么在所有邻居中的极值就是局部极值。

在找到这两个最优值时,粒子根据式(1)来更新自己的速度和位置。

$$v = v + c_1 \cdot \text{rand}() \cdot (p_{\text{best}} - p) + c_2 \cdot \text{rand}() \cdot (g_{\text{best}} - p) \quad (1)$$

$$p = p + v \quad (2)$$

其中 v 是粒子的速度, p 是当前粒子的位置。 p_{best} 和 g_{best} 如前面定义, $\text{rand}()$ 是介于 (0, 1) 之间的随机数。 c_1 、 c_2 是学习因子,通常 $c_1=c_2=2$ 。从以上步骤可以看到 PSO 根据自己的速度来决定搜索,同时粒子还有一个重要的特点就是记忆。图 1 给出具体 PSO 算法流程图。

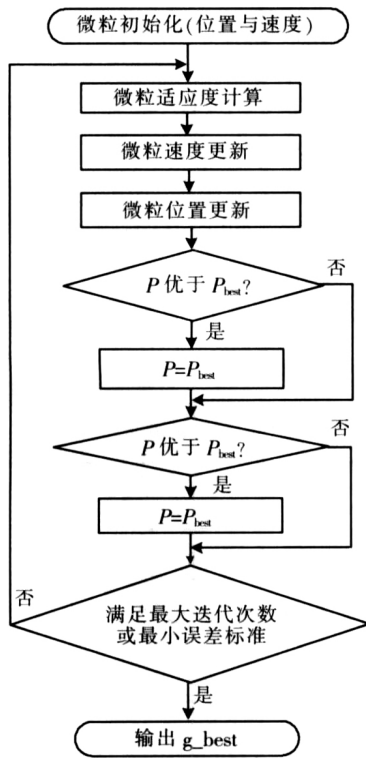


图 1 PSO 算法流程图

1.2 邻域 PSO 算法

为了较好区分变压器 DGA 中相近故障类型,在此引入了带有邻域的 PSO 算法。文[10]于 1999 年提出了带有邻域操作的 PSO 模型。在该模型中,用每个粒子所定义的当前邻域极值 l_i 代替粒子群的当前全局极值 g ,在优化的初始阶段,将邻域定义为每个粒子自身,随着迭代次数的增加,将邻域范围逐步扩展到包含所有粒子,则此时的邻域极值即为全局极值。该模型在一定程度上克服了 PSO 模型在优化搜索后期随迭代次数增加搜索结果无明显改进的缺点。

2 邻域 PSO 算法优化 BP 神经网络

BP 模型是一种多层前馈网络,其算法分为两个阶段:第 1 阶段(正向过程)输入信息从输入层经隐含层逐层计算各单元的输出值;第 2 阶段(反向传播

过程)输出误差逐层向前算出隐含层各单元的误差,并用此误差修正前层权值和阈值,如此正反向计算,不断反复,直到网络全局误差平方和达到预期精度。由于其算法基于梯度下降,具有易陷入局部最优、收敛速度慢和易引起局部振荡等缺点。

用邻域 PSO 算法优化 BP 神经网络,需要优化的对象(粒子)是 BP 神经网络的权值和阈值。首先,应把要优化的神经网络的全部权值和阈值构成一个实数数组,并赋予它们 [0, 1] 之间的随机数。然后,按照选定的网络结构,用前向算法计算出对应于每组输入样本的神经网络输出。这里, BP 网络的激活函数都选定为 Sigmoid 函数,然后用邻域 PSO 算法搜索出最优位置,使得均方误差指标(适应度函数)达到最小。图 2 为粒子群优化算法优化神经网络流程图。

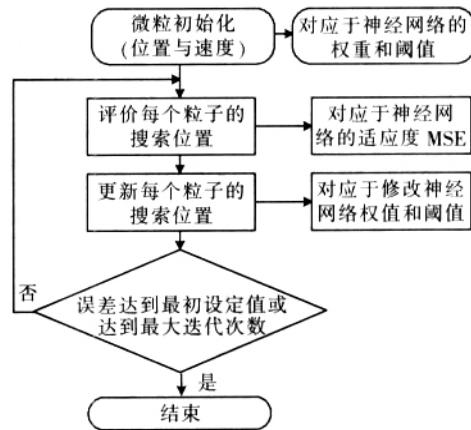


图 2 PSO 训练神经网络流程图

3 邻域 PSO 改进神经网络的故障诊断

3.1 输入输出层设计

训练网络的输入为特征气体的体积分数。在不妨碍判断准确率同时分析对象尽可能少的前提下,选择了 H_2 、 CH_4 、 C_2H_6 、 C_2H_4 、 C_2H_2 、 CO 、 CO_2 共 7 种气体作为输入矢量。

变压器的故障类型一般有放电型和过热型两大类,但考虑到变压器实际可能的故障类型有放电和过热同时发生的情况,笔者将两种故障同时存在的情况加入到输出层,弥补了电协研法的不足。综合考虑后,将输出层定为 7 种故障类型:局部放电或受潮、低能放电、高能放电、低温过热、中温过热、高温过热、放电兼过热,将上述故障类型依次编码为 1-7。

3.2 数据预处理

考虑到各种气体组分含量之间的巨大差异性及其分散性,为降低其相互之间由于量值差异造成的影响,对 DGA 原始数据进行了“归一化”处理,以降低气体之间的互斥性。对于输入向量归一化,该模型采用了带偏移的类 S 型模糊隶属函数。

$$A(x) = \left\{ 1 + \exp \left[-a \frac{(x - x_c)}{x_c} \right] \right\}^{-1} \quad (3)$$

表 1 正常变压器油中烃类气体的注意值

组分	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	CO	CO ₂
含量	150	60	4	70	10	400	4500

其中 x 为组分含量, x_c 为正常变压器油中烃类气体的注意值, a 为增益系数。

由于 DGA 所有组份均为半正定, 且组份增长表示故障加剧, 因此该算法 x_c 与 a 的设置基本原则为: 当 $x=0$ 时 $A(x)$ 趋近于 0, 当 $x>1.5x_c$ 时 $A(x)$ 将饱和至 1. x_c 的取值参考表 1 的正常变压器油中烃类气体的统计极限含量。

根据注意值进行归一化, 如果某种气体含量没有达到注意值, 归一化后其值权重就会较小, 有效地避免了错分和误分。

3.3 诊断实例

针对收集到 127 台故障明确的变压器油中气体体积分数的数据, 先除掉了一些数据不够全及测量结果明显有误的数据后, 得到 118 组故障变压器的油中气体数据。对选出的 118 组样本进行数据预处理、编码和训练, 产生训练好的网络, 然后用不同于训练样本的 20 组故障样本进行了测试。PSO 算法参数为: 粒子数目为 40 个, $c_1=c_2=2.0$, w 随迭代次数由 0.9 线性地减小为 0.3; 迭代次数为 150 次。最佳适应度值曲线见图 3。

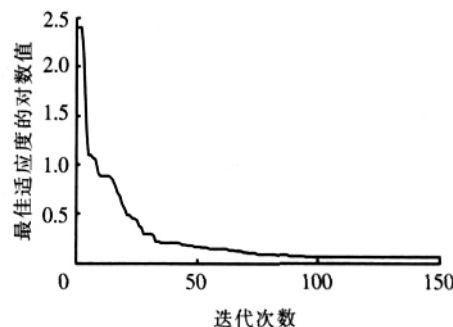


图 3 PSO 最佳适应度曲线

同时给出了 BP、ELAM-BP^[11]、PNN-BP (概率 BP)^[12]、ECOC-LSSVM^[13] (基于纠错编码的最小二乘支持向量机, 记作 LSSVM-1)、直接多分类 LSSVM^[13] (记作 LSSVM-2) 的检测结果, 具体见表 2、3。

表 2 诊断结果统计表

	PSO-BP	BP	ELAM-BP	PNN-BP	LSSVM-1	LSSVM-2
20 组测试样本诊断准确率/%	90	75	80	70	85	90
各种算法的相关参数	见文中	训练次数=1000 训练目标=0.01 隐层节点数=5	训练次数=500 训练目标=0.1 隐层节点数=25	平滑因子=0.5	惩罚可调参数=16 径向基核函数参数=0.1	惩罚可调参数=11 径向基核函数参数=0.01

表 3 诊断结果统计表

真值	故障类型																			
	6	7	6	6	6	6	6	6	6	5	6	6	1	5	2	3	4	3	7	6
PSO-BP	6	7	6	6	6	6	6	6	6	5	6	6	2	5	2	3	3	3	7	6
BP	7	7	6	6	6	7	7	6	6	5	6	6	2	5	2	3	3	3	7	6
ELAM-BP	6	7	6	6	6	6	6	6	6	5	3	6	1	6	2	2	4	3	6	6
PNN-BP	6	7	6	6	6	7	7	6	4	5	3	7	1	5	2	3	4	3	7	4
LSSVM-1	6	7	6	6	6	6	7	6	7	5	6	6	1	5	2	3	4	3	7	6
LSSVM-2	6	7	6	6	7	7	7	6	6	5	6	6	1	5	2	3	4	3	7	6

表 3 中 1-7 数字编码含义见输出层设计, 分别代表 7 种故障类型。由于实际中 1、4 两种故障较少出现, 所以文中这两类故障样本较少。从表 2 可以看出有多种算法用于变压器故障诊断中, 其效果各异, 该算法和 LSSVM 的诊断效果接近。从表 3 可知 BP 会对高温过饱和和过饱和兼放电两类相近故障产生误判, 对小样本的诊断效果也不够好, 所以效果较差; ELAM-BP 和 PNN-BP 对小样本效果有所改善, 但是仍会对相近故障明显误判; LSSVM 是当前研究较多的一种算法, 其最突出的特点就是对小样本有良好的分辨性能, 通过 LSSVM-1、LSSVM-2 两种方法的诊断, 可以看出 LSSVM 对小样本情况下的变压器故障诊断效果较好。笔者利用邻域 PSO 优化后的神经网络较好地解决了相近故障难分辨问题, 对小样本诊断性能也有了较大提高, 其产生的一个误判主要

是该类故障样本数据太少的缘故, 所以该方法能有效提高变压器故障诊断正判率。

4 结语

将邻域 PSO 算法与 BP 算法结合运用于神经网络训练中, 克服了 BP 算法训练时间较长并容易陷入局部收敛的缺点。同时鉴于几种故障类型的输入数据较为相近和故障样本数据较少的问题, 有效解决了相近故障类型的故障难分辨问题, 提高了变压器 DGA 故障正判率。

参考文献:

[1] 钱政, 高文胜, 尚勇, 等. 用可靠性数据分析及 BP 网络诊断变压器故障[J]. 高电压技术, 1999, 25(1): 13-15.
 [2] 钱政, 罗承沐, 严璋, 等. 范例推理 (下转第 19 页)

- [3] 丁立健, 李成榕. 真空中绝缘子的沿面闪络现象 [J]. 高电压技术, 1999, 25(2): 53-57.
- [4] 张冠军, 杨敏中, 严璋等. 采用光学方法研究陶瓷绝缘材料的沿面闪络特性[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(8): 27-30, 36.
- [5] 汤俊萍, 邱爱慈, 陈维青等. 真空中聚乙烯膜在纳秒脉冲电压下的沿面闪络特性[J]. 强激光与粒子束, 2003, 15(10): 1 019-1 022.
- [6] 雷杨俊, 肖定全. 真空中氧化铝陶瓷表面耐压试验研究[J]. 绝缘材料, 2004, 37(3): 29-35.
- [7] GAO W, SUN G S, PAN Y. et al. Dependence of Flashover Voltage on Gas Pressure in Vacuum [C]// The 12th Asian Conf. on Electrical Discharge (ACED), Shenzhen, China, 2004: 385-388.
- [8] ABDEL-SALAM M, STANEK E K. Optimizing Field Stress on High-voltage Insulators [J]. IEEE Trans. on Electrical Insulation, 1987, 22(1): 47-56.
- [9] ALLEN N L, MIKROPOULOS P N. Profile Effect on Surface Flashover in a Uniform Field [C]// High Voltage Engineering Symposium 1999, London, 1999(1): 216-219.
- [10] EGIZIANO L, SPAGNUOLO G, TUCCI V. Profile Optimization for an HV Insulator in Vacuum [C]// Conference Record of the 1996 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Quebec, 1996: 357-360.
- [11] PILLAI A S, HACKAM R. Optimal Electrode-solid Insulator Geometry with Accumulated Surface Charges [J]. IEEE Trans. on Electrical Insulation, 1984, 19(4): 321-331.
- [12] NADOLNY Z, ZIOMEK W. Field Stress Control for Spacer in Vacuum Using Varied Geometry of Triple Junction [C]// XVIIth International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum, Berkeley, 1996: 527-531.
- [13] SAMPAYAN S E, VITELLO P A. Multilayer High Gradient Insulator Technology [J]. IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, 2000, 7(3): 334-339.
- [14] KATSUMI KATO, MUNEAKI KURIMOTO, HIDEKI SHUMIYA, et al. Application of Functionally Graded Material for Solid Insulator in Gaseous Insulation System [J]. IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, 2006, 13(1): 362-372.
- [15] 张冠军, 赵文彬, 郑楠等. 真空中固体绝缘沿面闪络现象的研究进展[J]. 高电压技术, 2007, 33(7): 30-35
- [16] MILTO O. Pulsed Flashover of Insulator in Vacuum [J]. IEEE Trans. on Electrical Insulation, 1972, EI-7(1): 9-15.

(上接第10页)

- 结合神经网络诊断变压器故障 [J]. 高电压技术, 2000, 26(4): 4-8.
- [3] 章剑光. 变电设备状态检修应用研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2004.
- [4] 徐文, 王大忠, 周泽群, 等. 结合遗传算法的人工神经网络在电力变压器故障诊断中的应用 [J]. 中国电机工程学报, 1997, 17(2): 109-112.
- [5] 贾嵘, 蔡振华, 康睿. 基于最小二乘支持向量机的系统边际电价预测[J]. 高电压技术, 2006, 32(11): 145-148.
- [6] 王少芳, 蔡金铨, 刘庆珍. 基于改进 GA-BP 混合算法的电力变压器故障诊断[J]. 电网技术, 2004, 28(4): 30-33.
- [7] 王少芳, 蔡金铨. GA-BP 算法在变压器色谱诊断中的应用[J]. 高电压技术, 2003, 29(7): 3-6.
- [8] SHI Yu-hui, EBERHART R. A Modified Particle Swarm Optimizer [C]// Proc. IEEE Int Conf. on Evolutionary Computation Anchorage: IEEE, 1998: 69-73.
- [9] EBERHART R, KENNEDY J. A New Optimizer Using Particle Swarm Theory [C]// Proc. 6th Int Symposium on Micro Machine Human Science, Nagoya, 1995: 39-43.
- [10] SUGANTHAN P N. Particle Swarm Optimizer with Neighborhood Operator [R]. Proceedings of Congress on Evolutionary Computation, 1999.
- [11] 李天云, 程思勇, 董建东, 等. 基于 Elman 神经网络的油浸式电力变压器故障诊断[J]. 中国电力, 2006, 39(11): 55-57.
- [12] 曹永刚, 周玲, 丁晓群, 等. 基于概率神经网络的电力变压器故障诊断[J]. 继电器, 2006, 34(3): 9-11.
- [13] 贾嵘, 徐其惠, 李辉, 等. 最小二乘支持向量机多分类法的变压器故障诊断[J]. 高电压技术, 2007, 33(6): 110-113.

(上接第14页)

- [2] HOSSACK J A, MENAL J, MCARTHUR S D J, et al. A Multi-Agent Architecture for Protection Engineering Diagnostic Assistance [J]. IEEE Trans. on Power Systems, 2003, 18(2): 639-647.
- [3] MCARTHUR S D J, CATTERSON V M. Multi-Agent Systems for Condition Monitoring [M]. United States: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2005.
- [4] MANGINA E E, MCARTHUR S D J, MCDONALD J R. COMMAS (COndition Monitoring Multi-Agent System) [J]. Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, 2001, 4(3): 279-282.
- [5] 徐剑, 黄成军, 金浩, 等. 基于小波集合的局部放电信息提取算法[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(16): 36-40.
- [6] 徐冰雁, 黄成军, 钱勇, 等. 多小波相邻系数法在局部放电去噪中的应用[J]. 电网技术, 2005, 29(15): 61-64, 70.
- [7] 徐剑, 黄成军. 局部放电窄带干扰抑制中改进快速傅里叶变换频域阈值算法的研究[J]. 电网技术, 2004, 28(13): 80-83.
- [8] 黄成军, 郁惟镛. 基于小波分解的自适应滤波算法在抑制局部放电窄带周期干扰中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(1): 107-111.
- [9] 邵震宇, 黄成军, 赵亚奎, 等. 用 PSO 算法训练神经网络抑制发电机局放随机脉冲干扰 [J]. 电力系统自动化, 2005, 29(11): 49-52.