

基于模糊神经网络的信息融合在电网故障诊断中的应用

刘燕燕

(燕山大学信息科学与工程学院, 河北 秦皇岛 066004)

摘要: 根据电网分布的特点,将多传感器信息融合技术应用于电网的故障诊断中。在电网的不同区域加装传感器网络,将所测结果首先在子模糊神经网络中进行特征级融合,然后再将此结果送至融合中心进行决策级融合,最后得出诊断结论,包括故障类型和故障区域,大量的实验证明该方法是可行的。

关键词: 信息融合; 模糊神经网络; 故障诊断; BP算法; 隶属度

中图分类号: TM773 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2005)09-0009-03

0 序言

电能是国民生产的命脉,也是人们享受现代生活的保障,因而持续稳定的电能供应就显得特别重要。电力系统的继电保护和故障诊断一直是人们研究的重要课题,一旦系统发生故障,如何尽快识别故障类型、判断故障位置、及时跳闸保护以及故障排除后迅速恢复供电等,开发出这样一个实用可靠的继电保护和故障诊断系统势在必行。本文提出将基于模糊神经网络的多传感器信息融合技术应用于电网故障诊断中,能很好地解决传统方法的缺陷和弊端,将成为新一代智能继电保护和故障诊断方法^[1]。

1 多传感器信息融合与模糊神经网络

多传感器信息融合就是将多个传感器检测到的信息进行自动分析、综合、支配和使用,提取对象的有效信息,以形成对某一被测对象全面、完整的描述,从而完成所需的决策和估计任务。多传感器信息融合的目的就是利用多个传感器共同或联合操作的优势,全面精确地反映检测对象的特征,消除不确定因素,从而得出比单一或少量传感器系统更为可靠的结论。

将模糊理论与神经网络技术相结合形成的模糊神经网络正在发展成为一门全新的技术,它的本质就是将常规的神经网络赋予模糊输入信号或模糊权值,模糊神经网络体现了模糊系统和神经网络的互补性,是一个集语言计算、逻辑推理、分步式处理和非线性映射为一身的系统,这些性能恰好满足了多传感器信息融合技术的处理要求。在继电保护中,它的并行处理能力加快了保护的计算速度和判断速度,它的鲁棒性和容错性可极大地提高抗干扰能力和容错能力,从而提高保护整体的安全性、可靠性和稳定性。

2 系统组成及融合原理

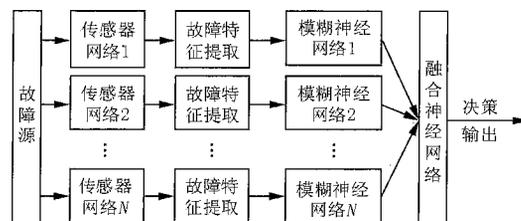


图 1 全局模糊神经网络融合模型

Fig 1 Fusion model of the whole fuzzy neural networks

图 1中,故障源即为电网,各子传感器网络分布于电网的不同区域,所获得的信息经过故障特征提取后分别传递给相对应的子模糊神经网络作为输入信号,各子传感器网络、子模糊神经网络是并行的,彼此之间无联系。各子模糊神经网络的输出作为融合神经网络的输入,它们的输出经过重新融合有利于减少决策的不确定性,提高确诊率,可见融合神经网络起到了会诊的功能,融合神经网络的输出即为最终的诊断结果。

3 局部模糊神经网络融合模型

如果将融合神经网络称为全局融合网络,那么各子模糊神经网络就可称为局部融合网络,其结构可以相同也可以不同,输入的信号特征可以相同也可以不同。图 2为局部模糊神经网络融合模型。

当电力系统发生故障时,输电线路的各相电压、电流都会随之发生相应的变化,特别是故障相的电压和电流的变化会异常明显。本文以三相电压、电流信号中基波分量的有效值作为子模糊神经网络的输入信号。为获得信号波形的幅度,本装置在输电线路上加装电压、电流传感器网络,所得模拟量先要经过滤波、A/D转换,然后采用半周 DFT算法,提取

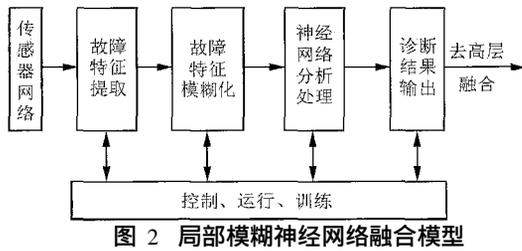


Fig 2 Fusion model of local fuzzy neural network

所需的信号幅值^[2],经模糊化处理后传递给子神经网络输入端。子模糊神经网络根据以前学习、训练过的知识,对数据进行推理分析,给出故障诊断结果,并送去进行更高层次的融合。

3.1 子模糊神经网络结构

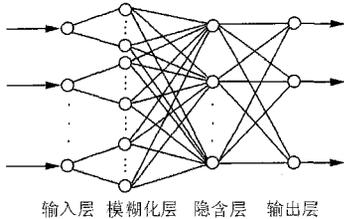


图 3 子模糊神经网络结构

Fig 3 Structure of sub-fuzzy neural network

本文子模糊神经网络采用四层结构(见图3):第一层为输入层,包含6个神经元,接收的输入量分别为A、B、C三相的电压和电流的有效值,对于第 k 个输入模式,记为 $N^k = (U_a^k, U_b^k, U_c^k, I_a^k, I_b^k, I_c^k)$;第二层是模糊化层,包含18个神经元节点,其作用是将输入信号进行模糊化处理;第三层为隐含层,隐含层的神经元数目为10个,这是网络反复调试、不断优化的结果^[3];第四层是输出层,有3个神经元,分别代表A、B、C三相。

3.2 模糊隶属度函数确定

第二层是模糊化层,其作用一是对输入信号进行模糊化处理,将测得的电流、电压的精确量转化为模糊变量域上的子空间;其作用二是将输入量规范化,使之适应后面的网络化处理。对任意一组输入信号中的每一个值,定义了大、中、小3个模糊子集,即对应于输入信号 N^k 中的任意值可以取得3个隶属度值。隶属度函数取钟形(正态)分布^[4],其中模糊化如下式所示:

$$N_{ij}^k = \exp \left| \frac{(N_i^k - \mu_{ij})^2}{2\sigma_{ij}^2} \right| \quad (1)$$

式中: μ_{ij} 为相对子集上的均值(中心值),是用来描述隶属度函数基准点位置的参数, σ_{ij} 为相对子集上的方差,能说明某变量与基准点的接近程度,即描述

隶属函数宽度的参数。需要说明的是目前高压输电线路电流传感器变换电压的国际推荐标准为有效值4V,本研究课题也将4V作为正常的基准值。研究中发现,做神经网络输入模糊化处理时,隶属度函数的基准点和宽度选取很关键,如果选择不当,就会产生漏报或误报,改进的办法是反复调试,直至合乎要求。

3.3 网络学习收敛速度

由于传统的BP算法存在收敛速度慢和容易陷入局部极小点的缺陷,本系统采用一种改进的BP算法^[4],它通过在基本的BP算法中引入动量因子,由它来调节每一步权值的变化幅度,从而加快算法的收敛速度,得到最优解。权值的变化如下式所示:

$$w_{ij}(k+1) = Mc \cdot w_{ij}(k) + (1 - Mc) \cdot w_{ij}(k+1) \quad (2)$$

其中: Mc 为动量因子,且 $0 < Mc < 1$; $w_{ij}(k+1)$ 为BP算法计算出的权值变化,而 $w_{ij}(k+1)$ 为改进后的第 $k+1$ 步权值的变化。该算法能提高学习速度,并能避免网络陷入局部极小。图4为子模糊神经网络诊断模型训练误差曲线。本系统目标误差设定为0.0001,在496次迭代后,满足要求。

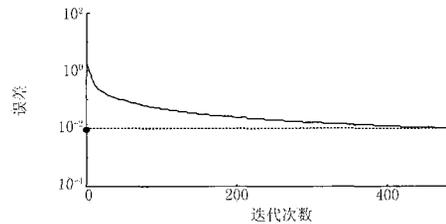


图 4 子模糊神经网络训练误差曲线

Fig 4 Training error curve of a local fuzzy neural network

4 融合神经网络

融合神经网络采用三层结构:第一层为输入层,接收子模糊神经网络的输出,神经元数目依前方子模糊神经网络输出数目而定。实验中局部子神经网络为4个,即共有12个输出,所以融合神经网络输入层包含12个神经元;第二层为隐含层,包含9个神经元;第三层是输出层,包含4个神经元,代表4个区域位置的决策输出。

融合神经网络的训练与子模糊神经网络训练相似,故障样本由EMTP程序获得,共计选取了64个不同设置故障样本对网络进行了训练。

5 仿真结论

图5为仿真测试所用的系统图,故障点在区域2,故障类型是A相接地短路。



图5 仿真系统图

Fig 5 System simulation

下面的表 1、表 2 是故障诊断的结果。

表 1 局部神经网络故障诊断结果

Tab 1 Fault diagnosis results of local neural networks

区域	F_A		F_B		F_C	
	理论值	实际值	理论值	实际值	理论值	实际值
1	0	0.053 3	0	0.107 6	0	0.054 7
2	1	0.929 0	0	0.218 6	0	0.300 7
3	0	0.783 2	0	0.245 6	0	0.256 9
4	0	0.643 0	0	0.234 7	0	0.296 1

表 2 融合神经网络故障诊断结果

Tab 2 Fault diagnosis results of fusion neural networks

区域	F	
	理论值	实际值
1	0	0.079 2
2	1	0.837 6
3	0	0.695 6
4	0	0.667 3

定义输出向量 (F_A, F_B, F_C) 的输出与故障相对应的关系如下:

A 相故障 (1, 0, 0)

B 相故障 (0, 1, 0)

C 相故障 (0, 0, 1)

向量 F 的输出与故障区域的对应关系如下:

区域 1 故障 (1, 0, 0, 0)

区域 2 故障 (0, 1, 0, 0)

区域 3 故障 (0, 0, 1, 0)

区域 4 故障 (0, 0, 0, 1)

本网络的诊断结论是根据模糊理论给出出现故障的概率。当输出越接近于 1 时,表示出现故障概率越大,当输出越接近于 0 时,表示故障发生概率越小,判决门限取为 0.5。由表 1、表 2 可以直接看出,上述四个区域中,区域 2、3、4 从融合结果上看都有故障,但分析各区域的地理位置,区域 3、区域 4 位于区域 2 的后方,所以基本上可以判断故障出现在区域 2,并且结合局部网络诊断结果,推导出是区域 2 的 A 相故障导致区域 3、区域 4 出现故障的结论。这一分析过程,也是通过软件来实现的。

本系统由于采用了模糊化设计,克服了在临界点附近容易误判的弊端,大大提高了故障检测概率。上述方法在实验室进行了大量的实验,为了验证可行性,采用了尽量接近实际系统的较复杂系统。如果用训练样本集中的故障样本进行测试时,诊断正确率为 100%,如果用非故障样本进行测试,诊断正

确概率为 96.4%,误报概率为 3.6%,漏判概率为 0%,其结果比较理想。

6 结束语

本文针对电网规模庞大,错综复杂的特点,将基于模糊神经网络的信息融合技术应用于电网的故障诊断中。文中使用了两级神经网络,看似使系统结构变复杂了,实际上第一层神经网络进行的是数据级的融合,是第二层的预处理,减轻了第二层融合中心运算的压力,加快了运算的速度。虽然国内人工神经网络在电力系统继电保护中尚未实际应用,但通过国内外科研人员的研究和探索,人工神经网络的应用势必会走向成熟。

参考文献:

- [1] 毕天姝,倪以信,杨奇逊. 人工智能技术在输电网故障诊断中的应用述评 [J]. 电力系统自动化, 2000, 25 (1): 14-16
BI Tian-shu, NI Yi-xin, YANG Qi-xun An Evaluation of Artificial Intelligent Technologies for Fault Diagnosis in Power Network [J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 25 (1): 14-16
- [2] Websper S, Dunn R W, Aggarwal R K, et al Feature Extraction Methods for Neural Network-based Transmission Line Fault Discrimination [J]. IEEE Proc—Gener, Transm and Distrib, 1999, 146 (3).
- [3] 高大文,王鹏,菜臻超. 神经网络中隐含层节点与训练次数的优化 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2003, 35 (2): 207-209.
GAO Da-wen, WANG Peng, CAI Zhen-chao Optimization of Hidden Nodes and Training Times in Artificial Neural Network [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2003, 35 (2): 207-209.
- [4] 姜立芳,刘泊,施莲辉. 一种改进的 BP 算法及其在模式识别中的应用 [J]. 哈尔滨理工大学学报, 2003, 8 (3): 90-92
JIANG Li-fang, LIU Bo, SHI Lian-hui An Improved BP Algorithm and Applied in the Pattern Recognition [J]. Journal of Harbin University of Science & Technology, 2003, 8 (3): 90-92

收稿日期: 2004-08-17; 修回日期: 2004-09-11

作者简介:

刘燕燕 (1972 -), 女, 硕士, 研究方向为人工神经网络在电力系统继电保护和故障诊断中的应用。Email: lyy-qyf@sohu.com

(下转第 57 页 continued on page 57)

- [2] 牟晓勇,黄益庄,李志康,等. 嵌入式双速暂态信号同步录波装置[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(20): 92-94.
MOU Xiao-yong, HUANG Yi-zhuang, LI Zhi-kang, et al The Synchronous Fault Recorder of Embedded Dual-speed Transient Signal[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(20): 92-94.
- [3] 罗杰. 一种基于双端口 RAM 的高速数据采集系统设计[J]. 电子学与计算机, 2001, (6), 52-54.
LUO Jie. The Design of High-speed Sampling System on the Base of Dual-port RAM[J]. Electronics and Comput-

er, 2001, (6): 52-54.

收稿日期: 2004-11-10; 修回日期: 2005-03-05

作者简介:

胡林献(1966-),男,博士,副教授,研究方向为电力系统分析与控制、电压稳定; Email: zhuhaol005@sohu.com
杜万森(1979-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统自动化装置;
李剑新(1971-),男,硕士,研究方向为电力系统规划和电力系统自动化装置。

A new fault recorder based on DSP+MCU double CPUs

HU Lin-xian¹, DU Wan-sen¹, LI Jian-xin²

(1. Dept of Electrical Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China;

2. Binzhou Electric Power Supply Company, Binzhou 256610, China)

Abstract: The principles, structure and characteristics of a new fault recorder based on the technology of DSP+MCU double CPUs are described. The embedded and CPLD technologies are used in the device. The recorder has some advantages, such as high-speed samplings, high-accuracy measurement, continuous phase recording and recurring, and longtime fault recording, et al. If synchronous-sampling based on the GPS is used in the devices, a dynamic monitoring and control system for power network will be erected.

Key words: fault record; synchronous sampling; GPS; embedded system

(上接第 11 页 continued from page 11)

Application of data fusion based on fuzzy neural network in transmission line fault diagnosis

LU Yan-yan

(College of Information Science and Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China)

Abstract: Multi-sensor data fusion technique used in transmission lines diagnosis system can distinguish the fault location and classification rapidly and accurately. In this paper, many sensor networks are distributed at different areas, firstly the local fuzzy neural network fuses the information from corresponding sensor network in character level, secondly the outputs, which are diagnosis conclusion, are fused by terminal neural network in decision level. This method is proved feasibility with lots of simulation experiments.

Key words: data fusion; fuzzy neural network; fault diagnosis; BP algorithm; membership degree

新书介绍

《基于晶闸管的柔性交流输电控制装置》中文版近期已由机械工业出版社出版,原著作者为加拿大 R. Mohan Mathur 教授和印度 Rajiv K. Vama 教授,2002年由 John Wiley & Sons 出版社出版。译者为浙江大学徐政教授。本书整合了分散在各种出版物上的相关资料,全面、系统、详尽地展示了 FACTS 技术的方方面面:包括不同种类 SVC 和 TCSC 的运行原理、控制技术及其模拟方法;控制系统的性能及其影响因素,如测量系统的影响,网络谐振的影响,谐波相互作用的影响等;不同控制目标的控制器的设计方法,如提高功率传输能力,改善系统稳定性,增强阻尼,缓解次同步谐振,防止电压不稳定等;不同控制装置之间的相互作用特性及 FACTS 控制装置之间的协调技术;新兴的 FACTS 控制装置,如 STATCOM、SSSC 和 UPFC 等。本书对 FACTS 技术的理论与实践都有系统、深入的讨论,书中含有大量分析和设计的实例,是一本综合性很强的专著,满足了本领域的迫切需求,是从事 FACTS 技术开发、教学和工程应用人员的不可或缺的技术手册。

本书的详细介绍和目录参见本网站首页。本书为 16 开本,434 页,56 万字,定价 49 元。购书联系电话:010-88379645 88379646 传真:010-68326287;汇款到:北京市西城区百万庄南街 1 号机工书店邮购部。加 15% 的邮寄费。邮编:100037