

改进BP网络算法在配电网故障诊断中的应用研究

成蓬勃¹, 袁福科², 刘灿萍¹, 梁晓剑¹, 郭壮志¹

(1. 广西大学电气工程学院, 广西 南宁 530004; 2. 西安电子科技大学, 陕西 西安 710071)

摘要: 针对BP网络学习收敛速度慢和易陷入局部最小点的不足, 提出利用一种自适应学习速率动量梯度下降反向传播算法对BP神经网络进行训练。该算法使BP神经网络学习速率和稳定性得到提高。将这种改进的BP网络算法应用于配电网诊断实例, 用这种改进的网络算法进行分类, 采用VB语言作为开发工具调用神经网络工具箱建立了一个简化的故障诊断系统, 验证了该算法的有效性、正确性。

关键词: 配电网; 故障诊断; BP神经网络; VB

Application of an improved BP network calculation to the fault diagnosis of distribution network

CHENG Peng-bo¹, YUAN Fu-ke², LIU Can-ping¹, LIANG Xiao-jian¹, GUO Zhuang-zhi¹(1. College of Electrical Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China;
2. Xi'an Electronic Technology University, Xi'an 710071, China)

Abstract: A reverse transmission calculation of self adaptive learning rate with momentum gradient reduction is described in the paper against the problems of slow convergence and easy trapping into smallest spot. The calculation has made the BP net upgrade the rate and stability of learning. In the paper, an improved BP networks are used in the fault diagnosis of distribution network. And an improved BP networks are trained as a classifier of the distribution network's fault. It sets up a simple system of fault diagnosis about distribution network by the Visual B and Matlab, which has made an effective fault diagnosis of distribution network.

Key words: distribution network; fault diagnosis; BP neural network; Visual B

中图分类号: TM711; TM76 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2007)12-0027-05

0 引言

配电网的故障诊断是配电自动化的一个重要组成部分, 是提高供电可靠性的重要保证。随着配电网规模的不断扩大, 配电网中的电源点和T接点的数量也将不断增多, 对配电网故障诊断的实时性要求也越来越高。

故障诊断一般是基于SCADA系统所提供的保护和断路器信息来判别电力系统中的故障元件位置(区域)、类型和误动作的装置, 其中故障元件的识别是关键问题。已有多种人工智能技术用于解决此问题, 如专家系统^[1, 2], 随机优化技术^[3]和人工神经网络^[4, 5]等等。

人工神经网络ANN(Artificial Neural Network)具有学习、泛化和容错能力, 并且神经元的计算是并行的, 有利于实现实时应用。神经网络近年来在模式识别和分类等问题中得到广泛的应用。神经网络中的BP网络是基于BP(Back Propagation)算法的多层前向网络, 具有良好的模式分类能力, 尤其适用于故障诊断问题。但常规BP网络实际应用中存在

如下问题: 网络学习收敛速度慢及容易陷入局部最小点等。本文就BP网络存在的不足之处, 提出一种自适应学习速率动量梯度下降反向传播算法, 利用该算法对BP神经网络进行训练, 并应用于配电网的故障诊断中实现配电网的故障诊断。

1 BP网络的拓扑结构及其算法

1.1 BP网络的拓扑结构

BP网络是一种单向传播的多层前向网络, 一般由三层或三层以上的神经网络构成, 包括输入层、中间层(隐层)和输出层。上下层之间实现全连接, 而每层神经元之间无连接。文献[6]中已证明: 只要用三层的BP网络, 就可以任意精度逼近任何非线性连续函数, 并且三层BP网络可以完成任意的 n 维空间到 m 维的映射。事实上, 基于BP神经网络的配电网故障诊断模型也就是利用BP网络的函数逼近能力, 确定故障位置, 从而完成特征空间到故障空间的非线性映射, 从而实现模式识别的问题。

一个典型的三层前馈BP网络是由三层前向网络(又称前馈网络)组成, 即一个输入层、一个隐含

层、一个输出层，其网络的拓扑结构如图 1 所示。

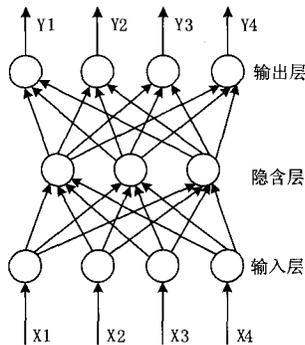


图1 BP网络的拓扑结构

Fig.1 Topology of BP network

1.2 BP网络的算法^[7, 8]

BP网络通过误差反向传播算法自动学习内部表达(即各节点间的连接权值及隐节点与输出节点的阈值)。这种算法是一种有教师的学习算法,通常是应用最快下降法调整权值,其具体过程如下:

1.2.1 正向传播过程

1) 隐含层各神经元的净输入与输出:

$$I_j = \sum_{i=1}^n W_{ij} x_i - \theta_j, \quad j=1, 2, \dots, p \quad (1)$$

式中: W_{ij} 是输入层第 i 个单元与隐层第 j 个单元间的联结权重; θ_j 是隐层第 j 单元的阈值; p 是隐层单元总数; n 为输入层单元总数。

计算隐层各单元的输出得:

$$y_j = f(I_j) = f\left(\sum_{i=1}^n W_{ij} x_i - \theta_j\right) \quad (2)$$

式中: y_j 是隐层第 j 单元的输出; $f(\cdot)$ 是该层使用的激活函数。

2) 输出层各神经元的净输入与输出

隐含层第 j 个神经元的净输入

$$I_t = \sum_{j=1}^p W_{jt} y_j - \theta_t, \quad t=1, 2, \dots, q \quad (3)$$

式中: W_{jt} 是输入层第 j 个单元与输出层第 t 个单元间的联结权重; θ_t 是输出层第 t 单元的阈值; q 为输出层单元总数。

计算输出层各单元的输出得:

$$y_t = f(I_t) = f\left(\sum_{j=1}^p W_{jt} y_j - \theta_t\right) \quad (4)$$

式中: y_t 是输出层第 t 单元的输出; $f(\cdot)$ 是输出层使

用的激活函数。

1.2.2 反向传播过程

首先定义误差函数为:

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_k (d_k - y_k)^2 \quad (5)$$

式中: d_k 为期望输出, E_p 为对样本模式的所有输出单元的误差函数。

隐含层和输出层的权重修正量和阈值的修改应使误差最小,因此权重和阈值应沿误差的负梯度方向变化。

输出层和隐层各单元的权重修正及阈值修正为:

$$\Delta W_{jt} = \alpha \delta_t y_j \quad (6)$$

$$\Delta \theta_t = \alpha \delta_t \quad (7)$$

式中: δ_t 为输出层的调整误差; α 表示了学习速度,用来调节学习的收敛速度。其中

$$\delta_t = (d_t - y_t) y_t (1 - y_t) \quad (8)$$

隐层和输入层的权重修正及阈值修正为:

$$\Delta W_{ij} = \beta \delta_j x_i \quad (9)$$

$$\Delta \theta_j = \beta \delta_j \quad (10)$$

式中: δ_j 为隐层的调整误差; β 表示了学习速度,用来调节学习的收敛速度。其中

$$\delta_j = (1 + y_j)(1 - y_j) * \sum_{t=1}^q \delta_t W_{jt} \quad (11)$$

1.3 改进的BP算法

BP算法存在收敛速度慢、目标函数存在局部极小的缺点,在实际应用中, BP算法很难胜任。提出了很多改进算法。BP算法的改进主要有两种途径:一种是采用启发式学习算法,该算法就是对于表现函数梯度加以分析,从而改进算法,常用的改进算法有:有动量的梯度下降法、有自适应lr的梯度下降法、有动量和自适应lr的梯度下降法。另一种是采用更有效的优化算法,常用的改进算法有共轭梯度法等。本文对BP算法进行改进,采用的是启发式学习算法中的自适应学习速率动量梯度下降反向传播算法对网络进行训练^[8]

动量法降低了网络对于误差曲面局部细节的敏感性,有效地抑制了网络陷于局部极小^[8]。标准BP算法实质上是一种简单的最速下降静态寻优算法。在修正 $W(k)$ 时,只是按照 k 时刻的负梯度方式修正,而没有考虑到以前累积的经验,即以以前时刻的梯度方向。从而常常使学习过程发生振荡,收敛

在构造的网络中, BP网络的误差精度取0.01, 学习速率为0.01, 学习速率增长比例因子为1.05, 动量因子取0.90, 学习分别采用常规BP算法和改进算法对网络进行训练, 训练过程如图3、图4所示。

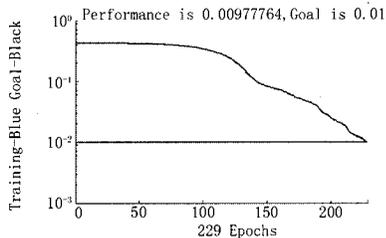


图3 常规的BP算法

Fig.3 An BP net calculation

从图中可以看出, 与基本 BP 算法相比采用改进算法后网络收敛速度明显加快, 在相同的误差精度要求下, 网络学习步数从 229 降低到 137, 而且也提高了网络的稳定性。

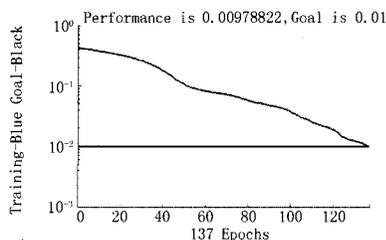


图4 改进的BP算法

Fig.4 An improved BP net calculation

2.4 VB调用Matlab实现故障诊断

VB语言是一种简单易学的程序语言, 界面容易设计, 但是对于数值计算方面其能力欠佳。与之相比, Matlab是新近发展起来的一种深受广大编程

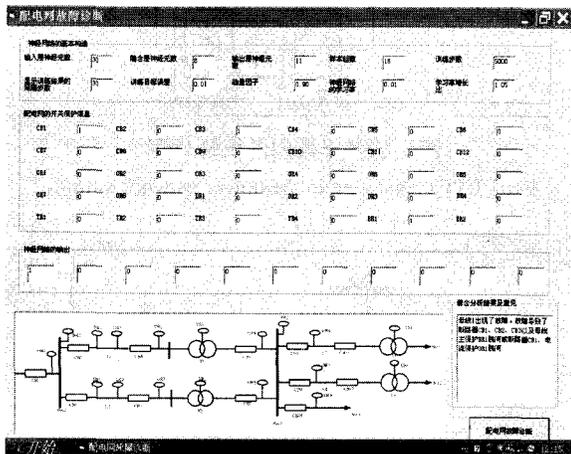


图5 配电网故障诊断界面

Fig.5 Interface of fault diagnosis for distribution network

人员喜爱的数学工具软件。Matlab 语言可以提供与矩阵有关的强大的数据处理和图形显示功能, 为软件开发人员在程序编制过程中实现数值计算和图形显示新添了又一行之有效的开发平台。但是, Matlab 的界面功能比较弱, 给友好界面的开发应用或软件演示系统带来不便。为了提高工程计算软件的开发效率和质量, 本文采用把 VB 可视化编程语言和 Matlab 工具相结合的办法, 即用 VB 来设计界面来实现对神经网络的故障诊断程序的调用, 实现故障诊断。实例如图 5 所示。

3 结论

BP 网络是当前应用最为广泛的一种人工神经网络, 针对 BP 算法的不足, 本文提出了一种自适应学习速率动量梯度下降反向传播算法, 对神经网络进行训练并在对配电网故障区间诊断问题上进行了运用和仿真分析, 证明了该方法具有一定的学习能力和容错能力, 并且该算法使训练好的 BP 神经网络在学习速率和收敛速度上比常规 BP 神经网络有了很大的提高, 试验结果也表明了该方法的有效性。

参考文献

- [1] Fukui C , Kawakami J. An expert System for Fault Section Estimation Using Information from Protective Relays and Circuit Breakers[J].IEEE Trans on Power Delivery ,1986 ,1(4) :83-290.
- [2] Park Young Moon, Kim Gwang-Won, Sohn Jin-Man. A Logic Based Expert System (LBES) for Fault Diagnosis of Power System[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1997, 12(1): 363-369.
- [3] 文福拴, 韩祯祥. 基于遗传算法和模拟退火算法的电力系统故障诊断[J]. 中国电机工程学报, 1994, 14(3) : 29-35.
- [4] 毕天姝, 倪以信, 吴复立, 等. 基于新型神经网络的电网故障诊断方法[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(2) :73-78.
- [5] BI Tian-shu, NI Yi-xin, WU Fu-li.A Novel Neural Network Approach for Fault Section Estimation[J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(2):73- 78.
- [6] 吴欣, 郭创新, 曹一家. 基于贝叶斯网络及信息时序属性的电力系统故障诊断方法[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(13): 14-18.

(下转第 40 页 continued on page 40)

- Voltage and Reactive Power from Nine Zone Theory to Fivezone Theory[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(19): 92-95.
- [4] 孙文生, 张明军. 关于“五区图”电压无功综合控制原理的再讨论[J]. 电力系统自动化, 2005, 10(12): 69-75.
SUN Wen-sheng, ZHANG Ming-jun. Further Discussion on “Five-Zone” Theory in the Area of Voltage and Reactive Power Synthetical Control. Automation of Electric Power Systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 10(12):69-75.
- [5] 耿光飞, 杨仁刚. 高压配电网无功优化集中控制系统研究[J]. 继电器, 2005, 12(24): 45-48.
GENG Guang-fei, YANG Ren-gang. Research on Reactive Power Optimization Control System in High Voltage Distribution Power Network [J]. Relay, 2005, 12(24): 45-48
- [6] 朱春明, 刘明波, 裴爱华, 等. 变电站电压无功控制范围的整定计算方法[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(8): 70-74.
ZHU Chun-min, LIU Ming-bo, PEI Ai-hua, et al. Setting Method for Control Range of Voltage and Reactive Power in Substations[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(8): 70-74.
- [7] 孙文生, 张明军. 基于操作动作效果预算比较的电压无功综合控制原理[J]. 继电器, 2006, 34(16): 35-40.
SUN Wen-sheng, ZHANG Ming-jun. Study on Voltage and Reactive Power Control Based on Operation Effect Calculation and Comparison[J]. Relay, 2006, 34(16): 35-40.
- [8] 陈远华, 秦荃华, 杨晓红, 等. 基于模糊边界无功调节判据的电压无功综合控制[J]. 中国电力, 2002, 35(10): 50-53.
CHEN Yuan-hua, QIN Quan-hua, YANG Xiao-hong, et al. Voltage and Reactive Power Integrative Control Based Fuzzy Boundary Criterion of Reactive Power[J]. Electric Power, 2002, 35(10): 50-53.
- [9] 钱康龄, 纪红, 等. 分布式电压无功全局优化控制系统的研制与应用[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(9): 6-99
QIAN Kang-ling, JI Hong, et al. Research and Application of Distribute Voltage and Reactive Power [J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(9): 6-99.

收稿日期: 2006-12-04; 修回日期: 2007-04-20

作者简介:

张玉珠(1974-), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力系统规划; E-mail: eegszhangyz@gs.zzu.edu.cn

杨丽徙(1956-), 女, 教授, 硕士生导师, 研究方向为电力系统规划与电力GIS。

(上接第 31 页 continued from page 31)

- WU Xin, GUO Chuang-xin, CAO Yi-jia. A New Fault Diagnosis Approach of Power System Based on Bayesian Network and Temporal Order Formation[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(13): 14-18.
- [6] 阎平凡, 张长水. 人工神经网络与模拟进化运算[J]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
YAN Ping-fan, ZHANG Chang-shui. Artificial Neural Network and Simulation Evolution Operation [J]. Beijing: Qinghua University Press, 2000.
- [7] 飞思科技产品研发中心. 神经网络理论与MATLAB7.0实现[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
Feisi Science and Technology Study Center, Neural Network Theory and MATLAB7.0 Application[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2005.
- [8] 董长虹主编. Matlab神经网络与应用. 北京: 国防工业出版社, 2005.
DONG Chang-hong. Matlab Neural Network and Application. Beijing: Qinghua Press, 2005.
- [9] 楼顺天, 施阳. 基于MATLAB的系统分析与设计—神经网络[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2000.
LOU Shun-tian, SHI Yang. System Analysis and Design Based on MATLAB- Neural Network[M]. Xi'an: Xidian University Press, 2000.
- [10] 丛爽. 面向MATLAB 工具箱的神经网络理论与应用[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1998.
CONG Shuang. For MATLAB Toolbox's Neural Network Theory and Application[M]. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 1998.
- [11] 石永恒, 陈荣生, 杨亚平. 种改进型BP网络算法在凝汽器故障诊断中的应用[J]. 电站辅机, 2006, 96(1): 15-19.
SHI Yong-heng, CHEN Rong-sheng, YANG Ya-ping. Application of an Improved BP Net Calculation to the Fault Diagnosis of Condensers[J]. Power Station Auxiliary Equipment, 2006, 96(1): 15-19.

收稿日期: 2006-12-01; 修回日期: 2007-03-11

作者简介:

成蓬勃(1981-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统自动控制; E-mail: jiangxiao0535@eyou.com

袁福科(1960-), 男, 从事电力系统自动化的研究及开发工作;

刘灿萍(1982-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统过电压。