

# 基于样条权函数神经网络的传感器故障诊断

杨海楠<sup>1</sup>, 张代远<sup>1,2,3</sup>

- (1. 南京邮电大学 计算机学院, 江苏 南京 210003;  
2. 江苏省无线传感网高技术研究重点实验室, 江苏 南京 210003;  
3. 南京邮电大学 计算机技术研究所, 江苏 南京 210003)

**摘要:** 在技术高速发展的今天, 传感器用于各行各业, 加之这些年来, 家用电器、汽车、信息产业三方面的飞速发展, 传感器需求量增大, 传感器故障诊断技术变得尤为重要, 并且对提高系统的可靠性具有重要意义。利用神经网络对传感器故障进行诊断的方法克服了分析冗余方法需要的系统精确数学模型的问题, 并且可以处理非线性数据。文中详细阐述了样条权函数神经网络的结构、原理, 在分析传感器主要故障的基础上, 提出了样条权函数神经网络的传感器故障诊断方案。Matlab 仿真和模拟实验结果表明, 样条权函数神经网络可以解决传感器故障检测问题。

**关键词:** 样条权函数; 神经网络; 传感器; 故障诊断

**中图分类号:** TP39

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2014)06-0204-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.06.050

## Fault Diagnosis of Sensor Based on Spline Weight Function Neural Network

YANG Hai-nan<sup>1</sup>, ZHANG Dai-yuan<sup>1,2,3</sup>

- (1. College of Computer, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China;  
2. Jiangsu High Technology Research Key Laboratory for Wireless Sensor Networks, Nanjing 210003, China;  
3. Institute of Computer Technology, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** With rapid development of technology, the sensors has been used in various industries, coupled with the years, the fast development of three areas of household appliances, automobiles, information industry, increasing demand of sensor, the sensor fault diagnosis technology has become particularly important, and to improve system reliability is significant. Using neural network to analyze sensor faults overcomes the problem of redundancy methods which require accurate mathematical model of the system, and can handle non-linear data. It describes the spline weight function neural network structure, principle, and proposes spline weight function neural network means based on analyzing main sensor fault diagnosis. Matlab simulation and simulation results show that the spline weight function neural network can solve the problem of sensor fault detection.

**Key words:** spline weight function; neural network; sensor; fault diagnosis

## 0 引言

传感器的可靠性对系统的最优运行起着至关重要的作用。同时, 传感器的输出值也是进行系统故障诊断的基础。因此, 对传感器故障诊断进行研究是十分必要的。

传感器故障诊断技术主要是通过一些方法采集数据, 接着利用各种处理数据的方法实时地分离出传感

器的故障信息并发出信号, 使得维修人员能在传感器发生故障的时刻, 迅速查找出故障源, 并采取相关措施。传感器故障诊断方法有多种, 比较常用的是分析冗余的方法和人工神经网络方法。采用分析冗余方法需要系统的精确数学模型, 难以应用于模型不确定的系统。考虑到实际生活中, 多数系统建模非常复杂, 而且在运行过程中存在不定性因素。为了避免冗余方法

收稿日期: 2013-08-27

修回日期: 2013-11-30

网络出版时间: 2014-02-24

基金项目: 江苏高校优势学科建设工程资助项目(yx002001)

作者简介: 杨海楠(1993-), 女, 硕士研究生, CCF 会员, 研究方向为人工智能; 张代远, 教授, 博士, 研究生导师, 研究方向为人工智能、计算机体系结构、计算机应用。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20140224.0916.046.html>

中实时建模的需求,采用神经网络强大的自学习、并行处理以及良好的容错能力来解决传感器故障问题,但传统的BP神经网络在结构设计上存在盲目性,隐层神经元个数需要根据实施者的经验来设计,且在训练的过程中容易陷入局部极小点,故文中尝试将样条权函数神经网络<sup>[1]</sup>应用于传感器的故障诊断。仿真分析和模拟实验结果表明该方法可以有效地克服BP神经网络的上述缺点,很好地解决传感器故障诊断问题。

1 样条权函数神经网络

已有的神经网络算法,如BP算法、代数算法<sup>[2]</sup>等都存在一定的缺陷,虽然代数方法克服了BP网络算法的主要缺点,但代数算法的一个局限性在于要实现精确映射必须满足训练样本和隐层神经元的个数相等,这必然会使得当训练的样本数量很大时,神经网络隐层神经元个数也将随之增大,导致网络结构复杂。根据文献<sup>[2]</sup>可知:样条权函数神经网络算法不同于传统神经网络的结构,样条权函数神经网络只有输入层和输出层没有隐层,且神经网络的结构与训练样本无关。此外,样条权函数神经网络算法将传统的常数权改成了权函数,令权与样本之间建立起了联系,反映出训练样本的信息。同时,样条权函数神经网络可实现代价函数为0的精确映射,相对于传统神经网络有很好的泛化能力。

1.1 样条权函数神经网络结构

文中采用基于第一类样条权函数的神经网络作为理论基础,网络结构如下<sup>[2]</sup>:神经网络的输入层和神经元直接相连,设每一个输入样本向量是 $m$ 维,通过连接权,每个输入端节点前馈连接到所有神经元的输入端。若每一个输出样本向量是 $n$ 维,则输出端有 $n$ 个节点,第 $j$ 个神经元的输出即为第 $j$ 个神经元的运算结果的直接输出。在图1<sup>[2]</sup>所示的神经网络拓扑结构图中,仅有一层权值需要训练,即与输入层直接相连的权值,这些权不是常数,而是由样条函数构成。图1所示为一般情况下样条权函数神经网络结构。

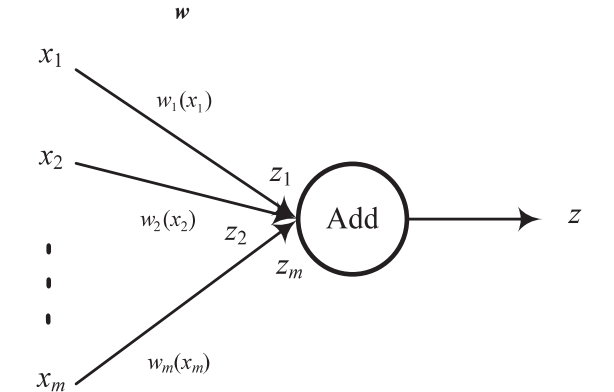


图1 样条权函数神经网络

图1中, $x_i(i=1,2,\cdots,m)$ 代表输入样本,表示这个网络输入样本的维数是 $m$ , $w_i(x_i)$ 为输入样本 $x_i(i=1,2,\cdots,m)$ 对应的权函数,输入样本 $x_i(i=1,2,\cdots,m)$ 经过权函数变换之后的输出为 $z_i(i=1,2,\cdots,m)$ ,圆圈Add表示加法器, $z$ 表示网络的输出,它是一维的。

1.2 样条权函数神经网络训练算法

由图1可得到如下等式<sup>[2]</sup>:

z = \sum\_{i=1}^m z\_i \tag{1}

z\_i = w\_i(x\_i) \tag{2}

图中 $z_i$ 与 $z$ 的关系可以通过如下的加权系数联系起来<sup>[2]</sup>,即

z\_i = \eta\_i z \tag{3}

式(3)中的加权系数 $\eta_i(i=1,2,\cdots,m)$ 满足<sup>[2]</sup>

\sum\_{i=1}^m \eta\_i = 1 \tag{4}

由式(2)和式(3)可得

z = \frac{1}{\eta\_i} w\_i(x\_i) \tag{5}

如果将权函数 $w_i(x_i)$ 写成函数 $\eta_i u_i(x_i)$ ,则有<sup>[2]</sup>

z = u\_i(x\_i) \tag{6}

神经网络进行训练是为了求得权函数 $w_i(x_i)$ 。输出节点的向量表示为<sup>[2]</sup>:

z = (z\_0, z\_1, \cdots, z\_{N+1}) \tag{7}

为求权函数 $w_i(x_i)$ ,除 $x_i$ 的值之外,还需知道函数 $z_i$ 的值,根据式(3)和(7)有<sup>[2]</sup>

z\_i = (w\_i(x\_{i0}), w\_i(x\_{i1}), \cdots, w\_i(x\_{i(N+1)})) = (\eta\_i z\_0, \eta\_i z\_1, \cdots, \eta\_i z\_{N+1}) \tag{8}

权函数 $w_i(x_i)$ 的由输入向量 $x_i$ 和输出向量 $z_i$ 所决定,根据插值理论,得到对应的插值点<sup>[2]</sup>:

Ip\_i = \{Ip\_{i0}, Ip\_{i1}, \cdots, Ip\_{i(N+1)}\} = \{(x\_{i0}, \eta\_i z\_0), (x\_{i1}, \eta\_i z\_1), \cdots, (x\_{i(N+1)}, \eta\_i z\_{N+1})\} \tag{9}

利用插值点和插值理论可以构造出一个近似的权函数。近似权函数与理论权函数的曲线在插值点处的值相同,在插值点以外存在误差。

求解样条函数是样条权函数神经网络的主要计算工作,因为样条权函数神经网络求解权函数只需解线性方程,因而速度快,不存在传统算法的收敛速度慢、局部极小、初值敏感等问题<sup>[3-4]</sup>。

2 传感器故障诊断原理

多数传感器的测量值之间是具有一定的相关性

的。在现实生活中,进行传感器故障诊断时,需要动态模型,而不是基于机理分析的稳态模型<sup>[5-7]</sup>。传统神经网络具有很强的自适应性和学习能力、鲁棒性和容错能力以及非线性映射能力,样条权函数神经网络除了具有神经网络的优点之外,根据上文所述,求解线性代数方程组是算法的主要计算工作,速度快,而且克服了传统神经网络算法的一些缺点,适合进行动态建模与预测。样条权函数神经网络可以根据历史数据进行训练以适应机组状况的变化。结合前文所述样条权函数神经网络理论和文献[8]中所述传感器故障诊断原理,得出结论如下:基于样条权函数神经网络的传感器故障诊断原理就是利用神经网络,根据传感器前一时刻的测量值来预测下一时刻的值,通过实测值与预测值的比较以及分析来判断传感器的工作状况,由于采用真实传感器的输入输出信号作为神经网络的训练样本,不需深入理解系统即可建立神经网络模型并给出系统输出的预测值<sup>[9-11]</sup>。

### 2.1 传感器故障诊断的神经网络结构

根据上文所述样条权函数神经网络拓扑结构和传感器故障诊断原理,建立传感器故障诊断神经网络模型。设传感器在  $t$  时刻的输出值为  $x(t)$  以及传感器前一刻输出值为  $x(t-1)$ 。将采集的传感器的输出组成  $n$  个样本,分为两部分,训练样本和测试样本。 $x(t-1)$  作为样条权函数神经网络的输入,  $x(t)$  作为神经网络的输出。训练完成后得到系统输出的预测值  $x'(t)$ , 与传感器的实际输出值  $x(t)$  进行比较,并求得在  $t$  时刻的残差  $e(t)$ , 根据残差对传感器是否发生故障做出判断。当残差在预先设定的限定值范围内时,传感器正常工作,否则出现故障。模型如图 2<sup>[12]</sup> 所示。

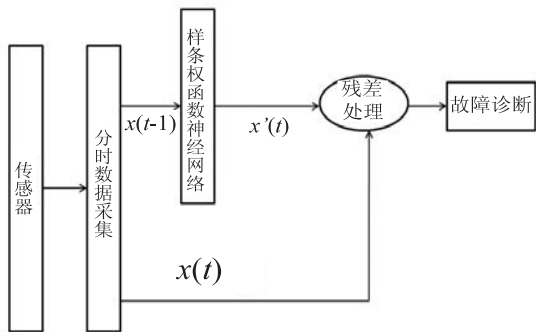


图 2 样条权函数神经网络传感器故障诊断模型

根据上述理论和图 1 所示样条权函数神经网络结构,确定传感器样条权函数神经网络模型为 1-1 型神经网络,即 1 维输入 1 维输出。

### 2.2 残差处理

从统计分析的角度而言,如果预测模型足够精密,传感器的预测值与真实值的差应当服从正态分布,并且期望为零。当传感器出现故障时,其残差分布的方

差必然会偏离正常值。但考虑到实际环境中,传感器工作环境的噪声,设置限定值  $\theta$ ,当残差的值超过限定值时传感器发生故障。假设  $t$  时刻神经网络的输出值和传感器真实测量值之间的残差矢量用  $E^t = (e_1^t, e_2^t, \dots, e_n^t)$  表示。 $e_c^t$  代表  $t$  时刻第  $c$  个传感器的残差,  $x_c^t$  和  $y_c^t$  分别代表  $t$  时刻传感输出值和神经网络预测的输出值<sup>[13]</sup>。

$$e_c^t = x_c^t - y_c^t, c = 1, 2, \dots, q \quad (10)$$

在进行残差处理时,一般先分别计算每个传感器残差的相对误差  $\tilde{e}_c^t$ 。

$$\tilde{e}_c^t = \left| \frac{e_c^t}{x_c^t} \right| \quad (11)$$

当  $e_c^t \leq \theta$  时,传感器工作正常,否则,传感器发生故障。

## 3 传感器故障诊断仿真分析

仿真分析采用 MATLAB 软件的 Neural Network 工具箱建立样条权函数神经网络模型,因样条权函数神经网络不需要隐层,则样条权函数神经网络采用 1-1 型网络结构。文中采用温度传感器作为实验数据来源,并利用第一类样条权函数神经网络进行仿真。根据个人笔记本电脑温度传感器的数据进行 MATLAB 仿真,实验结果如下,当温度传感器正常情况下,10 组样本训练后,如图 3 所示。实验的限定值  $\theta$  设为训练样本数据绝对误差(即文中式(11))的平均值加上 5 倍的标准差的和。

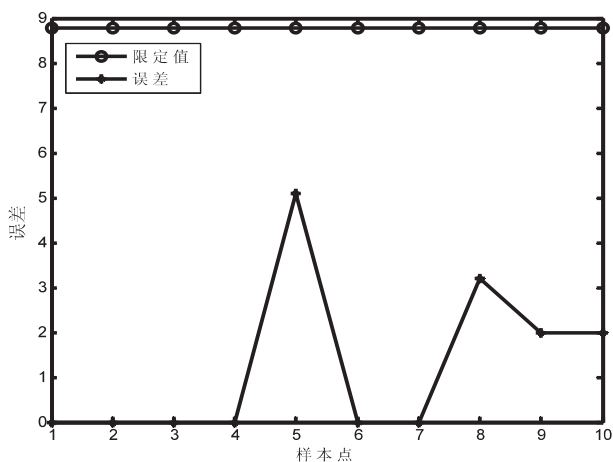


图 3 传感器正常情况下输出图像

图 4 所示为在传感器出现故障时输出图像,明显看出,在第 8 个样本点,误差的输出值超出了限定值。断定传感器已经出现故障,符合实际情况。

为了突出样条权函数神经网络的优越性,在实验中计算了样条权函数神经网络与 BP 网络<sup>[14]</sup>在同样样本条件下所花费的时间,样条权函数神经网络训练时间为 0.187 2 s,而 BP 神经网络训练时间为 5.616 0 s,

远大于样条权函数神经网络,充分说明了样条权函数神经网络应用于传感器故障诊断是符合实际要求的,并且在未来有可能取代BP神经网络。

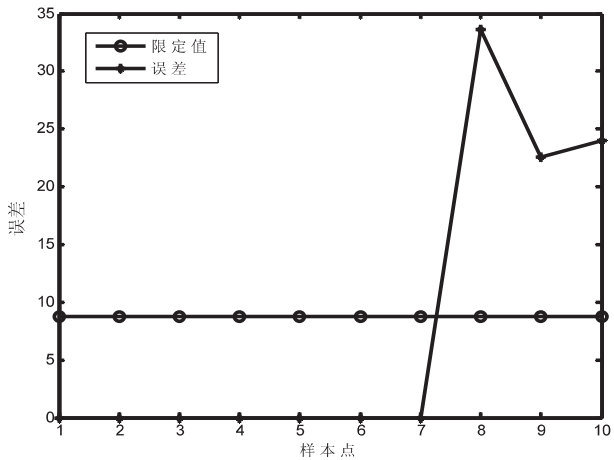


图4 传感器故障情况下输出图像

根据文中论述内容,结合多输入输出样条权函数神经网络的相关内容,可以同时多个传感器进行故障诊断,建立  $n-n$  型样条权函数神经网络。

4 结束语

文中提出了基于第一类的样条权函数神经网络的传感器故障诊断方法。首先,样条权函数神经网络克服了传统神经网络算法收敛慢,局部极小等缺点;其次,样条权函数神经网络算法不需要隐层,克服了传统方法中隐层神经元个数需要经验或尝试法确定的缺点。通过温度传感器的仿真实验,可知该方法可以有效地检测传感器,判断传感器是否发生故障,但存在不明确具体故障原因的缺点。

参考文献:

[1] Hagan M T, Demuth H B. Neural network design[M]. Beijing: China Machine Press, 2002.

[2] 张代远. 神经网络新理论与方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.

[3] 张代远. 样条权函数神经网络的一种新型算法[J]. 系统工程与电子技术, 2006, 28(9): 1434-1436.

[4] 刘丽娜. 样条权函数神经网络算法研究及其应用[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2011.

[5] 任延广, 王建磊, 刘臻. 基于神经网络的传感器故障诊断方法研究[J]. 中国储运, 2011(6): 118-120.

[6] 谷立臣, 张优云, 丘大谋. 基于神经网络的传感器故障监测与诊断方法研究[J]. 西安交通大学学报, 2002, 36(9): 959-962.

[7] 李冬辉, 周巍巍. 基于小波神经网络的传感器故障诊断方法研究[J]. 电工技术学报, 2005, 20(5): 49-52.

[8] Yu D L, Gomm J B, Williams D. Sensor fault diagnosis in a chemical process via RBF neural networks[J]. Control Engineering Practice, 1999, 7(1): 49-55.

[9] Song Yu, Wang Fengxia, Yi Lu. Fault diagnosis based on wavelet neural network[J]. Journal of Communication and Computer, 2012(9): 802-804.

[10] Wei Naihong, Yang Shiyuan, Tong Shibai. A neural network approach to fault diagnosis in analog circuits[J]. Journal of Computer Science and Technology, 1996(6): 542-550.

[11] Wang Jiangping. Fault diagnosis technology based on neural network multisensor data fusion[J]. Journal of Mechanical Science and Technology, 2002(1): 127-130.

[12] 邵向潮, 何永强, 蔡鹏, 等. 基于RBF神经网络的温度传感器故障诊断[J]. 吉首大学学报(自然科学版), 2010, 31(3): 79-82.

[13] 王军, 吕震中, 曹荃. 基于神经网络的传感器故障诊断方法与应用[J]. 自动化仪表, 2003, 24(10): 21-24.

[14] 郝涛, 唐永哲, 任玉清. BP神经网络在飞控系统传感器故障诊断中的应用[J]. 计算机测量与控制, 2008, 16(5): 613-615.

[15] 王霞. 胸痛中心: 为心肌抢时间[N]. 医药经济报, 2013-04-24(A05).

[16] 胡大一, 史旭波. 胸痛中心的概念和意义[J]. 中国医刊, 2003, 38(12): 2-3.

[17] Shiomi H, Nakagawa Y, Morimoto T, et al. Association of onset to balloon and door to balloon time with long term clinical outcome in patients with ST elevation acute myocardial infarction having primary percutaneous coronary intervention; observation

study[J]. British Medical Journal, 2012, 344: e3257.

[8] 宫贤辉, 徐永东. 基于HL7标准的临床信息交换中间件的研究[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2009, 25(2): 204-206.

[9] 齐国隆, 孔令人, 邹宗峰. HL7在公共卫生信息系统中的应用[J]. 现代预防医学, 2006, 33(6): 962-964.

[10] 景治伟, 赵秋生, 邵珠光, 等. 基于HL7标准的疾病通报系统的设计与实现[J]. 国际生物医学工程杂志, 2011, 34(6): 348-352.

[11] 叶辉. 基于HL7标准的医疗信息系统接口中的应用与研究[J]. 中国科技信息, 2005(14): 13-13.

[12] 江捍平. 美国卫生信息工作标准HL-跨医疗卫生体系信息交换理论入门[M]. 北京: 科学出版社, 2005.

[13] 金霞, 欧宗琰. 基于HL7标准医疗信息交换消息的构建/解析[J]. 焦作大学学报, 2004, 18(1): 65-68.

(上接第203页)

# 基于样条权函数神经网络的传感器故障诊断


作者：

杨海楠，张代远，[YANG Hai-nan](#)，[ZHANG Dai-yuan](#)

作者单位：

[杨海楠, YANG Hai-nan\(南京邮电大学 计算机学院, 江苏 南京, 210003\)](#)，[张代远, ZHANG Dai-yuan\(南京邮电大学 计算机学院, 江苏 南京 210003; 江苏省无线传感网高技术研究重点实验室, 江苏 南京 210003; 南京邮电大学 计算机技术研究所, 江苏 南京 210003\)](#)

刊名：

[计算机技术与发展](#)

英文刊名：

[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：

2014(6)

本文链接：[http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wjz201406050.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjz201406050.aspx)