

神经网络在故障诊断 专家系统中的应用^①

孙 乔 张瑞林 孙惠国

(郑州工学院振动工程研究所)

摘 要: 基于PDP的人工神经网络(ANN)研究现在已成为热点,本文针对第一代专家系统自身局限性所造成的知识自动获取瓶颈问题,将神经网络模型引入故障诊断专家系统的研究中来,有效地解决了这一问题。同时,还选取较成熟的BP算法,运用C语言开发了一个机械故障诊断专家系统。文中还对神经网络存在的问题进行了分析。

关键词: 神经网络, 故障诊断, 专家系统

中图分类号: TP39: TP277

神经元模型的研究可以追溯到四十年代初 McCulloch 和 Pitts 提出的 MP 模型。进入八十年代,随着人工智能的研究以及新的人工神经网络模型和学习方法的提出,加之并行机制和 VLSI 芯片技术的发展,人工神经网络的研究再次成为热点。1982 年, Hopfield 提出 Spinglass Model, 1983 年 Hinton 和 Sejnowski 提出了 Boltzmann Machine (玻尔兹曼机), 人工神经网络模型研究的第二次高潮是以 1986 年 Rumelhart 等提出的广义 Delta 规则 (Generalize Delta Rule) 为标志的。

与以算术及逻辑运算、存贮和运算相分离、串行执行命令为基础的冯·诺依曼 (Von Neumann) 计算机不同,神经网络是一个非线性动力学系统,并以并行分布式处理 (Parallel Distributed Processing) 为特色。这使得结构和功能都极其简单和有限的神经元所组成的网络系统在向模拟人脑的功能方面跨进了一步。

1 神经网络的结构

1.1 神经元的结构

神经元 (节点) 是神经网络的基本组成部分。其生物结构如图 1 所示。

其中: 轴突 (即神经纤维) 相当于细胞的输出电缆, 用于传出神经冲动。

树突相当于细胞的输入端, 它接受外部神经冲动。

突触是细胞之间轴突和树突的连接接口。它有兴奋型和抑制型两种。

在神经网络理论中, 我们将神经元的生物结构形式化描述如图 2 所示。

^①收稿日期: 1992-10-27

其中:

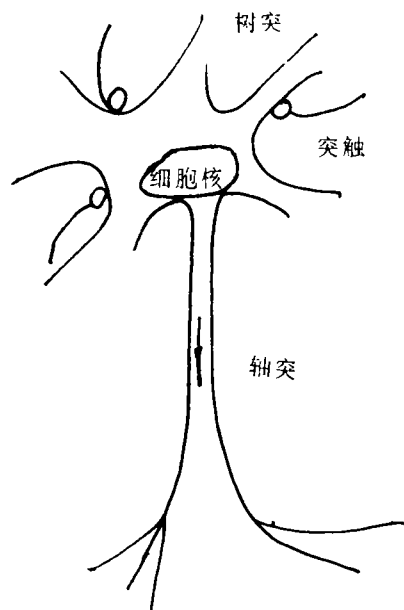


图1 神经元结构

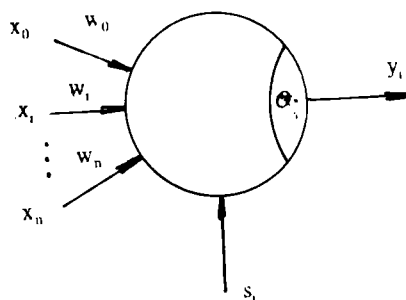


图2 人工神经元模型

x_0, x_1, x_n 是神经元接收到的信息; w_0, w_1, w_n

为连接强度, 称之为权;

s_i 是外部输入信号; Q_i 为阈值。

神经元的 I/O 特性见图 3。

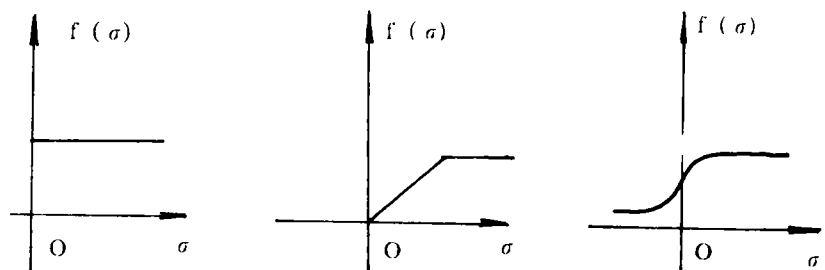


图3 激励函数

1.2 神经网络的基本构成

图 4 是一个具有一层隐节点的简单的神经网络。其大体结构如下:

网络由分为不同层次的节点集合组成, 每一层的节点输出送到下一层节点, 这些输出值由于节点间连接权值的不同而被放大、衰减或抑制。除了输入层外, 每一层的输入为前一层所有节点输出值的加权和。

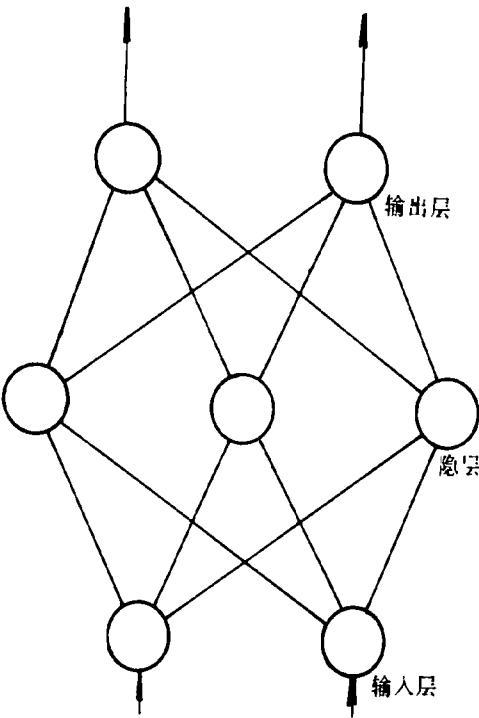


图 4 神经网络结构

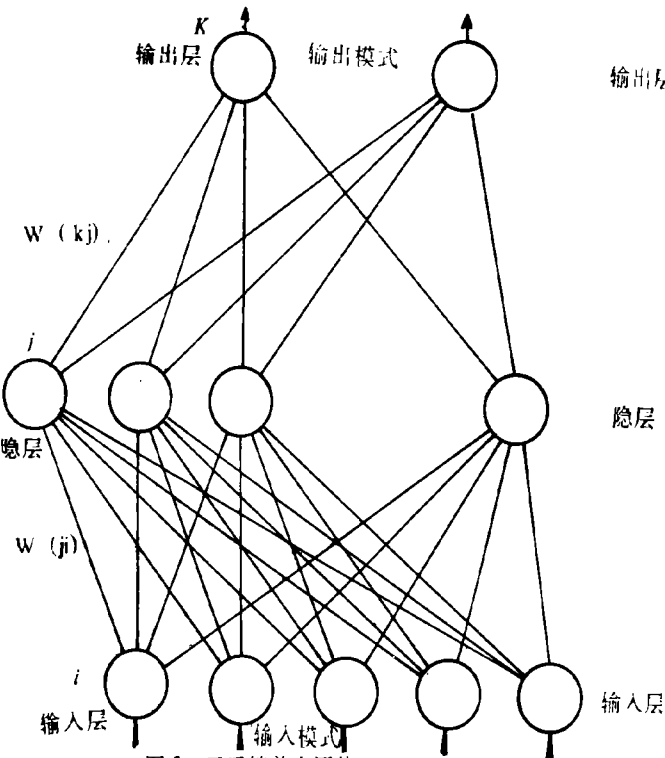


图 5 无反馈前向网络

在这个网络系统中，隐层起着决定性的作用。它把输入样本的特征形成更接近于输出模式的概念。因为如果没有隐层这个中间作用，输入到输出的变换就过于简单，当输入、输出样本特征相差较大时就无法满足要求。但同时，如果结构过于复杂，也会由于表达的过分分散而不能形成完整的概念。经分析表明，没有隐节点的网络所形成的决策区域是半平面；具有一层隐节点的所形成的是无界凸域，而具有两层隐节点的网络可以形成任意复杂的决策域。所以，从理论上讲，具有两层隐节点的网络已足够解决应用中的一般问题了。

2 算法

2.1 BP 算法介绍

神经网络的具体实现除合理有效的模型之外，还需要有一个有效的学习算法。在神经网络研究的发展过程中，最典型的要算 PDP 小组提出的反传(Back Propagation)学习算法现介绍如下：

如图 5 所示。i 是输入层，k 是输出层，j 为隐藏层。

对于隐藏层，其输入为：

$$IN_j = \sum w_{ji} \cdot OUT_i \tag{1}$$

输出为：
$$OUT_j = f(IN_j) \tag{2}$$

其中，f 为作用函数，这里，我们取：

$$OUT_j = \frac{1}{1 + e^{-(IN_j + Q_j)/Q_0}} \quad (3)$$

在式中, Q_j 为阈值, 它使作用函数在 x 轴方向平移, Q_0 用以改变作用函数的形状。

相应地, 对于第 K 层, 有:

$$\text{输入:} \quad IN_k = \sum W_{kj} \cdot OUT_j \quad (4)$$

$$\text{输出:} \quad OUT_k = f(IN_k) \quad (5)$$

网络进行学习的时候, 对应输入模式 x_p 有输出模式 \hat{y}_p , 它与期望值 y_p 有一个偏差。我们希望网络能自行调整到一组连接权值与偏置值, 使这个偏差尽量小。所以说, 网络学习的过程, 实际上就是一个自适应的优化过程。

$$y_p \text{ 与 } \hat{y}_p \text{ 的平方误差为: } E = \frac{1}{2} \sum_k (y_p - \hat{y}_p)^2 \quad (6)$$

这里加上 $1/2$ 是为了使以后的数学模型更简洁。

为使学习过程收敛, 调整权值与偏置值。每次调整量 ΔW_{kj} 与梯度成比例:

$$\Delta W_{kj} = \eta \frac{\partial E}{\partial W_{kj}} \quad (7)$$

E 为实际输出 \hat{y}_p 的函数, 这里 \hat{y}_p 就是 OUT_k ,

$$\frac{\partial E}{\partial W_{kj}} = \frac{\partial E}{\partial IN_k} \cdot \frac{\partial IN_k}{\partial W_{kj}} \quad (8)$$

$$\text{令} \quad \varepsilon_k = \frac{-\partial E}{\partial IN_k} \quad (9)$$

$$\text{则} \quad \Delta W_{kj} = -\eta \cdot \varepsilon_k \cdot OUT_j \quad (10)$$

$$\text{我们还可以得到 } \varepsilon_k \text{ 的表达式为: } \varepsilon_k = (y_p - OUT_k) f'_k(IN_k) \quad (11)$$

$$\text{将(11)代入(10)有: } \Delta W_{kj} = \eta (y_p - OUT_k) f'_k(IN_k) \cdot OUT_j \quad (12)$$

此式对于输出层各节点均成立。而对于非输出层节点, 则有:

$$\Delta W_{ji} = -\eta \frac{\partial E}{\partial W_{ji}} = -\eta \frac{\partial E}{\partial IN_j} \cdot \frac{\partial IN_j}{\partial W_{ji}} = \eta \left(-\frac{\partial E}{\partial OUT_j} \right) f'_j(IN_j) OUT_j \quad (13)$$

其中:

$$\frac{\partial E}{\partial OUT_j} = \sum_k \varepsilon_k \cdot W_{kj} \quad (14)$$

$$\text{所以:} \quad \varepsilon_j = f'_j(IN_j) \sum_k \varepsilon_k \cdot W_{kj} \quad (15)$$

由此式我们看到, 中间层节点的 ε 可由它上面一层的算出, 所以, 我们就可以从输出层开始算起, 然后将误差 ε 向下传播, 这也就是 BP (反向传播) 算法名称的由来。

BP 算法的具体计算机实现见图 6。

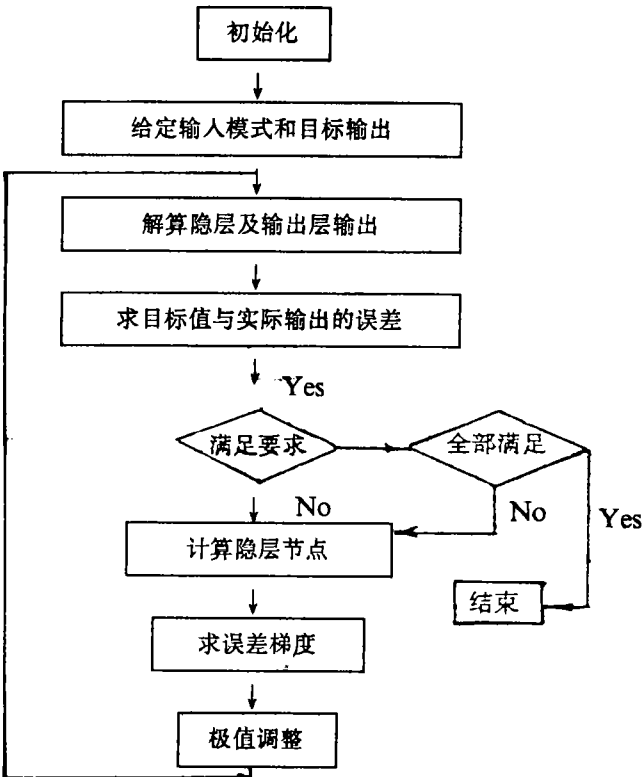


图 6 BP 算法流程图

由以上我们看到，BP 模型将一组样本的输入、输出匹配问题转化为一个非线性优化问题，它使用梯度下降法，用迭代的方法逼近目标函数，引入隐节点以增加优化可调参数，从而使求解成为可能。实际上，网络就是一个从输入到输出的映射。

2.2 讨论

BP 算法虽然有效，但也存在着一些问题。

- (1) 从数学上看，这是一个非线性优化问题，所以不可避免地存在着一个局部极小的问题。而且，随着所采用网络复杂程度的增加，此问题越严重。
- (2) 收敛速度太慢，通常要迭代千次以上。对这一问题，笔者在所编BP网络计算机实现程序中进行了改进，可提高收敛速度。
- (3) 网络参数的选取尚无理论指导。目前，国外采用基因算法来进行网络参数的优化。
- (4) 这是一个无反馈网络，它实际上是一个映射。

3 应用

3.1 第一代专家系统存在的问题 第一代专家系统本身存在的问题主要有以下几个方面:

- (1) 知识获取的“瓶颈”问题。传统的 Von Neumann 计算机中，计算与存贮是是完全独立的两个部分，计算机在计算前要从存贮器中取出数值，进行计算后再放回。这就造成

了计算机本身的瓶颈。基于同一思想的第一代专家系统，其知识获取主要靠人工移植，由知识工程师将专家知识移植到计算机程序中。这是间接的，且效率很低。并且系统对自身的知识与推理不能深刻认识，不能自我改善。

- (2) 知识的不完备性与脆弱性。目前的专家系统大都是针对某一领域，甚至某一个问题而设计的，对边缘性问题求解能力差，只停留在表面、缺少深层、理性的认识。
- (3) 推理能力差。“匹配冲突”、“组合爆炸”、“无穷递归”是第一代专家系统无法逾越的鸿沟，也即为什么会存在“知识越多、搜索越久，系统越笨”这一与人类思维相背的问题。

从方法论的角度来看，专家系统实际上主要是专家智能的模拟问题，即如何在机器上有效地再现专家的推理过程。它应能将逻辑思维与形象思维相结合，甚至在不确定或事实不完备的情况下，仍能根据常识进行推理作出判断，从而使机器有容错能力、自学习能力，甚至能象人一样有总结经验发现新事物的能力。而模拟人脑思维为目标的人工神经网络方法具备了这方面的某些条件。

人工神经网络将知识从显式变成隐式表达，这种知识不是通过人的加工转化成规则，而是通过学习算法自动获取的，知识的表达也是分布在整个网络内部的，每个节点及其联接上只表达一部分信息，而不是一个具体的概念。只要有足够的隐藏点，就一定能找到一种内部表达，使网络能实现任何从输入到输出的匹配。

3.2 神经网络专家系统 神经网络专家系统的结构如图 7。

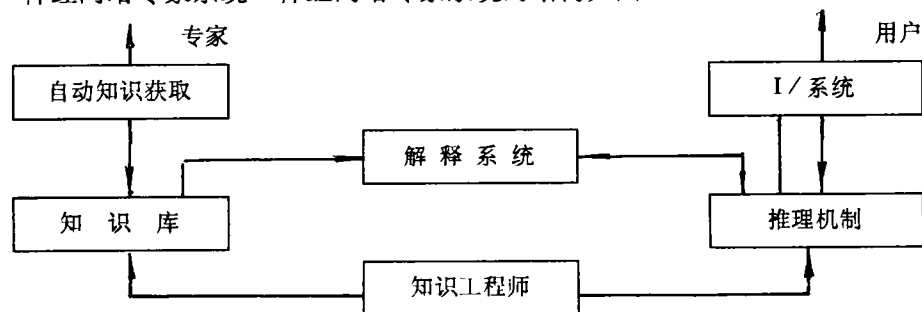


图 7 神经网络专家系统

- (1) 知识获取。此模块包括给出网络参数，如层数、各层节点数、隐层数，选取学习样本，选择算法，以及通过学习使网络权值分布对所要解决的问题产生敏感性，正如有人评论，“与其说神经网络是在计算，不如说是对刺激的适应性反应”。这一点是核心所在。
- (2) 知识库、推理机。神经网络专家系统的知识库和推理机是合二为一的，其中，知识库由自动知识获取得到，它是进行推理的基础。而且，知识库可以很方便地更新、维护。
- (3) 正反向推理。数据驱动策略是正向推理，指由征兆到故障；而目标驱动策略为反向推理，它是从故障出发的。也就是说，在神经网络专家系统中是靠正、反向推理机制拟结合完成的。
- (4) 推理解释、解释功能是专家系统一个十分重要的功能，因为用户可能根据你的推

理解释决定结论的可信度。我们认为, 传统的“基于踪迹”的解释是不能令人满意的, 因为它只是推理过程的重现, 等于什么也没有告诉用户, 而用实例解释结论则更接近人的思维习惯。

4 实例

在化工设备中, 旋转机械, 如汽轮机、压缩机、泵、风机等应用十分广泛, 虽然其作用不同, 但在运行中出现的故障却有着共同的规律。笔者针对旋转机械, 用 C 语言开发了一个故障诊断神经网络专家系统。

对机械进行故障诊断, 就象医生给病人看病一样, 有一个询问病情、了解病史和例行检查的过程, 其目的就是要了解与病情有关的信息, 为最后的诊断提供依据。而对机械设备故障诊断, 也必须从振动信号中提取、时域、频域等信息, 并对其进行频谱分析、波形分析、相位分析等。同时, 还要对振动方向、位置、对机器工作参数的敏感特征进行识别。这时才能为故障诊断提供可靠的依据。在具体的应用中, 我们是将典型的故障数据形成文件, 让系统进行学习, 最终达到要求的精度, 从而对此类问题形成敏感性。见图 8。

故障诊断神经网络专家系统						
样 本	1	输出	0.899925	目标值	0.900000	
样 本	2	输出	0.100110	目标值	0.100000	
样 本	3	输出	0.100453	目标值	0.100000	
样 本	4	输出	0.899001	目标值	0.900000	
样 本	5	输出	0.100304	目标值	0.100000	
样 本	6	输出	0.896936	目标值	0.900000	
样 本	7	输出	0.890981	目标值	0.900000	
样 本	8	输出	0.103349	目标值	0.100000	

图 8 一个实例输出结果

5 结束语

神经网络的研究已有半个多世纪的历史了, 但将其引入专家系统的研究还是近几年的事。美国 1988 年才有这方面的文章发表。虽然对神经网络的机理还不十分清楚, 但从理论研究以及在实际中的应用来看, 这一方法能够应用于故障诊断领域中, 而且可靠性较高。另外, 基于网络开发的系统不仅仅能适用于故障诊断领域, 由于其构造思想的可移植性, 它完全可以在很多领域直接发挥作用。

参 考 文 献

- 1 焦李成.神经网络系统理论.西安电子科技大学.1990.12.
- 2 张瑞林.透平压缩机组故障诊断学.郑州工学院.1985.
- 3 孙惠国,张瑞林.设备监测与故障诊断.河南科技出版社.1992.
- 4 N.Botros and M.Z.Deiri.Isolated-wrld Relogntion using traditionol and Neural. Netuorke Approaches. Micocumputer Mpplicatims, Vol.9, No.2,1990
- 5 Parag A. Karkhanis, John Y.Cheung,Steve M.Teague.Using A PC based Meurel Network to estimate the ejectim fraction of a human heart. Microcomputer Applications, Vol. No.3,1990

Application of Artificial Neural Networks in Fault

Diagnosis Expert System

Sun Qiao Zhang Ruilin Sun Huiguo

(Vibration Research Institute)

Abstract: The study of artificial neural networks (ANN) which is Based on the PDP(Parallel Distribute Processing) has been the hot spot nowadays. By aiming at the bottle-neck problem of auto-knowledge acquisition, the paper introduces the ANN model to the study of fault diagnosis expert system. Meanwhile, a system based on BP (back propagation) algorithm is developed by using C language. The paper also points out the shortcomings of ANN model.

Keywords: artificial neural networks, fault diagnosis , expert system.