

神经网络在汽车传动系统故障诊断中的应用

孙 乔 潘旭峰 李晓雷 (北京理工大学车辆工程学院)

摘要:本文研究基于神经网络的故障诊断系统,利用其自学习、联想记忆和容错等良好的性能,使所建系统具有较高的推理速度和容错性,试验证明能够较好地应用于故障的在线诊断当中。

一、引言

汽车各部件中底盘的故障发生率略低于发动机,而底盘中变速箱的故障又占近三分之一。因此,做好变速箱的状态监测和故障诊断,对保障车辆安全稳定地行驶有重要的作用。长期以来,我国各类车辆传动系统的维修仍然采用传统的“定时维修”,由于这种体制是硬性规定的,所以经常发现一些不应拆卸的机构或系统被拆卸,不应更换的材料被更换,造成人力与物力的浪费,并且破坏原有设备的配合情况,加速零件的磨损;而有时本应尽快进行维修的车辆,因未到维修期而只能“带病”工作,导致状况继续恶化,进而造成维修停歇时间长,费用增加,且容易发生意外事故,造成巨大损失。采用状态监测与故障诊断技术,有利于积累汽车使用性能的原始数据,为改进产品设计和制造工艺提供第一性的资料,并为制订合理的维修周期提供可靠的依据,以保障车辆安全稳定的行驶。

人工神经网络模仿生物神经系统中神经元的方式工作,是一个非线性动力系统。由于具有并行处理、自学习和记忆能力,故能够预测事物的发展,正在迅速成为数据处理和建立专家系统的有效手段。其独特的处理方式尤其适用于建立只有第一手数据的专家系统,即当只有数据库而无知识库时,更可显出其方便、高效的特点。在对传动装置的状态监测与故障诊断的研究中,积累了大量的第一手数据,提出了许多有效的简易诊断方法。然而,随着对系统运行可靠性和设备的全寿命管理方面要求的不断加强,这些诊断方法因受到各种局限,往往不能解决工况变化或有综合故障发生时出现的问题,常有漏报和误报发生。为了提高故障诊断的智能化水平,在保证可靠性的前提下提高推理速度,本文对建立基于人工神经网络的汽车传动装置故障诊断专家系统进行了研究。

二、人工神经网络专家系统

基于知识的第一代专家系统(又称为知识库系统)在医学、工程、金融等领域得到了广泛的应用,并随着其开发工具的研究和专家系统的商品化而逐步走向高潮。然而它也存在一些问题,首先,在建立专家系统时,需要由知识工程师将领域专家的知识规则化,这取决于专家的合作程度、经验的适用性等,这往往是现有专家系统知识获取的瓶颈问题;其次,由于专家系统是 KBS(Knowledge Based System) 系统,所以对知识库的维护非常关键。当知识库十分庞大时,很难避免会产生搜索速度下降,规则相互抵触等知识组合爆炸问题。并且这种系统是闭集,缺乏延展性,泛化能力差;第三,第一代专家系统强调如何利用专家的经验快速有效地解决问题,忽视了对知识的理解等深层的作用。因此,一旦出现启发式规则未考虑的情况,专家系统的性能将急剧下降,甚至无法给出结论;最后一点,现有专家系统对所研究的对象有很强的依赖性,抽取专家知识所得到的外壳对解决其它问题往往效果不好。

基于神经网络理论的第二代专家系统则不同,首先,它无须依赖用 if-then 语句描述的显示规则,只需提供典型样本,即可由人工神经网络模型对样本数据的内在隐式知识进行自动提取。因此,从理论上说,只要有足够的有效数据,神经网络就可以对研究对象形成认识。它模拟人的形象思维,是一种示例学习,这一自学习功能有效地解决了知识获取的“瓶颈”问题;其次,人工神经网络专家系统经过训练后,其节点间的联接权重和节点的阈值就形成了对问题的知识表达,也就是形成了知识库。这一知识库的特点是对知识的分布式表达,即每个节点并不能代表某一条规则,只有通过节点的集体作用才可以对知识进行表达,这就保证了神经网络专家系统具有良好的容错性,此性质对提高在线故障诊断系统抵抗外界干扰能力有着重要意义;再一点,因为人工神经网络学习的对象是抽象的数据,并不关心具体的研究对象,

所以,从建立系统的角度来讲具有更广泛的适用性。也正是由于基于人工神经网络的专家系统在知识获取、并行处理、适应性学习、联想推理和容错能力等方面的优势才使其在智能研究领域占有一席之地。

三、传统 BP 算法的改进

BP 算法通常应用于对多层感知机的训练。这是一种有导师学习方式,对于学习样本,有相应的理想输出,于是,在实际的输出与理想输出之间就存在一个误差,这个误差是定义在权空间上的一个超曲面。以这个误差(通常用方差)为目标函数,按梯度下降法的思想,将误差沿原路反向传播,对层间节点的连接权值和阈值进行调整,最终使实际输出逼近理想输出值。

采用梯度下降法的 BP 算法,存在着速度较慢,不一定能收敛到全局极小的缺点。其原因在于,一方面,它采用固定的学习速度(Learning rate),即采取定步长的搜索,对于非凸性函数,很有可能在搜索时跨过全局极小点而不能保持单调递减的性质;另一方面,每个节点采用固定参数的激励函数,也不利于快速搜索。

针对上述问题,在应用中,我们采用动态调整学习速度和激励函数参数的办法对 BP 算法进行了修正,取得了较好的效果。

四、神经网络的应用

1. 系统结构

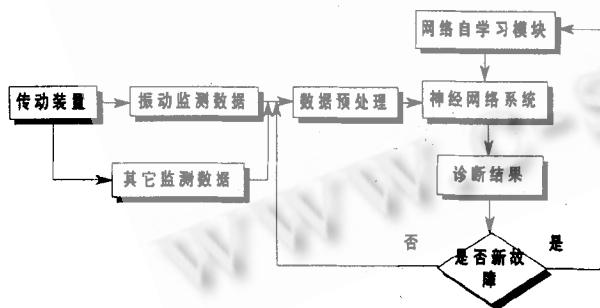


图1 系统结构

汽车传动系统工作环境恶劣,齿轮、轴承等易损件的主要失效形式有振动破坏、磨损、烧坏、疲劳损坏、胶合、润滑不良等多种情况。其特点是突发性、综合性故障较多,目前,主要的监测手段是振动分析。通过对振动信号的采集和处理,结合故障的机理研究,靠专家会诊

确定设备的工作状况、故障类型、故障部位以及严重程度。由于机理研究不够完善,加之人为因素的影响,长期以来,其故障诊断始终是一个研究的难题。为了充分利用现有各种检测仪器、仪表所提供的大量一手数据,提高故障的定位精度,本文借助神经网络理论,以振动监测为主,建立了相应的故障诊断系统。

系统从监测对象得到的各种数据(这里主要是振动信号数据,以及一些对故障敏感度较高的参数)按照一定的格式和顺序送入数据预处理模块,在这里进行数据归一、对准、校正和疵点剔除,然后,将整理好的数据送入已经训练过的神经网络诊断系统。诊断结果要进行判断,如果与人工的判断出入较大,或对现有的各种故障的置信度均较低,则考虑是否为新的故障,肯定后送入学习库,让网络重新训练,直到能够记忆所有的样本为止。

2. 网络的样本选择

前边已经提到,神经网络的学习过程和知识库的建立是同时的,因此,对网络的训练是决定系统成功与否的关键。

在选取学习样本时,要同时注意对典型样本和实际样本的使用。典型样本突出故障的特点,可以使网络较快地对所要研究的对象形成概念,抽取特征;而实际样本则更能反映具体设备的个性,而且,借助其所携带的各种工况信息,有助于提高系统的容错性。如果只选取典型样本,则在进行实际诊断中对干扰的抵抗能力将会下降,影响诊断的精度;反之,若只选用实际样本,系统则不能尽快对故障形成认识,影响诊断的速度和效率。

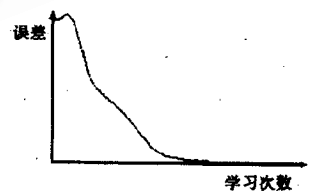
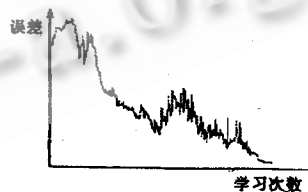


图2 时域数据训练结果

图3 细化谱数据训练结果

虽然样本数据越原始就越真实,但有时用直接采样结果进行训练效果并不太好,这就需要根据实际研究对象作相应的处理。例如用一组时域数据对神经网络进行训练时就发现系统振荡得非常厉害,一直不能收敛在极小点,如图二所示。后来根据研究对象的特点先采用了细化功率谱分析的方法,将这些数据转化到频域,再输入神经网络,系统即可平稳收敛,且精度很高,结果如图

三所示。应该说明的是,所选样本之间不应具有高相关性,否则,因为网络中数据流方向的改变,系统不能在一个方向上收敛而引起振荡,这时,即便增加隐层单元数,或将学习速度取得很小都无法改善系统性能。

3. 数据的预处理

研究中发现,由于BP算法是通过对学习样本进行插值来逼近每一组数据的输出的,因此,如果学习样本中有误差较大的数据时,就会使网络的学习偏离正确方向,有可能使最终所得到的网络拓扑结构距实际结构相差甚远,无法用于实际检测。所以,对劣态数据(野点)进行校正或删除是数据预处理的重要内容。此外,因为神经网络基于数值计算,所以对各种参数要进行无量纲归一化。

4. 学习库的更新

由于传动系统的故障是多样化的,而且随时会有新的故障发生,因此,系统要具有接纳能力,发现有新的故障,确诊后要能作为新的样本送入网络的学习库,供网络学习、记忆。这一功能对故障诊断系统是必备的,也是基于规则的专家系统很难,甚至无法做到的。

五、实例分析

为了验证本文所述系统的正确性,我们在国家重点传动实验室就某型号变速箱内齿轮断齿、点蚀等常见故障进行了对比试验。试验原理如图四所示。试验数据记录在14通道的TEAC XR5000磁带上,后处理在HP 3565S与HP 9000 715/50工作站上进行。对记录的振动信号进行分析,提取出样本,将一部分样本送入神经网络专家系统进行训练,另一部分作为待检样本进行考核。

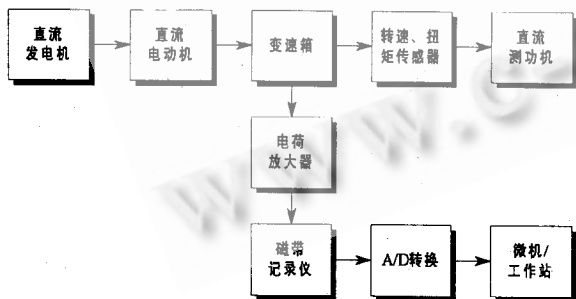


图4 实验原理图

本系统采用改进的BP算法,其流程见图5。层数为3,即一个隐层,网络结构为400-14-6(输入节点400

个,隐层14个,输出节点6个),其中5个代表故障,一个是正常情况。训练的迭代次数为1500,总误差为0.001。

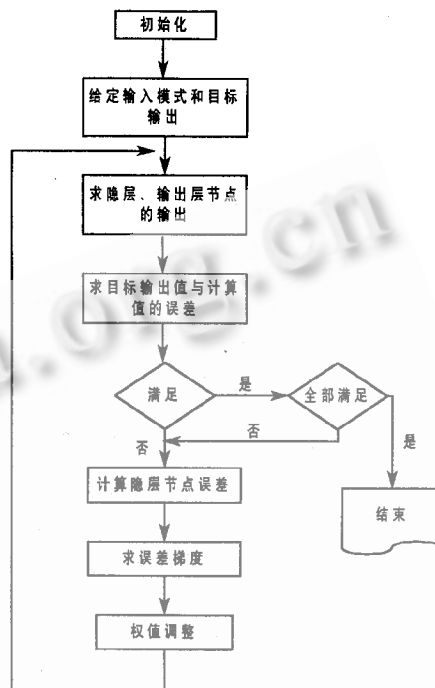


图5 BP算法流程图

现举一样本分析如下:与正常频谱相比,发现在250Hz、500Hz、980Hz处的谱值有明显增大。对照齿轮的特征频率可知它们与变速箱一轴转速为1200rpm时的二档大齿轮啮合频率246.8Hz,及其二、四次谐波493.6Hz、987.2Hz较为接近。在以492Hz为中心频率的细化谱图中,其两边明显地有等间隔较为对称的边频带存在,边带间距为6Hz,而一轴转速为1200rpm时,二轴的旋转频率恰为6.02Hz。由此可知,二轴上的大齿轮是上述边带的调制源,存在故障。网络诊断结果也为有故障。

从实验结果来看,该系统能较好地对待传动系统多种故障进行诊断。事实上,由于引入神经网络理论,可以更好地发挥现有仪器、仪表的作用,为设备故障诊断提供新的途径,特别是神经网络的自学习功能及分布式知识表达方式可以为诊断传动装置突发故障等复杂问题提供有力工具,所以,深入研究有关理论、技术、方法及其工程应用,已经成为完善传动装置故障诊断专家系统的重要内容。