

基于 RS-LMBP 算法的故障智能诊断系统

胡大江¹, 朱小文²

(1 南京工业大学 信息科学与工程学院, 江苏 南京 210009; 2 总装工程兵科研一所, 江苏 无锡 214035)

摘 要: 文中提出了基于粗糙集(RS)理论与 BP 神经网络相结合的故障智能诊断技术. 首先对大型设备大量复杂的数据, 利用粗糙集理论进行前期数据的预处理, 约简原始数据的属性, 再将处理过的数据用 LM 算法改进的 BP 神经网络技术来进行分析, 最终实现故障智能诊断. 建立了基于 RS-LMBP 算法的故障诊断模型, 并通过实例验证了方法的可行性和高效性.

关键词: 故障诊断; 粗糙集; 神经网络; 挖掘机; 约简

中图分类号: TP306

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)03-0109-04

Intelligent Fault Diagnosis System Based on RS-LMBP Algorithm

HU Da-jiang¹, ZHU Xiao-wen²

(1 College of Information Science and Engineering, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China;

2 The First Engineers Scientific Research Institute of the General Armaments Department, Wuxi 214035, China)

Abstract: This paper proposes an intelligent fault diagnosis method based on rough set and BP neural network. First, for these equipments contain a huge number of redundant data, this method pretreated the preliminary data for fault diagnosis to reduce raw data attribute by use of rough set, and then analyzed the processed data with BP neural network technology which improved by using LM algorithms to implement the fault diagnosis. It established a model of fault diagnosis based on RS-LMBP algorithm, and the examples demonstrate that the method is feasibility and high efficiency.

Key words: fault diagnosis; rough sets; neural network; excavator; rule acquisition

1 引言

传统的故障诊断方法依靠单纯的数据检测就可以解决问题. 随着大型工程设备越来越多, 故障类型也越来越复杂, 系统和系统之间相互关联和影响, 存在了很多重要的非线性信息和不确定信息. 文中引入粗糙集理论和 BP 神经网络技术提出解决这类问题的方法. 粗糙集(Rough Sets)理论作为一种软计算方法, 可以克服传统不确定处理方法的不足, 并且和它们有机结合, 从而进一步增强对不确定、不完全信息的处理能力; BP 神经网络由于具有较强的非线性映射能力而被广泛应用于故障诊断领域^[1].

2 RS-LMBP 智能诊断系统

2.1 RS 理论与 BP 神经网络的互补

RS 理论和神经网络技术在信息处理方面, 存在

很大的互补性. 神经网络处理信息一般不能将输入信息空间维数简化, 当输入信息空间维数较大时, 网络结构复杂, 而且训练时间较长. 粗糙集方法通过发现数据间的关系不仅可以去掉冗余输入信息, 而且可以简化输入信息的表达空间, 减少神经网络结构的复杂度. 另外, 粗糙集方法在实际问题中对噪声较敏感, 因而用无噪声的训练样本在有噪声的环境中应用效果不佳, 而神经网络方法有较好的抑制噪声干扰的能力. 将 RS 理论与神经网络相融合能为故障诊断提供一个更有效方案.

2.2 系统方案

文中研究了结合粗糙集和神经网络技术的故障诊断方法^[2-5], 并将其应用在液压挖掘机的故障诊断上. 通过这个改进的诊断方法, 利用计算机可以对所采集的大量挖掘机运行数据进行分析, 从而迅速、准

确的找到故障原因,实现故障诊断的智能化,并做到对故障的适度预测.实现方案如图 1 所示,主要包含两部分:粗糙集属性约简和 BP 神经网络诊断子系统.

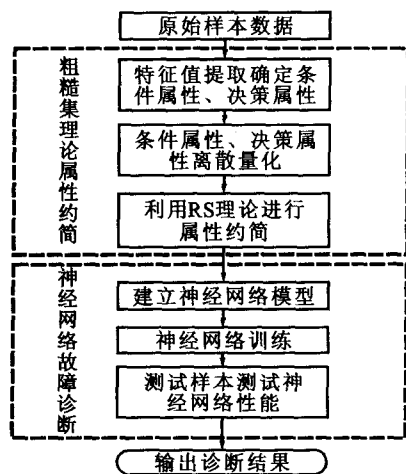


图 1 挖掘机故障智能诊断系统结构

3 关键技术

3.1 粗糙集数据预处理

(1) 数据离散化

由于 RS 理论只能处理离散属性值,而原始故障诊断系统的属性值是连续的.因此必须对原始决策系统中的数据进行离散化处理.一般保持在 2 行,如果高度不够,可作适当调整.

(2) 建立决策表

RS 理论中的知识表示方法是采用决策表的形式.由离散化后的数据组成决策表,包括条件属性(离散化后的条件参数)和决策属性(参数所对应的故障种类).

(3) 知识属性的约简

文中采用了基于 Karno Bozi 约简算法的改进算法进行属性约简^[6].Karno Bozi 约简算法根据差别矩阵(又称可辨识矩阵),首先找出其中组合数为 1 的元素——核.然后去掉矩阵中所有包含核的矩阵项,将剩下的矩阵项中出现次数最多的元素加到核中,接着将包含这个出现最多次数的元素的项都删除,重复上述步骤,直到矩阵为空结束.因为属性约简目的就是寻找满足条件 $IND(Q) = IND(P)$, $(Q \subseteq P)$ 的最小等价属性集 Q .而 Karno Bozi 算法由于没有有效利用这个判断条件,导致约简属性集不一定最简,且有额外的搜索.文中采用的改进算法在每次向约简中加入新的属性时,通过条件 $IND(Q) = IND(P)$, $(Q \subseteq P)$ 决定算法是否终止,可得到比 Karno Bozi 算法更简的约简属性集.为避免二次搜

索计算的开销,改进算法通过给每个属性设立计数器,在每次去掉矩阵项时,将这些矩阵项中含有的其它属性对应的计数器减 1,算法重复此过程,避免了重新计算剩余属性在矩阵中出现的次数,减少了约简过程的计算量.

3.2 基于 LM 算法改进的 BP 神经网络算法

LM(Levenberg - Marquardt)算法是基于高斯-牛顿法改进形式的算法^[7],属于最优化理论算法,既具有高斯-牛顿法的局部特性又具有梯度法的全局特性,由于利用了近似的二阶导数信息,LM 算法比梯度法具有更高的收敛速度和稳定性.

传统 BP 神经网络算法很可能收敛于局部最小点,基于 LM 算法的 BP 神经网络为了克服这个缺点,对传统的 BP 神经网络算法进行一些改进.将训

练指标由均方误差 $E(w^{(k)}) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N e_i^2(w^{(k)})$ 达到某一设定值,改变为两次相邻训练的均方误差的差值的绝对值 $\|E(w^{k+1}) - E(w^{(k)})\|$ 达到某一设定值.另外,由于 LM 算法的神经网络具有在几百次以内就完成一次收敛训练的良好特性,所以连续进行几十次收敛的时间不会过长,每次随机取初始网络权值和偏置值.训练结束后,在其中选取收敛效果最好的一次,较好地减少了网络收敛于局部最小的点可能性.

4 挖掘机故障诊断实例

下面将以液压挖掘机的一些常见故障为例,详细介绍该系统模型的构成,并验证所提出的方法的有效性.

4.1 对故障样本进行特征提取建立决策系统

根据液压挖掘机的结构原理^[8],分析故障信息和属性,以确定条件属性和决策属性,建立决策信息表.文中从这些故障信息中选取具有代表性的 20 个条件属性 $C = \{C_1, C_2, \dots, C_{19}, C_{20}\}$ (C_1 :发动机水温、 C_2 :机油压力等)和相应的 7 个决策属性 D 来进行挖掘机故障智能诊断的研究,并对随机选取的 17 个故障样本进行特征提取.

根据粗糙集只能处理离散化属性的要求,首先将条件属性 C 和决策属性 D 都离散量化,条件属性 C 的值域分别为 $\{0, 1\}$,其中 0 表示属性值在正常范围之内、1 表示超出正常范围.决策属性 $D = \{D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6, D_7\}$,使用二进制编码的方式表示这七种故障信息,即故障集合 $\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$ 分别编码为 $\{0011\}, \{0110\}, \{0111\}, \{1001\}, \{1010\}, \{1011\}, \{1100\}$.

1},\{1\ 1\ 0\},\{1\ 1\ 1\}. 挖掘机故障诊断条件属性和决策属性离散量化后,决策信息如表 1 所示.

表 1 挖掘机故障诊断数值化决策表

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆	C ₁₇	C ₁₈	C ₁₉	C ₂₀	故障种类		
X ₁	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1
X ₂	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
X ₃	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
X ₄	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0
X ₅	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0
X ₆	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0
X ₇	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
X ₈	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
X ₉	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
X ₁₀	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
X ₁₁	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
X ₁₂	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1
X ₁₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0
X ₁₄	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
X ₁₅	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1
X ₁₆	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0
X ₁₇	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1

4.2 决策系统属性的约简

利用基于 Karno Bozi 改进的属性约简算法对挖掘机故障信息决策系统进行约简. 首先差别矩阵是

一个对称的矩阵,因此只需要计算它下对角元素即可. 表 1 对应差别矩阵如图 2 所示,其中条件属性 C₁ ~ C₂₀ 由字母 a ~ t 标识.

lnoprs																						
acdkmnos	acdklmnr																					
dlopq	dlmqr	ackmnpq																				
dmnpqs	dlmoqr	ackopq	0																			
dlloprt	0	acklmnrst	lqrst	lmnoqrst																		
dkmnos	dklmnr	0	kmpq	kopq	klmnrst																	
cdkmnos	cdklmnr	0	ckmpq	ckopq	cdlmnrst	0																
dhkmnos	dhklmnr	ach	hkmpq	hkopq	hdlmnrst	h	ch															
bdkmnos	bdlmnr	abck	bmpq	bopq	bdlmnrst	bk	bck	bhk														
acdkmnos	acdilmnr	0	acmpq	qcopq	aclmnrst	0	0	achk	abc													
0	lopt	acdkmort	dnopqrt	dmnpqrt	dlnoqs	dkmort	cdkmort	dhkmort	bdmort	acdmort												
dmrt	0	acknorst	opqrst	npqrst	0	knorst	cknorst	hknorst	bnorst	acknorst	dmns											
dkmnos	dklmnr	0	kmpq	kopq	klmnrst	0	0	h	bk	0	dkmort	knorst										
0	clnost	adkmnorst	cdopqrst	cdmnpqrst	cdlop	cdkmnorst	dkmnorst	cdhkmnorst	bcdmnorst	admnorst	0	cdm	cdkmnorst									
dmopqs	dlmnor	acknpq	0	0	lmqrst	knpq	cknpq	hknpq	bnpq	acknpq	dmnopqrt	opqrst	knpq	cdmopqrst								
dflmnos	dflmnr	acfk	fmpq	fopq	flmnrst	fk	cfk	fhk	bf	acf	dflmort	fnorst	fk	adflmnorst	fnpq							

图 2 差别矩阵

属性约简首先从矩阵中找出组合数为 1 的元素,即是核:Core(C) = {h}. 令 red(C) = {h}. 因为 IND(red(C)) ≠ IND(C),所以进行下一步,去掉矩阵中包含有核属性{h}的项,剩余属性在矩阵中出现的次数分别是 |a| = 22, |b| = 15, |c| = 40, |d| = 46, |e| = 0, |f| = 15, |g| = 0, |i| = 0, |j| = 0, |k| = 44, |l| = 26, |m| = 55, |n| = 54, |o| = 51, |p| = 52, |q| = 39, |r|

= 53, |s| = 44, |t| = 44. 为每一个属性设定一个计数器,分别记下这些属性出现次数. 将属性次数最多的 m 加到约简属性集 red(C) 中,则 red(C) = {h, m}. 去掉包含属性 m 的项,同时这些相应的项中如果含有其它属性,则将其其它的每一个属性的相应计数器减 1. 例如:在去掉 dmrt 这一项时,因为同时含有 d、r 以及 g,所以直接将这三个属性相对应的计数器分别减 1,即 |d| = 15, |r| = 15, |t| =

15. 由于 $IND(red(C)) \neq IND(C)$, 算法继续循环. 直到 $IND(red(C)) = IND(C)$, 算法结束, 得到的属性集 $\{c, f, h, k, m, n, p, t\}$ 就是原决策系统的一个约简属性集, 即 $red(C) = \{C_3, C_6, C_8, C_{11}, C_{13}, C_{14}, C_{16}, C_{20}\}$.

4.3 建立 BP 神经网络子系统

根据上述的约简过程, 得到约简后的最优决策系统, 建立三层前向 BP 神经网络, 采用上述改进的粗糙神经网络学习算法进行网络训练. 网络的输入层节点为故障特征属性的个数, 即约简后的属性个数为 8; 通过试验比较不同隐含层神经元数目, 从表 2 可以看出, 当隐含层数目为 13 和 14 时是训练最快的. 在当隐含层为 13 时, 最后均方差最小为 0.000188273, 选择隐含层节点数目为 13; 输出层节点数设为 3, 相应的二进制编码分别对应挖掘机故障种类的 7 种故障类型, 构成 8-13-3 的网络结构.

表 2 不同隐含层数目时网络的收敛速度比较

隐含层数	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	17
学习步数	18	10	16	9	10	19	25	8	7	7	15

5 RS-LMBP 网络性能测试

5.1 收敛性能测试

为了检验故障诊断系统的性能, 分别选用普通的 BP 算法和基于 RS-LM 算法改进的 BP 神经网络算法来训练网络. 其中普通 BP 算法将没有经过处理过的原始数据直接输入结构为 20-33-3 的三层网络训练. 两种网络训练参数同样都设定为网络最大训练次数为 1000, 误差精度为 0.001, 学习率为 0.1, 普通 BP 算法加入动量因子为 0.2. 经过训练后发现, 普通 BP 算法的实际误差精度只能达到 0.0196435. 而采用了 RS-LM 算法改进的 BP 神经网络, 当迭代到第 7 次时, 实际误差精度为 0.000188273, 误差已经达到精度要求. 可以看出, 采用 RS-LM 算法改进的 BP 神经网络训练算法明显提高了训练的收敛速度, 满足了故障诊断系统对实时性的要求, 并且达到了更高的实际误差精度.

5.2 输出诊断结果

使用测试样本来测试改进的粗糙神经网络的性能, 经过约简后的测试样本数据如表 3 所示. 测试样本经过普通 BP 网络和 RS-LM 算法改进的 BP 网络诊断后的输出结果和期望输出之间的比较如表 4 所示. 从诊断结果可以得知, 普通 BP 网络诊断正确

率为 76.2%, 而基于 RS-LM 算法改进的 BP 神经网络诊断正确率达到了 90.5%, 很好的提高了诊断的效率.

表 3 约简后的测试样本

	C_3	C_6	C_8	C_{11}	C_{13}	C_{14}	C_{16}	C_{20}	故障种类
X_1	0	0	0	0	1	0	0	1	D_1
X_2	1	0	0	0	1	1	0	0	D_1
X_3	0	0	0	0	0	1	0	1	D_2
X_4	0	0	0	0	0	0	0	1	D_2
X_5	1	0	0	0	0	0	0	0	D_3
X_6	0	0	1	0	0	0	0	0	D_5
X_7	0	1	0	0	0	0	0	0	D_6

表 4 诊断结果比较

	BP 网络输出			粗糙 BP 网络输出			期望输出		
X_1	0.0005	0.1696	0.9793	0.0059	0.0118	0.9916	0	0	1
X_2	0.0001	0.8141	0.6549	0.0353	0.0028	0.9953	0	0	1
X_3	0.0042	0.9907	0.0100	0.0125	0.9651	0.0181	0	1	0
X_4	0.1801	0.9986	0.4440	0.0106	0.9914	0.2361	0	1	0
X_5	0.0515	0.9999	0.9168	0.0307	0.9958	0.9980	0	1	1
X_6	0.9951	0.6116	0.6074	0.9971	0.0003	0.8936	1	0	1
X_7	0.9931	0.9951	0.0091	0.9525	0.8779	0.9928	1	1	0

通过对系统进行的网络性能测试, 验证了基于 RS-LM 算法改进的 BP 神经网络算法, 在收敛速度、避免局部最小点和诊断效率等方面比传统 BP 算法具有明显的优势.

6 结束语

基于 RS 理论和神经网络的故障智能诊断方法充分发挥了这两种技术的优点. 把粗糙集方法作为神经网络的前置系统, 通过约简算法删去冗余信息, 减少信息表达的属性数量, 简化训练集, 从而减少了构成的神经网络系统的复杂性, 也减少网络的训练时间, 提高故障诊断的效率和精度; 使用神经网络作为后置的信息识别系统, 有容错及抗干扰能够弥补粗糙集的不足. 文中研究了基于粗糙集和神经网络相结合的挖掘机故障诊断模型, 提高了诊断系统的效率和智能水平.

参考文献:

[1] 郑友江, 赵继云, 石峰. 液压系统故障智能诊断系统研究与发展[J]. 计算机工程与设计, 2006, 27(12): 195-197.
[2] 朱根标, 张凤鸣, 王金干. 一种改进的设备故障诊断方法[J]. 微电子学与计算, 2005, 22(9): 114-116.
[3] 戚涌, 李千目, 刘凤玉. 基于 BP 神经网络的网络智能诊断系统[J]. 微电子学与计算, 2004, 21(10): 10-13.

(下转第 118 页)

其中, $F = F_1 + F_2$; R_L 为二项分布可靠度单侧置信下限; γ 为置信水平度(0.9); U_γ 为标准正态分布的 γ 分位数(1.2816).

由以上公式算得, 试验板上焊点可靠寿命的单侧置信下限 $R_L = 0.9861$, 从一定程度上反映了工艺设计技术的可靠性.

5 结束语

文中通过焊点形态与热疲劳寿命预测, 指导焊点形态参数和相关工艺参数的选取; 通过工程应用研究获得了理想的一次性焊接合格率和焊点热疲劳寿命. 通过环境筛选试验的考核, 证明焊点故障模式与有限元分析的应力应变分布一致, 证明有限元分析在焊点可靠性研究中是一种有效的技术途径.

参考文献:

- [1] 王青春. 基于 SMT 焊点形态的可靠性研究[C]//全国第六届 SMT/SMD 学术研讨会论文集. 中国: 武汉, 2000.
- [2] 周德俭, 潘开林, 吴兆华. 表面组装焊点形态建模与分析[J]. 桂林电子工业学院学报, 1997, 17(4): 34-37.
- [3] 刘常康, 周德俭, 潘开林, 等. PBGA 焊点的热疲劳寿命分析[J]. 机械强度, 1999, 21(3): 212-214.
- [4] 顾永莲. 球栅阵列封装焊点的失效分析及热应力模拟[D]. 成都: 电子科技大学, 2005.
- [5] 黄春跃. 热循环加载条件下 CCGA 焊点形态参数对热疲劳寿命的影响分析[C]//全国第六届 SMT/SMD 学术研讨会论文集. 中国: 武汉, 2000.
- [6] 许杨剑, 刘勇, 梁利华, 等. 芯片叠层球栅阵列尺寸封装的焊球疲劳寿命预测[J]. 浙江工业大学学报, 2004(32): 668-673.
- [7] 何国伟. 可靠性试验技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 1995.
- [8] 路佳. 表面组装元器件焊盘设计的可靠性研究[J]. 电子工艺技术, 2001, 22(6): 256-259.
- [9] 国防科学技术工业委员会. GJB1032-1990, 电子产品环境应力筛选方法[S]. 北京: 国防科工委军标出版发行部, 1991.
- [10] 国家标准局. GB4087.3-85, 数据的统计处理 and 解释 二项分布可靠度单侧置信下限[S]. 北京: 中国标准出版社, 1985.

作者简介:

路佳女, (1967-), 工程师, 工艺师. 研究方向为电子设备装联工艺技术.

(上接第 112 页)

- [4] Wang X Y, Wang Z O. Stock market time series data mining based on regularized neural network and rough set [C]// Proc of the First Int Conf on Machine Learning and Cybernetics. Beijing, 2002: 315-318.
- [5] 刘臻, 陈统坚, 彭永红, 等. 基于粗集理论的模糊神经网络建模方法研究[J]. 中国机械工程, 2001(11): 1256-1259.
- [6] 薛安荣, 韩红霞, 潘雨青. 基于可辨识矩阵的快速粗糙集属性约简算法[J]. 计算机工程与设计, 2007, 28(20): 4987-4989.
- [7] 徐冠, 夏克文, 徐乃勋. 基于 LM 算法的神经网络在冠心病诊断中的应用[J]. 微电子学与计算, 2006, 23(6): 189-192.
- [8] 张铁. 液压挖掘机结构、原理及使用[M]. 东营: 石油大学出版社, 2002.

作者简介:

胡大江 男, (1983-), 硕士研究生. 研究方向为计算机控制、故障诊断技术.

朱小文 女, (1983-), 硕士. 研究方向为计算机控制算法应用、工程设备远程检测.