

基于模糊依赖度算法汽车故障诊断仿真研究

尹韶峰

(1. 中国科学院沈阳自动化研究所信息中心, 辽宁 沈阳 110016; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100080)

摘要: 研究汽车故障检测和诊断精确度问题, 汽车故障检测和诊断技术一直是国内外研究热点问题。针对传统众多故障诊断算法难以精确地描述故障现象和故障原因之间的复杂关系, 造成故障诊断难以精确等不足, 提出了一种新的基于模糊依赖度最大化故障诊断算法, 算法基于模糊粗糙集理论, 利用条件属性的依赖度对汽车故障进行评判, 采用模糊依赖度来描述汽车故障发生的几率, 同时在此基础上, 给出了模糊依赖度最大化模型对汽车故障进行诊断的具体步骤。理论分析和仿真证明了将模糊依赖度最大化算法用于汽车故障诊断方面是可行的和有效的, 并能提高故障监测的可靠性。

关键词: 模糊依赖度; 汽车故障诊断; 最大化

中图分类号: TP301 文献标识码: A

Dependence Fuzzy Fault diagnosis Algorithm to Maximize Vehicle

YIN Shao - feng

(1. Information Center, Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang Liaoning 110016, China;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

ABSTRACT: The automotive fault detection and diagnostic accuracy problems are studied. Fault detection and diagnosis of automotive technology have been the focus of world problems, and it is difficult for many traditional fault diagnosis algorithms to accurately describe the symptoms and the complex relationship between the cause of the malfunction, resulting in failures such as lack of accurate diagnosis. A new fuzzy fault diagnosis algorithm of maximize dependence is presented. The algorithm, based on fuzzy rough set theory, first obtains a vibration fault samples, and uses fuzzy dependency to describe the probability of the occurrence of car trouble. On this basis, the specific steps of vehicle fault diagnosis of the model are given. Theoretical analysis and simulation results show that the fuzzy dependency maximization algorithm for automotive fault diagnosis is feasible and effective, and can improve the reliability of fault detection.

KEYWORDS: Fuzzy dependency; Automotive fault diagnosis; Maximize

1 引言

机械故障诊断是一种了解和掌握机器在运行过程的状态, 确定其整体或局部正常或异常, 早期发现故障及其原因, 并能预报故障发展趋势的技术。油液监测、振动监测、噪声监测、性能趋势分析和无损探伤等为其主要的诊断技术方式。诊断技术发展几十年来, 产生了巨大的经济效益, 成为各国研究的热点。利用各种检查和测试方法, 发现系统和设备是否存在故障的过程是故障检测; 而进一步确定故障所在大致部位的过程是故障定位。故障检测和故障定位同属网络生存性范畴^{[1][2]}。要求把故障定位到实施修理时可更换的产品层次的过程成为故障隔离。故障诊断就是指故障检测和故障隔离的过程。故障诊断是系统控制领域中的一个

关键而富有挑战性的难题^{[3][4]}。故障诊断和推理的主要任务是分析异常行为状态并分析出这些异常行为之间的因果关系, 找出故障的原因。Petri 网是一种用严格的数学模型, 其主要是对离散并行系统的数学表示。1960 年代由卡尔·A·佩特里发明的, 适合于描述异步的、并发的计算机系统模型。特别适合对具有异步、离散、并发、同步等行为的系统进行表示和分析, 已在故障诊断领域得到广泛应用。学者^[5]提出采用蚁群算法和 Petri 网对柔性系统故障进行诊断, 可以实现对柔性制造系统中操作过程进行动态调度, 但没有给出诊断的具体推理步骤。又有一些学者^[6]提出了神经网络汽车故障检测进行推理, 并使用优先级表示优先诊断和处理严重程度高的故障, 对每个故障的原因赋予一个权值, 但权值的赋予需要专家系统的经验, 具有很强的依赖性。

粗糙集理论作为一种数据分析处理理论, 在 1982 年由波兰科学家 Z. Pawlak 创立^[7]。最开始由于语言的问题, 该

理论创立之初只有东欧国家的一些学者研究和应用它,后来才受到国际上数学界和计算机界的重视。粗糙集理论是一种刻画模糊的、不完整性和不确定性的数学工具。其主要思想是在保持分类能力不变的前提下,通过属性约简和值约简,导出决策规则。但在目前研究的粗糙约简算法中,大多都比较关注属性的约简,把求得最佳属性约简作为设计目标。本文针对传统算法的不足,基于粗糙集理论上,提出了基于模糊依赖度最大化汽车故障诊断算法,算法基于模糊粗糙集理论,利用条件属性的依赖度对汽车故障进行评判,采用模糊依赖度来描述汽车故障发生的几率,同时在此基础上,给出了模糊依赖度最大化模型对汽车故障进行诊断的具体步骤。理论分析和仿真证明了将模糊依赖度最大化算法用于汽车故障诊断方面是可行的和有效的,并能提高故障监测的可靠性。

2 模糊依赖度故障诊断策略

2.1 故障诊断原理

汽车故障指汽车中的零部件部分散失或者全部散失汽车原来设计规定的功能的现象,汽车故障若按照影响汽车性能的情况,一般可以分为功能性故障和参数性故障,功能故障主要是指汽车不能继续完成本身的功能,比如行驶跑偏,发动机不能启动等;而参数故障是指汽车的性能参数达不到规定的指标。按这些故障造成后果严重程度,可以分为轻微故障,一般故障,严重故障和致命故障。

汽车故障时错综复杂的,每个故障都可能都是由多种原因所引起的,目前传统的汽车故障诊断都是建立在手工检测的基础上,都是依赖于人工的推理和判断等,但这种方法对于现在复杂的汽车来说都是力不从心,所以必须寻求一种智能方法对汽车进行故障检测与诊断,本文采用的基于模糊依赖度最大化汽车故障诊断算法,它就是参数估计诊断方法,主要思想是当故障由参数的变化描述的时候,可以通过采用已有的参数估计算法来监测故障的信息,并根据参数的估计值与正常值比较,从其偏差来作出判定。其要求找出模型参数和物理参数之间的一一对应关系。这样可以获得更好的故障检测。

2.2 特征与决策间的模糊依赖性

在一个典型的分类问题中,样本集被分为 N 个样本子集 d_1, d_2, \dots, d_N 。对于 $\forall x \in U, d_i(x) = 0$ if $x \notin d_i$; 否则 $d_i(x) = 1$ if $x \in d_i$ 。数值属性或者是模糊属性在样本集上产生一个模糊等价关系,模糊粗糙集被用来利用由模糊等价关系产生的模糊子集近似决策类。很自然地想得到一个精确的近似,这种近似程度以模糊依赖度进行衡量。

定义1: 假设 $X \subseteq U$ 是一个模糊子集,则集合 X 的势定义为 $|X| = \sum_{x \in U} X(x)$, 其中 $X(x)$ 是样本 x 对模糊子集 X 的隶属度。

定义2: 给定一个分类学习问题 k 是在特征空间 $B \subseteq A$ 中以核函数 $k(x, y)$ 计算的论域 U 上的等价关系。论域 U 按照

决策属性分成了 $\{d_1, d_2, \dots, d_l\}$ 决策等价类。则特征空间 B 的模糊依赖性定义为

$$\gamma_B(D) = \frac{|\bigcup_{i=1}^N \underline{k}d_i|}{|U|}$$

由于 $\underline{k}d_i(x) = \inf_{y \notin d_i} (1 - k(x, y))$, 可得 $|\bigcup_{i=1}^N \underline{k}d_i| = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^N \underline{k}d_j(x_i)$ 。而且,已知 $\underline{k}d_j(x_i) = 0$ 如果 $x_i \notin d_j$, 因此可以得到 $|\bigcup_{i=1}^N \underline{k}d_i| = \sum_{i=1}^n \underline{k}d(x_i) = \sum_{i=1}^n \inf_{x_i \in d, y \notin d} (1 - k(x_i, y))$ 其中 d 表示的是 x_i 的类标号。

本质上来说,模糊依赖性是个各样本到异类样本在核空间的平均距离或类间距离。希望这个距离足够大来辨识不同的类。模糊依赖度最大化意味着类间距离最大化,因此模糊依赖度在很多算法中用来评价特征。

2.3 基于模糊依赖度最大化的距离学习

模糊依赖度反映了属性 B 对于分类 D 的模糊一致度,必须使得模糊依赖度最大化来获得高度一致的分类效果。

根据 $\underline{k}d(x_i) = \inf_{x_i \in d, y \notin d} (1 - k(x_i, y))$ 可知,样本 x_i 的模糊下近似以距离 x_i 的最近异类样本来计算,以 $NM(x_i)$ 来表示,则

$$\gamma_B = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 1 - \exp\left(-\frac{||f(x, \mu_i) - f(NM(x), \mu_i)||^2}{\sigma}\right)$$

其中 μ_i 表示的是特征 a_i 权值, $\sum_{i=1}^m w_i = 1$ m 为样本数。

通常情况下,不同属性的权值都被设置成统一值。本文为了使得 $w_j = 1/m$ 。但待选属性的重要性是不同的。一些属性对于分类识别没有任何作用,提出一种算法来选择加权向量 $W = \langle w_1, w_2, \dots, w_j, \dots, w_m \rangle$ 。优化目标函数为

$$\max \gamma_B(D) = \max \frac{1}{n} \frac{\partial e(w)}{\partial w_i}$$

在优化过程中由于 $\sum_{i=1}^m w_i \neq 1$ 则优化函数变成

$$\max_w \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left\{ 1 - \exp\left\{-\frac{\sum_{i=1}^m w_i^2 \times [f(x_j, \mu_i) - f(NM(x_j), \mu_i)]^2}{\sigma \times (\sum_{i=1}^m w_i)^2}\right\}\right\}$$

由于 $\gamma_B(D)$ 处处光滑,本文利用梯度下降法来最大化模糊依赖度 $e(w)$ 在论域 U 上的梯度为

$$\begin{aligned} (\nabla e(w))_i &= \frac{\partial e(w)}{\partial w_i} \\ &= \sum_{x \in U} \frac{2}{\sigma} \exp\left(-\frac{(\|x - NM(x)\|_w)^2}{\sigma \times (\sum_{i=1}^m w_i)^2}\right) \times \\ &\quad \frac{\partial (f(x, \mu_i) - f(NM(x), \mu_i))^2 / (\sum_{i=1}^m w_i)^2}{\partial w_i} \\ &= \sum_{x \in U} \frac{2}{\sigma} \exp\left(-\frac{(\|x - NM(x)\|_w)^2}{\sigma \times (\sum_{i=1}^m w_i)^2}\right) \times \end{aligned}$$

$$\left[\frac{(f(x, \alpha_i) - f(NM(x), \alpha_i))^2}{(\sum_{i=1}^m w_i)^2} w_i - \frac{(\|x - NM(x)\|_w)^2}{(\sum_{i=1}^m w_i)^3} \right]$$

其中, $\|Z\|_w = \sqrt{\sum_i (w_i z_i)^2}$.

在对实例对应的模糊依赖度最大化进行构造且对规则中故障现象的权值进行训练后,可以实现对故障的诊断,具体步骤如下所示:

首先,建立每个库所 P 的可达集 $RS(P)$ 、即达集 $IRS(P)$ 和相邻库所集合 $AP(P)$,设征兆库所为 P_0 ,对任意库所,若 $P_0 \in IRS(P_k)$

其次,正向算出从 P_f 到 P_0 的各库所的可信度,得到由 P_f 此故障源导致故障征兆 P_0 的可信度

第三,如果输入总置信度,搜索对应规则置信度的最大值,直到最终找到故障的原因,并且计算征兆库所的可信度。

推理过程中,在知识库中寻找能引发该征兆的所有路径,按变迁可信度大小和深度优先的原则依次选取这些路径。若某个变迁的输入库所与故障事实相匹配,则启动该变迁;否则一直重复上述过程,直到寻找出故障库所或者没有搜索到能引发该征兆的故障库所为止。

3 实验结果与分析

本文所有的实验都是在 PC P4 T2310 1.86G 2GRAM, Intel82865G 显卡的计算机上做了实验,利用人造数据进行仿真来验证本文提出算法的有效实用性。通过样本集证明了算法的有效性,如图 1 所示样本原始数据分布图,从图中可以看出两个样本集(蓝色和红色)易通过特征区 x 进行分开,所以说本文算法可以有效区分不同样本,这样应用在汽车故障检测中可行性得到了验证。

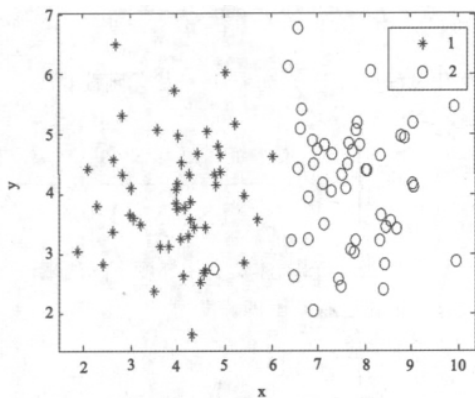


图 1 样本原始数据分布

本文以三塔纳轿车为例,采用本文算法对汽车故障进行真的分析,如图 2 给出了按照算法计算的分类精度编号情况,从图 2 中可以明显发现,随着汽车故障特征的增加,故障的识别精度也在成递增趋势,这充分说明经本文提出的模糊依赖最大化算法可以选择较少的故障特征而达到更高的分

类精度,算法对汽车故障特征识别能力非常之高。

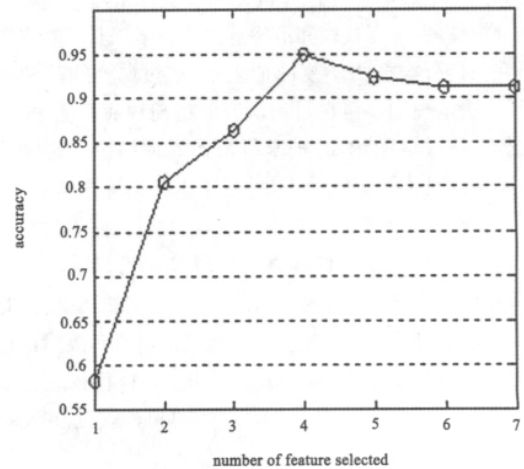


图 2 故障特征识别图

4 结论

诊断技术发展几十年来,产生了巨大的经济效益,成为各国研究的热点。利用各种检查和测试方法,发现系统和设备是否存在故障的过程是故障检测。本文提出了一种采用模糊依赖度最大化算法对汽车故障进行诊断,算法基于模糊粗糙集理论,利用条件属性的依赖度对汽车故障进行评判,采用模糊依赖度来描述汽车故障发生的几率,同时在此基础上,给出了模糊依赖度最大化模型对汽车故障进行诊断的具体步骤,该算法具有一定的推广价值,可以对真实世界的不确定性规则进行描述,很好地表示了故障原因的不确定性以及它们在故障发生过程中不同重要性级别,增加了系统的自主学习的能力。最后理论和实验验证了算法的有效性。

参考文献:

- [1] 李敏君,杨晞卉,王荣芝,王淑玉. 基于遗传算法的故障诊断研究[J]. 微计算机信息, 2006, 16.
- [2] 潘俊任,裴道武. 基于模糊 Petri 网的模糊推理算法[J]. 浙江理工大学学报, 2009, 26(6).
- [3] P F Palamara, et al. A Robotic Soccer Passing Task Using Petri Net Plans[C]. In Proc. of 7th Int. Conf. on Autonomous Agents and Multi-agent Systems, 2008. 1711 - 1712.
- [4] 白志强,唐永哲. 基于动态时间规整的飞控系统故障诊断[J]. 计算机仿真, 2007, 24(1).
- [5] 徐滔,王祁. 一种神经网络预测器在传感器故障诊断中的应用[J]. 传感技术学报, 2005, 2: 235 - 236.
- [6] Q Zhang, M Basseville, A Benveniste. Fault detection and isolation in nonlinear dynamic Systems[C]. a combined input-output and local approach. Automatica, 2006, 34(11): 1359 - 1373.
- [7] F P M rank. Fault diagnosis in dynamic systems using analytical and knowledge-based Redundancy[J]. A survey and some new results. Automatic, 2005, 26(3): 459 - 474.

(下转第 368 页)

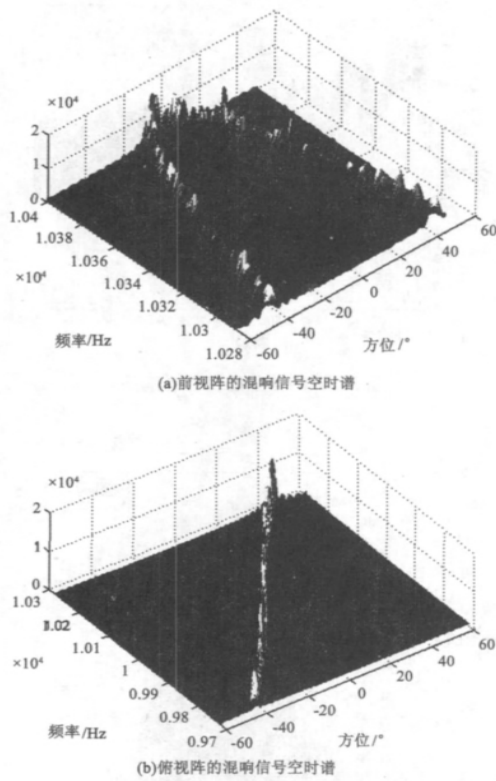


图5 视阵混响仿真图

5 结论

本文根据单元散射模型提出了一种有效的方法来仿真海洋混响,并且把传统单阵元的混响仿真扩展到了整个声纳阵列的混响仿真。另外,海洋混响多普勒频率和散射体方位的数学关系在文中也得到了详尽的分析。最后,通过仿真,比较了混响瞬时值和包络概率密度分布、空时二维谱几个方

面的特性,证明了该模型在主动声纳的混响仿真中是准确且有效的。

参考文献:

- [1] K Lepage. Statistics of broad-band bottom reverberation prediction in shallow-water waveguides [J]. IEEE Oceanic Eng, 2004. 330-346.
- [2] William Hodgkiss. An model Reverberation model [J]. IEEE Oceanic Eng, 1984. 63-72.
- [3] D D Ellis. Shallow water reverberation: Normal-mode model predictions [J]. IEEE Oceanic Eng, 1993. 474-482.
- [4] 王新晓, 黄建国, 张群飞. 海洋混响仿真技术研究 [J]. 声学 & 电子工程, 2002, 23(3): 27-30.
- [5] 徐新盛, 张燕. 海底混响仿真研究 [J]. 声学学报, 2002, 23(2): 141-148.
- [6] 马国强, 徐德民. 线性调频信号抗混响起伏模型 [J]. 舰船科学技术, 2004, 26(1): 42-45.
- [7] 孙文俊, 杨益新. 基于蒙特卡洛方法的主动声纳信号性能分析 [J]. 计算机仿真, 2006, 23(8): 119-121.
- [8] 尤立克著, 洪申, 译. 水声学原理 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨船舶工程学院出版社, 1990.
- [9] 王永良, 彭应宁. 空时自适应信号处理 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.

[作者简介]



崔晓东(1985-),男(汉族),河南许昌人,硕士研究生,主要研究领域为阵列信号处理;

黄建国(1945-),男(汉族),湖南长沙人,教授,博士生导师,主要研究领域为现代信号处理,阵列信号处理,无线通信及水声通信;

张群飞(1968-),男(汉族),浙江东阳人,教授,硕士生导师,主要研究领域为现代信号处理,阵列信号处理。

(上接第 356 页)

- [8] L V Ganyun, C Haozhong, Z Haibao, D Lixin. Fault diagnosis of power transformer based on multi-layer SVM classifier [J]. Electric Power Systems Research. 2005, 74(1): 5-6.
- [9] 王源, 胡寿松. 基于支持向量机的非线性系统故障诊断 [J]. 控制与决策, 2001, 16(5): 617-620.
- [10] 张怡哲, 邓建华. 舵面损伤在线故障模式预测及故障检测 [J]. 西北工业大学学报, 2003, 21: 299-300.

- [11] 权太范. 信息融合神经网络-模糊推理理论与应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2002. 270-271.



[作者简介]

尹韶峰(1968-),女(汉族),辽宁大连人,硕士生,工程师,主要研究方向: 计算机软件与应用。