

汽车故障诊断专家系统的现状与发展趋势*

陈朝阳 张代胜 任佩红

(合肥工业大学机械与汽车工程学院 合肥 230069)

摘要:回顾了汽车故障诊断专家系统的发展历史,阐述了国内外诊断专家系统的发展现状。针对目前研究较多的故障诊断专家系统智能模型进行了分析,并指出各自的技术特点和局限性。最后,指出智能故障诊断专家系统今后的发展趋势。

关键词:汽车 故障诊断 专家系统 现状与趋势

中图分类号:U279

0 前言

20 世纪 60 和 70 年代,汽车故障诊断受到世界各国先进汽车生产厂家的普遍重视,为提高产品的可维修性,美国、日本、德国和法国等国家相继研制了在线故障诊断(On-board diagnostic)装置^[1]。这种故障诊断装置通过故障码的存储与读取,借助汽车仪表盘上的故障指示灯,反映系统的工作状况和故障发生部位。20 世纪 80 年代,基于串行通信口的车外故障诊断工具(解码器)得到迅速发展,它通过与 ECU 交互式通信,获取更多的信息,诊断功能有较大的提高^[2]。1994 年,美国汽车工程师协会(SAE)在第一代车载诊断标准的基础上统一故障代码和软硬件结构,制订了第二代在线诊断标准 OBD

然而,故障诊断工具没有脱离“故障代码读取工具”或“RAM 值读取工具”的范围,不能对 ECU 存储的数据进行分析。要排除汽车故障,维修人员还必须参照说明书,了解故障码的含义。

人工智能技术的迅速发展,特别是专家系统、人工神经网络在故障诊断领域的进一步应用,为智能汽车故障诊断的发展奠定了基础^[3]。智能诊断技术能够有效地获取、传递、处理、再生和利用诊断信息,利用计算机来模拟人类专家对复杂系统进行诊断,充分发挥领域专家在诊断中的作用,并实现专家知识和经验的交流、汇集、复制、传播和长期保存。20 世纪 80 年代中后期,国外对汽车故障诊断专家系统进行了大量的研究,并进行了试运作和评价,部分诊断专家系统已经走向成熟和实用化。

这里主要探讨汽车故障诊断专家系统的国内外

研究现状、实现技术难点和发展趋势。

1 国内外的现状及应用

汽车故障诊断专家系统的研究始于 20 世纪 70 年代末,并用于工程领域的故障诊断研究。如 20 世纪 70 年代末期,Donald 等^[4]把故障诊断专家系统用于军用汽车发动机的故障诊断中。汽车发动机是汽车的“心脏”,其故障发生频繁。汽车发动机的故障诊断成为早期汽车故障诊断专家系统的一个重要研究内容,也是人工智能的一个最具挑战性的问题^[5]。特别是现代汽车的电控系统(燃油喷射系统等)不断增加,其故障诊断正向高难度复杂化方向发展。1982 年意大利米兰汽车工业大学成功地研制汽车电系故障诊断专家系统;1985 年美国通用汽车公司研制了发动机冷却系统诊断专家系统 Engine cooling advisor;1986 年日本 Nissan 汽车公司研制的发动机电子集成控制系统的诊断专家系统;1987 年加拿大太平洋铁路公司开发了发动机故障诊断专家系统 EDMS 等^[6-8]。上述故障诊断专家系统在快速故障诊断、改善汽车修理质量和降低维修成本方面显示出了巨大潜力。

早期汽车故障诊断专家系统的研究始终与动态信号处理紧密相关^[9],并通过与电控单元 ECU 的数据信息交互,达到快速诊断系统故障的目的。如 Yoo 等^[10,11]开发了一个汽车 ECU 的诊断专家系统 DIAS1,通过对电控单元的数据分析,结合专家诊断知识,实现对电控系统的故障诊断。

1989 年美国 Venkat 等首次将神经网络用于故障诊断中^[12],并与基于知识的专家系统进行了比较,克服了传统诊断推理速度慢、不适应在线诊断的缺陷,获得理想的结果。此后,Marko 等^[13-15]把神经网络引入到汽车控制系统和柴油发动机的故障诊断中,利用神经网络的学习功能和强大的非线性

* 纪念《机械工程学报》创刊 50 周年——“机械工程技术的历史、进展与展望”主题征文。安徽省“十五”科技重大专项基金资助项目(010205E2)。20030703 收到初稿,20030828 收到修改稿

性映射特性和很强的容错性能,实现故障的快速分类。Sharky 等^[16,17]对柴油发动机的故障机理进一步研究的基础上,提出多神经网络的诊断策略,与单一策略专家系统诊断对比,表明多神经网络诊断系统的强大诊断功能。

20 世纪 90 年代初期,汽车故障诊断专家系统研究对象的范围逐步扩大到各个汽车系统总成,并向多知识、多模型诊断方向发展^[18,21]。Brennan 等^[18,19]运用状态监控和模糊逻辑推理,开发了汽车悬架单元的故障诊断系统。Staszewski 等^[20,21]通过振动信号的特征提取和神经网络模式识别,建立汽车变速箱故障诊断系统。M. L. Smith 为 Eaton 公司开发的汽车制动系统集成诊断系统,该系统对诊断输入信息和事实数据进行规则和神经网络交互式推理后,完成制动系统的诊断。澳大利亚的 Autar 等^[22]在 CAMODE 系统的基础上,结合浅知识和深知识推理,开发了柴油机自诊断专家系统。Hirpal 等^[23]开发了一个基于决策树的诊断专家系统 EXEDS,通过建立征兆群,达到快速诊断的目的。Pisu 开发了一个基于层次模型的在线汽车制动和转向故障诊断系统^[24],该系统通过主动单元和被动单元实现故障定位、离线处理和诊断,比传统的 FMEA、FTA 以及事故树功能更强大。

国内在汽车故障诊断技术的研究方面起步较晚。20 世纪 80 年代末,国内部分高校和科研机构对汽车故障诊断专家系统进行研究,并相继发表了一些研究文献^[27~29]。20 世纪 90 年代中期后,国内的研究进入快速发展期,部分高等院校做了大量的研究工作,部分研究已达到国外同等水平^[30~39]。从整体上看,无论是知识表示方法,还是诊断推理方法,都呈现出多样化。在基于信号处理方面,从传统的傅里叶变换到小波分析,为故障诊断信号的预处理提供一条有效的技术路线。在基于知识处理方面,从传统基于逻辑的诊断专家系统模型到集成模糊逻辑、实例和神经网络技术的诊断专家系统模型,仅仅经历了十来年的时间。

总的来说,我国在汽车故障诊断专家系统方面的研究一直紧跟国外学术动态,对新理论、新方法和新趋势等方面的把握和研究及时,逐步取得了一些有价值的成果。由于我国汽车制造业水平的相对落后,制造质量、工艺等环节技术薄弱以及汽车运行环境较差等原因,导致汽车故障的频发性和多变性,促使了汽车故障诊断专家系统的研究与开发。随着汽车数量的不断增加,与之形成强烈反差的是车辆的维修与保养环节极其滞后,汽车维修质量水平低下,相关领域专家的缺少和低层次的重复建设

等等,都是研究开发汽车故障诊断专家系统的一个促进因素。

2 汽车故障诊断专家系统技术

目前已研究的故障诊断专家系统模型有:基于规则的诊断专家系统、基于实例的诊断专家系统、基于行为的诊断专家系统、基于模糊逻辑的诊断专家系统和基于人工神经网络的诊断专家系统。这些诊断专家系统的优缺点及技术要点如下。

2.1 基于规则的诊断专家系统

第一代汽车故障诊断专家系统构筑在产生式规则的基础上^[9,31]。基于规则的诊断方法是根据以往专家诊断的经验,将其归纳成规则,通过启发式经验知识进行故障诊断,适合于具有丰富经验的专业领域故障诊断。基于规则的诊断具有知识表述直观、形式统一、易理解和解释方便等优点,诊断知识的获取依赖于领域专家。但复杂系统所观测到的症状与所对应诊断之间的联系是相当复杂,通过归纳专家经验来获取规则,有相当难度,且一致性难以保证。

尽管基于规则的诊断专家系统获得初步成功,但存在知识获取困难、知识台阶窄以及控制策略不灵活等缺点。对大型规则库来说,容易产生规则匹配冲突、组合爆炸等问题,而且系统缺乏自学习能力,不适用于复杂系统或经验不足系统的故障诊断。对于大型的诊断对象,其求解过程搜索空间大,速度慢,难以实现实时在线诊断要求^[1]。

2.2 基于实例的诊断专家系统

基于实例推理(Case-based reasoning,简称 CBR)是近年来人工智能领域兴起的一种诊断推理技术,是类比推理的一个独立子类,符合人类的认知心理^[30]。简单地说,基于实例推理的依据就是相似的问题有相似的解。基于实例的诊断专家系统具有诸多优点:无须显式的领域知识;无须规则提取,降低知识获取难度;系统是开放体系,增量式学习,实例库的覆盖度随系统的不断使用而逐渐增加^[43]。基于实例的诊断适用于领域定理难以表示成规则形式,而易表示成实例的领域。

基于实例推理的关键是建立一个有效的检索机制与实例组织方式^[44]。实例匹配不仅要考虑表面特征的相似性,而且结构相似性和深层特征有时也具有同样不容忽视的作用^[45]。深层信息不仅能减小搜索空间,还可以增加匹配成功率。基于实例推理面临的另一个问题是诊断实例能否覆盖所有解空间,因为覆盖度小会导致搜索时可能会漏掉最优解,造

成误诊或漏诊。

基于实例的诊断方法难点还在于实例特征的选择、权重分配以及处理实例修订时的一致性检验(特征变量间的约束关系)问题等^[46]。

2.3 基于模糊理论的诊断专家系统

在汽车故障诊断中,存在界限不明确的模糊概念(如发动机温度“偏高”、轮胎磨损“较严重”等具有模糊性),运用模糊理论的诊断方法将更为有效。模糊诊断的实质是引入隶属函数概念,模糊逻辑以其较强的结构性知识表达能力,适合处理诊断中的不确定信息和不完整信息。

模糊故障诊断有两种基本方法^[19,32],一种是先建立征兆与故障类型之间的因果关系矩阵 R ,再建立故障与征兆的模糊关系方程,即 $F=S \cdot R$,这里 F 为模糊故障矢量; S 为模糊征兆矢量;“ \cdot ”为模糊合成算子。另一种方法是先建立故障与征兆的模糊规则库,再进行模糊逻辑推理的诊断过程。模糊诊断知识获取困难,尤其是故障与征兆的模糊关系较难确定,且系统的诊断能力依赖模糊知识库,学习能力差,容易发生漏诊或误诊。由于模糊语言变量是用隶属函数表示的,实现语言变量与隶属函数之间的转换是一个难点。

2.4 基于行为的诊断专家系统

基于行为(Behavior-based)的诊断专家系统是一种动态、模块化的诊断系统^[47]。系统的行为就是指系统从一个状态转移到另一个状态的过程,一个状态的出现是系统行为动作的结果,而状态则描述了系统的行为。通常,基于行为的诊断专家系统采用 NN 模块化单元,以确保系统与诊断对象的实时交互。这种 NN 模块化单元不同于一般基于 NN 的诊断系统,它是一种相对独立且能够动态构建故障诊断子 NN 模块单元的变结构单元。该方法同汽车电控单元 ECU 之间进行数据交互,可实现实时在线监控诊断^[9]。

基于行为的诊断专家系统的突出优点是在缺乏先验诊断知识情况下,通过与诊断对象系统行为进行交互作用,逐步学习进化,最终构成一个完善的诊断系统。因此,不必事先给出所有故障类型,极大地减轻了故障诊断专家系统开发的规模和知识获取困难问题。

开发基于行为的诊断专家系统关键问题是:故障行为征兆(语义征兆、图形征兆)的自动获取难度较大;新故障自动识别和分类,尤其是同时出现多故障,是该方法的根本突破点。

2.5 基于人工神经网络的故障诊断模型

人工神经网络(Artificial neural network,简称

ANN)具有较好的容错性、响应快、强大的学习能力、自适应能力和非线性逼近能力等,被广泛应用于汽车故障诊断领域^[33-37,54]。基于神经网络的故障诊断专家系统有两种形式:一种是使用神经网络来构造专家系统,变基于符号的推理为基于数值运算的推理,提高系统效率和自学习问题;另一种是把神经网络作为知识源的表示与处理模式,并与其他推理机制相融合,实现多模式推理。

基于神经网络的诊断专家系统是一类新的知识表达体系,不同于传统诊断专家系统的高层逻辑模型,是一种低层数值模型。其分布式联结机制,实现知识表示、存储和推理三者融为一体,在知识获取、并行推理和自适应学习等方面显示出明显的优越性^[33,54],一定程度上克服了传统诊断专家系统存在的知识获取困难、推理速度慢等问题。

目前,国内外对基于神经网络的故障诊断研究多集中于 BP 网络,尽管提出了一些改进算法^[48],以避免 BP 算法存在的收敛慢、振荡和局部极小等问题,但仍然存在一些困难。首先,训练样本的致密性、遍历性和相容性问题,对网络的诊断影响很大;其次,基于神经网络的诊断知识单一,只能进行数值化计算,忽视了领域专家在长期实践中积累的经验知识;再次,神经推理过程难以解释。BP 算法一个突出问题在于对异常类故障的处理能力低,其求解能力对样本的依赖性极大,不具备增量学习功能。1994 年在美国奥兰多首次召开了 IEEE 全球计算智能大会(WCCI),将模糊算法、神经网络和遗传算法三个领域综合在一起,利用模糊理论来处理诊断领域的模糊性问题,利用遗传算法来优化网络结构和隶属函数,有力地促进了不同研究领域之间的交叉渗透和共同发展^[47]。

3 发展趋势

3.1 基于机器学习的智能故障诊断专家系统

智能诊断系统的核心问题是它的学习能力问题^[25],知识的自动获取一直是智能故障诊断专家系统研究的难点。解决知识获取的途径是机器学习,即让机器能够在实际工作中不断地总结成功和失败的经验教训,对知识库中的诊断知识进行调整和修改,以丰富和完善系统知识^[53-57]。机器学习的方法有:基于实例的学习、基于神经网络的学习等。机器学习是提高智能故障诊断专家系统的主要途径,也是衡量一个系统智能程度的主要标志。

基于实例的学习是在系统遇到新实例时,通过分析新实例与以前存储旧实例之间的关系,获得新

实例的分类^[43]。基于实例的学习方法包括基于实例的推理过程,在实例推理各阶段的任务中,实例的回收体现了实例的学习机制。通过对结构化实例库的冗余检测,实现多实例整合、知识抽取,并建立实例索引,完成机器学习功能。

基于神经网络的机器学习是广泛应用的一种机器学习方法。该方法涉及到网络结构、学习样本、学习算法以及深层次知识抽取方法,如动态网络结构优化、改进训练算法等^[48,55]。目前常采用 BP 神经网络进行知识学习,该方法主要问题是网络结构不能改变,不能向不完全的初始规则集添加新的符号规则。

因此,发展和完善现有的机器学习方法,探索新的学习方法,建立新的机器学习系统,特别是多种学习方法协同工作的智能诊断专家系统,是研究的一个重要方向。

3.2 网络架构下的集成故障诊断专家系统

故障诊断与知识表示、处理和诊断推理方法密切相关,同时又与诊断对象领域相关联。就汽车故障诊断而言,由于汽车零部件多、相互影响,故障形式多样、表现不一,单一的知识表示、推理方法难以完成对故障的有效诊断^[30]。再者,汽车故障诊断实例来源丰富,诊断信息不完全度较高,存在许多模糊信息,知识获取的压力大,因此选择一种适合该领域诊断专家系统的知识表示和推理方法非常重要。

网络架构下的集成汽车故障诊断专家系统适合汽车领域的故障诊断要求,该集成系统以多种诊断模型融合、分布式网络体系和多媒体技术的应用而成为研究热点。

3.2.1 多模型诊断的集成

在多模型集成诊断中,基于实例、规则和模糊神经网络模型的集成诊断专家系统,是集成故障诊断专家系统的研究方向之一。诊断专家系统的集成是知识构筑方法的集成,诊断推理机制的集成,也是诊断模型的集成。在集成模型中,针对诊断对象的结构、功能和知识表述特点,系统自动选择合适的诊断模型。灵活的诊断知识表示和处理,适合多种诊断推理方式的需要,也是集成系统的特点。诊断推理机制应具有互补性,满足内在机理上的相融合,避免冗余诊断问题。

3.2.2 多媒体技术的应用

在集成诊断专家系统中,多媒体技术的应用有助于提高故障诊断的准确性和效率^[30,37]。多媒体技术利用计算机及其它电子手段传递文本、声音、图像、动画和图形信息,实现信息媒体的多样性、交

互性和集成性,从而使机器处理的信息多维化。在故障诊断系统中综合采用了声音、图像、图形、动画和视频等多媒体技术,可使整个诊断平台有着良好的人机界面和交互式的工作环境,增加了系统的易操作性和可靠性,能够提高对突发性事件的监视、识别、诊断和预报能力。

3.2.3 从单机到分布式网络诊断

汽车的运动性和故障的时发性,导致异地诊断和远程诊断的需求不断增加,汽车故障诊断由传统的诊断方式向异地诊断和远程诊断方向发展^[50]。特别是方便、快捷网络的普及,通过局域网、因特网来传输诊断信息成为一种趋势,网络架构下的集成汽车故障诊断专家系统成为研究热点。网络诊断系统实现诊断服务信息的交流和共享,达成多专家协同诊断,提高诊断的准确率和效率^[30]。

4 结 论

总之,集成系统需要解决的关键问题是:集成诊断系统中诊断模型的自动选择,模型的结构层次、知识表达能力和逻辑严谨性;推理机制的内在融合机理,避免各自为政的简单混合以及知识的灵活表示和处理等。

参 考 文 献

- 1 Gray M. Overcoming the limitations of the system architecture of on-board vehicle diagnostics. SAE Paper 940432
- 2 Zaleski J V. TECH1 interactive diagnostic tester. SAE Paper 861108
- 3 钟秉林,黄仁. 机械故障诊断学. 北京:机械工业出版社,1997
- 4 Donald S Sarna. Diagnostic equipment development for military-vehicle application. SAE Paper 780029
- 5 曾弥雅纯[日]. 美国汽车故障诊断系统的发展动向. 国外汽车,1987(5):32~36
- 6 Arunk Sood. Engine fault analysis: part1-statistical methods. IEEE,1985,32(4):327~335
- 7 Mauer G F. A method for cylinder specific engine fault diagnostics. In: Proceeding of the 1st International Machinery Monitoring & Diagnostics Conference, Las Vegas, NV 1989
- 8 Filljov, Marinov M, Ovcharov S. Engine diagnostic expert system. In: 18th International Symposium on Automotive Technology and Automation, May ~ June 1988
- 9 Gilmore J F, Roth S P. A survey of diagnostics expert

- system. Presented at SPIE Application of Artificial Intelligence V.Orlando, FL, 1987
- 10 Suk I Yoo, I L Kon Kim. DIASI : an expert system for diagnosing automobiles with electronic control units. Expert System with Applications, 1992 (4) : 43 ~ 51
- 11 Yoo S I, Kim I. DIASI : An expert system dagnosing automobiles with ECUs. Expert System with Applications, 1992(4) : 69 ~ 78
- 12 Venkat V, King C. A neural network methodology for process fault diagnosis. Journal of AICHE, 1989, 35(12) : 1 993 ~ 2 002
- 13 Marko K A, James J V, Dosdall J, et al. Automotive control system diagnostics using neural nets for rapid pattern classification of large data sets. In : Proceedings 2nd International IEEE Joint Conference on Neural Networks, 1989
- 14 Marko K A, James J V, Feldkamp T M, et al. Automotive diagnostics using trainable classifier :statistical testing and paradigm selection. In : Proc. of IJCNN, 1990
- 15 Gopinath O C. A neural net solution for diesel engine fault diagnosis : [MS Dissertation]. Sheffield : University of Sheffield, 1994
- 16 Sharkey A J C, Sharkey N E, Chandroth G O. Diverse neural net solutions to a fault diagnosis problem. Neural Computing & Applications, 1996 (4) : 218 ~ 227
- 17 Sharkey A J C. On combining artificial neural nets. Connection Science , 1996, 8(3/4) : 299 ~ 314
- 18 Brennan T Hamilton, Yi Lu. Diagnosis of automobile failures using fuzzy logic. In : The Eighth International Conference on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems, Melbourne, Australia, 1995
- 19 Yi Lu , Tie qi Chen, Brennan T Hamilton. A fuzzy diagnostic model and its application in automotive engineering diagnosis. Applied Intelligence, 1998 (9) : 231 ~ 243
- 20 Staszewski W J, Worden K. Classification of faults in gear-boxes :preprocessing algorithms and neural networks. Neural Computing & Applications, 1997 (5) : 160 ~ 183
- 21 Janice M Lukich, Wayne D Brandt. Integrated Diagnostics for the Vehicle System. SAE 912683
- 22 Autar P K. 柴油机自诊断专家系统. 国外内燃机, 1997 (4) : 42 ~ 50
- 23 Hirpal Gelgele, Kesheng Wang. An expert system for engine fault diagnosis : development and application. Journal of Intelligent Manufacturing, 1998 (9) : 539 ~ 545
- 24 Pisu, Pierluigi. Hierarchical model-based fault diagnosis with application to vehicle systems. Computers in Industry, 2002 (4) : 325 ~ 334
- 25 Groundspenkis J. Causal domain model driven knowledge acquisition for expert diagnosis system development. Journal of Intelligent Manufacturing , 1998 (9) : 547 ~ 558
- 26 Ong S K, An N, Nee A Y C. Web-based fault diagnostic and learning system. Int. J. Adv. Manuf. Technol. , 2001 (18) : 502 ~ 511
- 27 郑小军, 杨叔子. 汽车发动机诊断专家系统 AEDES. 自动化学报, 1990, 16(5) : 65 ~ 69
- 28 Zheng X J, Yang S Z A knowledge-based diagnosis system for automobile engines. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 1988 (3) : 136 ~ 145
- 29 冯建农, 赵铭. 汽车故障诊断专家系统开发环境研究. 汽车工程, 1991, 13(2) : 81 ~ 88
- 30 张代胜, 王悦, 陈朝阳. 融合实例与规则推理的车辆故障诊断专家系统. 机械工程学报, 2002, 38(7) : 91 ~ 95
- 31 崔林, 杨铁皂, 米对柳, 等. 汽车发动机点火系统故障诊断专家系统的开发. 洛阳工学院学报, 1998, 19(3) : 40 ~ 43
- 32 贾继德, 姜斯平. 基于模糊关系矩阵推理的发动机故障诊断专家系统. 内燃机工程, 1999, 20(3) : 64 ~ 69
- 33 陈朝阳, 张代胜. 神经网络技术在汽车故障诊断专家系统中的应用. 合肥工业大学学报, 2000, 23(1) : 28 ~ 31
- 34 郭晓汾, 邹国平. 关于神经网络技术的故障诊断专家系统的研究. 中国公路学报, 1998, 11(4) : 106 ~ 110
- 35 方晓斌, 何勇. 基于模糊神经网络的汽油发动机故障诊断专家系统的研究. 上海交通大学学报(农业科学版), 2001, 19(2) : 105 ~ 111
- 36 燕学智, 钱耀义. 基于神经网络技术的发动机故障诊断系统. 内燃机工程, 2001, 22(1) : 78 ~ 81
- 37 何勇, 鲍一丹. 基于神经网络的发动机故障多媒体诊断专家系统. 内燃机学报, 2001, 19(3) : 245 ~ 248
- 38 姜斯平, 贾继德. 基于分类框架结构的汽车故障诊断专家系统. 农业机械学报, 1999, 30(4) : 56 ~ 61
- 39 吕红兵, 罗智中. 汽车发动机故障诊断模糊专家系统研究. 内燃机工程, 1999, (4) : 6 ~ 10
- 40 Buchanan B G, Shortliffe E H. Rule-based expert systems : the MYCIN experiments of the stanford heuristic programming project. MA : Addison-Wesley : Reading, 1984
- 41 Adams J B. Probabilistic reasoning and certainty factors, rule-based expert systems. MA : Addison Wesley Publishing Company, Reading, 1985
- 42 J de Kleer, Williams B C. Diagnosis multiple faults.

- Artificial Intelligence, 1987 (32) : 97 ~ 130
- 43 Aamodt A , Plaza E. Case-based reasoning : foundational issues, methodological variations and system approaches. AI Communications, 1994, 7(1) : 39 ~ 59
- 44 F'eret M P, Glasgow J I Combining case-based and model-based reasoning for the diagnosis of complex devices. Applied Intelligence, 1997 (7) : 57 ~ 78
- 45 赵卫东, 李旗号, 盛昭瀚. 基于案例推理的决策问题求解研究. 管理科学学报, 2000, 3(4) : 29 ~ 36
- 46 F'eret M P, Glasgow J I. Hybrid case-based reasoning for the diagnosis of complex devices. In : Proceedings of AAAI-93, Washington, D C , July 1993 : 168 ~ 175
- 47 周东华, 叶银忠. 现代故障诊断与容错控制. 北京 : 清华大学出版社, 2000
- 48 鲍其莲, 张炎华, 米荣. 模糊神经网络的局部调整快速算法. 上海交通大学学报, 1998, 32(8) : 1 489 ~ 1 491
- 49 Chao C T. Simplification of fuzzy-neural systems using similarity analysis. IEEE Transaction on systems man, and cybernetcs-part B : cybernetcs , 1996, 26(2) : 754 ~ 765
- 50 Soliman Ahmed. Integrated power train diagnostic system linking on-and off-board diagnostic strategies. SAE Paper 960627
- 51 Luka J, Stubhan F. Mobile diagnosis. In : IEEE International Vehicle Electronic Conference, ChangChun, China, 1999 : 215 ~ 220
- 52 张俊智, 王丽芳, 葛安林, 等. 汽车集成诊断系统, 中国公路学报, 1998, 11(1) : 115 ~ 118
- 53 Maureen Francis Mascha. The effect of task complexity and expert system type on the acquisition of procedural knowledge some new evidence. International Journal of Accounting Information Systems , 2001 (2) : 103 ~ 124
- 54 卫绍元, 张蕾. 基于神经网络的汽车故障诊断专家系开发中的问题研究. 公路交通科技, 2001, 18 (2) : 24 ~ 28
- 55 李绍滋, 李堂秋. 一种新型 BP 网络算法及其在故障诊断专家系统中的应用. 厦门大学学报(自然科学版), 1999, 38(2) : 186 ~ 192
- 56 倪志伟, 蔡庆生, 史东辉. 神经网络专家系统及其数据挖掘技术的探讨. 系统工程学报, 2001, 16(1) : 65 ~ 61
- 57 徐玉秀, 任立义, 钟建军. 基于专家系统与神经网络集成的故障诊断的应用研究. 振动与冲击, 2001, 20(3) : 32 ~ 34

PRESENT STATE AND PERSPECTIVES OF AUTOMOTIVE FAULT DIAGNOSIS EXPERT SYSTEM

*Chen Chaoyang Zhang Daisheng Ren Peihong
(Hefei University of Technology)*

Abstract : The development course of automotive fault diagnosis expert system and its current development situation are reviewed. After having analyzed the intelligent models of fault diagnosis expert system, the advantages and the limitation of all sorts of intelligent model are pointed out. In the end, the trend for the development of the fault diagnosis expert system is presented.

Key words : Automobile Fault diagnosis Expert system
Present state and perspectives

作者简介:陈朝阳,男,1952年出生,合肥工业大学副校长,教授。主要从事汽车动力学与故障分析等方面的研究,发表论文 30 余篇。