

上海大学出版社

2005年上海大学博士学位论文 5



面向复杂设备的远程智能诊断 技术及其应用研究

- 作者：韩彦岭
- 专业：机械设计及其理论
- 导师：方明伦 陈云



2005 年上海大学博士学位论文 5

面向复杂设备的远程智能诊断 技术及其应用研究

作 者：韩彦岭
专 业：机械设计及理论
导 师：方明伦 陈 云

上海大学出版社

· 上 海 ·

上海大学

本论文经答辩委员会全体委员审查,确认符合
上海大学博士学位论文质量要求.

答辩委员会名单:

主任:	金 焯	教授,上海交通大学	200030
委员:	陈炳森	教授,同济大学	200092
	王 坚	教授,同济大学	200092
	顾长庚	教授级高工,上海生产力促进中心	200092
	李蓓智	教授,东华大学	200051
导师:	方明伦	教授,上海大学	200072
	陈 云	教授,上海财经大学	200433

评阅人名单:

马登哲	教授,上海交通大学	200030
严隽薇	教授,同济大学	200092
瞿兆荣	教授,华东计算机所	200062

评议人名单:

林财兴	教授,上海大学机械工程学院	200072
俞 涛	教授,上海大学	200072
叶洪根	教授级高工,上海电器研究中心	200030
蒋祖华	教授,上海交通大学	200030
陈炳森	教授,同济大学	200092
顾 宁	教授,复旦大学	200433

答辩委员会对论文的评语

韩彦岭同学的博士学位论文《面向复杂设备的远程智能诊断技术及其应用研究》，将知识工程、人工智能、分布式系统理论与技术融入复杂设备故障诊断领域，研究基于知识的智能诊断相关理论、技术与系统构建方法。选题具有重要的学术意义和实用价值。其主要研究成果如下：

(1) 提出了基于开放式公共服务平台的复杂设备智能诊断系统体系架构，集中体现了资源共享、协同决策、知识集成的服务思想，为构建远程智能诊断系统提供了理论基础；

(2) 在深入研究基于知识的远程智能诊断的基础上，建立了智能诊断双循环知识链模型，具有创新性。

(3) 创新性地提出了支持智能诊断过程的多视图分析方法，多角度地分析智能诊断过程组织原理，提出了基于知识链的智能诊断自组织过程实现策略，从知识驱动、知识链管理、自组织过程规划的角度探讨其实现过程。

(4) 构建了基于开放式公共服务平台的系统框架，完成了原型系统开发，并以印刷包装机械设备为对象进行了初步验证。

论文条理清楚，立论正确、文字流畅，表明作者已经掌握了本学科坚实宽广的基础理论和系统深入的专业知识，已具有独立从事科学研究工作的能力。达到了博士学位论文要求。答辩过程中，叙述清晰，回答问题正确。答辩委员会通过无记名投票，一致同意通过韩彦岭同学的博士学位论文答辩，并建议授予工学博士学位。

答辩委员会表决结果

经答辩委员会表决,全票同意通过韩彦岭同学的博士学位论文答辩,建议授予工学博士学位.

答辩委员会主席: **金 烨**

2004 年 11 月 18 日

摘 要

以制造业全球化、市场竞争激烈化为趋势的制造业发展大环境下,制造企业要赢得竞争,产品质量是核心,优质服务是保障.为适应制造业的发展趋势,企业服务的理念从内容到形式得到进一步扩展.故障诊断对于降低生产事故、减少经济损失、提高产品附加值、增强企业竞争力具有重要意义,成为现代企业服务的重要组成部分和研究热点.随着现代设备日益向高速度、高效率、复杂化、网络化方向发展,传统的服务方式和故障诊断技术越来越难以满足设备诊断的要求,远程化、智能化成为故障诊断研究领域的一个重要发展方向和必然趋势.本文通过对比,分析了传统故障诊断研究在技术、方法上存在的不足和局限,提出建立基于开放式公共服务平台的智能故障诊断系统体系结构,把知识工程、人工智能、分布式系统理论与技术融入复杂设备故障诊断领域,研究基于知识的智能故障诊断技术及相关理论和系统架构.

论文首先研究远程智能故障诊断系统总体架构,通过分析复杂设备故障诊断的特点及传统诊断模式的局限性,提出建立开放式公共技术服务平台,实现广域范围内技术、资源、知识的共享与集成,阐述系统体系特征与系统实现的关键技术,为远程智能故障诊断的顺利实施提供理论和方法上的支持与保证.

在研究系统总体框架的基础上,指出基于知识的智能故障诊断是本文的核心研究内容.从信息、知识、智能三者辩证关系的角度,从智能行为与自组织本质的内在相似性的论证出发,研究智能故障诊断的原理和自组织过程规划机制,从任务分解、过程双约束、知识链的形成研究分层的故障定位原理,详细

阐述了智能诊断的自组织过程。

拥有知识是智能系统的重要标志,知识的数量和质量是决定智能系统性能的关键因素,由此知识获取成为基于知识的智能诊断系统的重要研究内容.传统故障诊断方法中由于知识获取的“瓶颈”,成为系统进一步向智能化、自动化方向发展的障碍.在分析复杂设备故障诊断信息特征的基础上,提出一种改进的数据挖掘过程模型,应用数据挖掘的相关技术实现诊断知识发现与自动获取,并通过实例对上述方法和过程进行了可行性与实用性验证,从理论和技术上解决了智能诊断技术发展过程中的“瓶颈”问题。

研究智能故障诊断实现过程,分析支持智能故障诊断的多个视图,从结构、行为、知识和约束四个侧面全方位、多角度剖析故障诊断过程内部信息、知识、智能的组织和运行模式,将多代理技术引入到智能故障诊断的实现过程中,从知识表达、推理技术、基于多代理的资源调度及优化等方面阐述智能诊断的自组织过程实现策略。

决策和评价是诊断过程中密切相关的两项工作,论文提出支持智能故障诊断的决策目标和对应的决策模型,建立诊断评价的指标体系及评价模型,系统地论述模糊层次评价和多层次灰色关联分析评价方法,并以此为基础进行综合评价,为智能故障诊断的方案优选提供决策支持。

最后,在开放式公共服务平台环境下,研究支持智能故障诊断的原型系统构建方法,提出系统实现的关键技术及解决途径.以大型印刷包装机械设备为应用对象,进行原型系统的应用验证和应用效果分析。

关键词 远程服务,智能诊断,数据挖掘,多代理技术,开放式公共服务平台,自组织过程规划,知识链,资源优化调度,模糊层次评价,多层次灰色关联分析

Abstract

Under the environment of manufacturing development which trends to global manufacture and fierce competition, if the manufacture enterprises want to win victory, product quality is the kernel and high quality service is the guarantee. In order to adapt above manufacturing trend, both the content and the form of enterprise service are extended. Fault diagnosis means importance to decrease accident, to descend economy loss, to increase added value, and to enhance competition in the production, so it becomes significant ingredient and research emphasis of enterprise service. With the development of modern equipment towards high speed, high availability, complication and networking increasingly, it is more and more difficult for traditional service mode and fault diagnosis technology to meet the request of equipment diagnosis, remote and intelligent diagnosis become an important research direction and necessary tendency. By analyzing the shortage and limit of traditional diagnosis in the way of technology and method, this paper brought up to construct open public service platform, melted the knowledge engineer and artificial intelligence and distributed theory into fault diagnosis field, and researched the intelligent diagnosis technology based on

knowledge and relevant theory and system architecture.

Firstly, the architectural structure of the remote and intelligent diagnosis system is researched. By analyzing fault characteristic of complicated equipment and limitation of traditional diagnosis mode, the idea of constructing open public service platform was brought forward to realize sharing and integration of technology, resource and knowledge, and the system architecture characteristic and critical technology of realization were exhausted in order to provide technology support and guarantee for the successful execution of remote and intelligent diagnosis.

On the basis of research on architectural structure of the system, intelligent diagnosis based on knowledge was brought up as the kernel content of this paper. From the view of dialectical relationship among information, knowledge and intelligence, and from the demonstration of the internal similarity between intelligent behavior and self-organizing, the principle of intelligent diagnosis and self-organizing process planning mechanism was researched. The stratify location principle of fault was researched and self-organizing process of intelligent diagnosis was expanded on from the aspects of task decomposition, process double restraint and the forming of knowledge chain.

The important marking of intelligent system is in possession of knowledge, the quantity and quality of knowledge are the key factors to decide the performance of intelligent system, so knowledge access become important

contents of intelligent diagnosis system. Because of the bottleneck problem of knowledge access in traditional fault diagnosis, it becomes obstacle of system development towards intelligence and automatization. On the basis of analyzing fault diagnosis information of complicated equipment, this paper brought forth improved process model of data mining, researched the associated technology of data mining for knowledge access of complicated equipment, and made application verification of feasibility and practicality by instances, and settled above bottleneck problem from theory and technology.

The realization process of intelligent diagnosis were researched and the multiple views supporting intelligent diagnosis were analyzed, in which the organization and run mode among internal information, knowledge were dissected from multiple sideways including structure, behavior, knowledge and constraint. Multi-agent technology was introduced into the realization of intelligent diagnosis, and the self-organizing process realization strategy of intelligent diagnosis was exhausted from the aspects of knowledge express, reasoning technology and resource dispatch and optimization based on multi-agent, and so on.

The decision-making and estimation were two closely-related contents of diagnosis process, the decision-making target and corresponding decision-making model were brought up which supported intelligent fault diagnosis, the indicator system and evaluation model of fault diagnosis were

established, the synthetical estimation method based on fuzzy hierarchy estimation and multi-hierarchy gray relationship analysis was expounded systematically, and the decision-making support was expounded for scheme choose of intelligent fault diagnosis.

Finally, under the environment of open public service platform, the construction method of prototype system was researched in order to support intelligent diagnosis, the key technology and solution of system realization are brought up. Taking large-scale printing and package machine as application object, this paper made application verification and effect analysis of prototype system.

Key words Remote Service, Intelligent Diagnosis, Data Mining, Multi-Agent Technology, Open Public Service Platform, Self-Organizing Process Planning, Knowledge Chain, Priority Scheduling of Resource, Fuzzy Hierarchy Estimation, Multi-Hierarchy Gray Relationship Analysis

目 录

第一章 绪论	1
1.1 课题背景及其研究意义	1
1.2 故障诊断技术的研究现状及发展趋势	8
1.3 故障诊断技术的研究基础	14
1.4 论文的主要研究内容及结构	18
1.5 本章小结	22
第二章 远程智能诊断系统总体架构	23
2.1 复杂设备故障的内涵及其诊断原理	23
2.2 故障诊断模式的变革	29
2.3 基于开放式公共服务平台的故障诊断模式	33
2.4 远程智能诊断系统的总体架构	37
2.5 本章小结	45
第三章 基于知识的智能故障诊断技术	46
3.1 智能理论的哲学思考	46
3.2 故障诊断方法概论	49
3.3 智能行为的自组织描述	53
3.4 智能故障诊断原理和自组织规划	57
3.5 本章小结	66
第四章 基于数据挖掘的故障诊断知识获取	67
4.1 知识获取技术	67
4.2 数据挖掘技术研究	69
4.3 基于数据挖掘的知识获取技术	79

4.4 本章小结	93
第五章 智能故障诊断过程研究	94
5.1 故障诊断过程	94
5.2 支持智能故障诊断过程的多视图分析	95
5.3 智能故障诊断过程实现策略	108
5.4 本章小结	124
第六章 智能故障诊断决策模型与评价方法	125
6.1 决策与评价	125
6.2 智能故障诊断决策模型	128
6.3 智能故障诊断评价的指标体系	130
6.4 智能故障诊断的模糊层次评价	133
6.5 灰色关联评价方法	140
6.6 综合评价过程及实现	147
6.7 本章小结	151
第七章 应用案例与分析	152
7.1 引言	152
7.2 智能故障诊断原型系统开发	153
7.3 智能故障诊断系统关键技术及应用实例	160
7.4 应用效果分析	173
7.5 本章小结	174
第八章 结论与展望	175
8.1 论文研究成果	175
8.2 进一步研究方向	177
8.3 本章小结	178
参考文献	179
致谢	192

第一章 绪 论

随着世界经济一体化、企业全球化和设备供需关系的国际化,制造业的新格局已经初步形成,市场经济条件下的产品竞争日趋激烈.现代制造企业要想在不断变化的市场环境下取得竞争优势,在提高产品质量的同时,为设备的安全和有效运行提供全面、优质的服务,已成为增强产品市场竞争力的关键环节和有效手段.制造企业向敏捷制造、智能制造发展的趋势,对设备服务领域提出了自动化、智能化方向发展的要求.远程智能故障诊断技术的研究顺应这一发展要求,为故障诊断走向自动化、智能化提供有力的技术支持.

1.1 课题背景及其研究意义

1.1.1 课题研究背景及来源

1.1.1.1 研究背景

现代技术,尤其是信息技术与网络技术的迅速发展,世界制造业发生了重大变化,制造业全球化、市场竞争激烈化成为制造业发展的趋势^[1],制造业全球化主要表现在企业制造的分散化以及客户和设备供应商的国际化,这就要求不同企业之间、同一企业不同协作组织之间、企业与设备供应商之间以及企业与客户之间协同工作、共享信息;市场竞争激烈化使制造业从传统的单一工厂、单一设备为主的竞争转变为完全协约化分散工厂为主的相互合作生产体系之间的竞争,生产的竞争从以产品及生产力为主的相互市场竞争逐渐转变到以顾客需求为主的生产体系的竞争,生产的制造哲学从以产品和机器为主的制造基础转变为以产品的生命周期及服务为主的制造基础.因此,21 世纪的制造业,优良的服务和高品质的产品质量一起成

为制造企业在市场竞争中获胜的关键。

制造业的上述发展趋势,使企业对产品服务的形式从原来人工现场服务的单一模式逐渐转变成为贯穿整个产品生命周期的远程服务模式。在 market 分析和产品概念设计阶段,企业通过对用户的追踪调查以及对潜在用户消费趋势分析,准确把握未来市场需求以及产品的改进、创新点;在产品 design 阶段,客户通过企业的远程服务系统,直接或间接参与新产品的设计与开发,以保证企业新产品的 design 能更好地满足客户化需求;在产品制造阶段,客户通过电子化手段了解自己订单的完成进度;在产品销售阶段,客户通过网络更好的了解产品价格、性能与特征,辅助做出购买决策;在产品售后技术支持阶段,企业提供全方位安装调试、产品维护与维修以及人员操作培训等服务,通过计算机网络远程进行参数设置、调试等工作,以远程多媒体教学方式进 行互动式虚拟工作现实的培训,以迅速提高用户设备使用与操作能力;在产品回收阶段,制造商通过建立远程服务系统,保存产品的历史档案,和客户共同承担对设备进行重用或回收的责任,以达到绿色制造的目标^[2]。

同时,随着现代科学技术的进步和生产的发展,现代企业的生产设备日益向大型、复杂、精密和自动化方向发展^[3],具体表现为:一、设备功能增多,各工作单元间的关系日趋复杂,影响设备安全和工作性能的因素越来越多;二、设备结构日趋复杂,规模庞大,造价也越来越高;三、设备日益向系统极限效率与速度方向发展,安全隐患增多,机电故障、连锁影响造成的损失十分惊人;四、现代设备与生产系统在国民经济的发展和社会物质财富的生产中,扮演着越来越重要的角色,影响面广。一旦设备发生故障,将影响到整个生产系统的安全稳定运行,严重影响生产效率的提高,造成重大经济损失,因此现代企业对生产设备的监测与故障诊断系统的研究变得十分必要,成为企业远程服务的重要组成部分。

现代检测技术、计算机技术和电子技术的发展为故障诊断技术的研究和应用提供了有力的技术支持,推动了现代故障诊断技术的

发展,高度集成、融合多学科技术的现代生产设备对故障诊断技术本身也提出了更高的要求,20世纪80年代中期以后,人工智能理论的迅猛发展,使得以传感器技术为基础,以信息处理技术为手段的现代设备诊断技术开始向基于知识的智能故障诊断技术方向发展,并取得了一定的成就.从现有研究成果分析^[4],目前的智能故障诊断技术还存在着如下方面的不足:缺乏统一的知识体系、概念体系和系统化的理论基础,缺乏知识自动获取和自适应能力,还不具备将诊断对象看作一个整体,进行并行诊断的能力,从理论和实践上看,系统离真正走向实用还存在较大的差距;同时,客户和制造商的全球化分布,传统的依靠技术人员出差的服务方式已经不能满足现代市场竞争的需要,促使人们寻求新的诊断方法、服务模式来实现设备故障的远程诊断,以提高自身竞争力.

1.1.1.2 课题来源

“面向复杂设备的远程智能诊断技术及其应用研究”课题的提出,一方面基于以上研究背景,另一方面来源于“上海市电气集团总公司信息化工程建设实施方案”的应用需求.

上海电气集团是中国最大的发电设备和大型机械设备设计、制造、销售的企业集团,其业务内容涵盖了中国机电设备制造的所有领域,属于典型的分散化集团企业.总公司在加快企业信息化工程建设项目中,开展对传统产业和产品的调整与改造,以期提高新产品研制的速度和技术含量,实现企业内外部资源的优化配置,加强企业与客户之间的联系,为客户提供优质高效服务,全面提高企业的综合竞争力.

上海印刷包装机械事业部隶属于上海电气集团总公司,主要从事印刷包装机械的研制和开发,拥有众多国内外一流的印机企业,产品门类齐全,远销海内外许多国家和地区.印刷包装机械产品的多样化、复杂化使得这类设备的故障诊断也变得十分复杂,单靠客户自身的力量来解决设备运行中出现的问题已经变得越来越困难.企业产品的全球销售,遍布的客户群成了企业的重要资源,因此,怎样对设备运行过程中的设备状态和出现的故障进行远程诊断,如何满足客