

机械设备预维修诊断方法举例^①

徐振¹, 黄银娣^{1,2}

¹(南京林业大学 汽车与交通工程学院, 南京 210037)

²(德国德累斯顿工业大学 机械院物流与工作系统研究所, 德累斯顿 01187)

摘要: 首先介绍预维修诊断系统的概念; 然后介绍了两种机械设备预维修诊断的方法——专家系统故障诊断法和基于数值特征识别的故障诊断方法, 并对这两种方法做出比较; 最后给出这两种诊断方法的应用举例。

关键词: 机械设备, 预维修, 诊断方法, 算法

Diagnostic Application of Machinery Equipment Condition-Based Maintenance (CBM)

XU Zhen¹, HUANG Yin-Di^{1,2}

¹(Department of Automobile and Transportation Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

²(Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme, TU Dresden, Dresden-Plauen 01187, Germany)

Abstract: This paper introduced the concept of CBM and illuminated two diagnostic applications of machinery equipment CBM. One is Expert System Diagnostic, and the other one is Numerical Feature State Recognition Method. It compared the two methods. In the end, it showed some example of CBM diagnostic system.

Key words: machinery equipment; CBM; diagnostic; arithmetic

1 前言

机械设备预维修诊断系统需要大量的经过分类处理之后的历史数据作为诊断依据, 还需要相关电子元件来检测系统的实时状态, 最后根据状态参数来判断目标系统的可靠性。由于需要 1 获取系统设备的运行状态参数, 并且预维修故障的范围直接与可以获取的状态参数的数量及质量密切相关, 也就是说某一故障可由一个或一组特征参数反映, 某一特征参数也可同时参与反映多个故障。但是, 预维修诊断系统开发的重点在于故障诊断的方法的选择。

2 机械设备预维修诊断系统方法类型

目前关于机械设备预维修故障诊断的方法主要有基于统计学的故障预测方法、基于智能预测的故障预测方法和基于数值特征识别的故障预测方法三种。

基于统计学的故障预测方法根据历史数据的变化规律, 寻找自变量与因变量之间的关系, 确定模型参数, 据此做出预测。虽然此方法比较成熟, 预测过程

简单, 但预测模型误差较大, 外推特性差, 而且该方法还要求样本量大且有较好的分布规律, 所以并不适合于现代机械维修技术的发展趋势。

基于智能预测的故障预测方法根据先进的建模方法(例如遗传算法、神经网络算法、模糊算法等)建立故障模型, 据此做出故障预测。虽然此方法需要较长时间原始资料的积累和模型修正, 开发周期长, 但是对于那些没有精确数学模型或很难建立数学模型的复杂系统, 特别在非线性系统领域被认为是一种很有前景的方法, 目前典型的应用就是专家系统故障诊断法。

基于数值特征识别的故障诊断方法根据提取到的少数关键机械设备信号来判断整个系统的运行状态, 这种方法使得在研究复杂问题时可以只考虑少数几个信号, 却不至于损失太多信息, 从而更容易抓住主要矛盾, 揭示事物内部变量之间的规律性, 同时使问题得到简化, 提高分析效率。

所以本文主要介绍专家系统故障诊断法和基于数

① 基金项目:江苏省高等教育自然科学基金(09KJD580005);江苏省公派留学基金(德国)

收稿时间:2011-04-20;收到修改稿时间:2011-05-30

值特征识别的故障诊断方法。

2.1 专家系统故障诊断方法

专家系统故障诊断法被认为是在计算机内依据专家的经验建立的基于知识的系统，这个系统能够提供智能的给出故障诊断建议或者对故障处理功能做出智能的决策^[2]，专家系统结构图如图 1 所示。

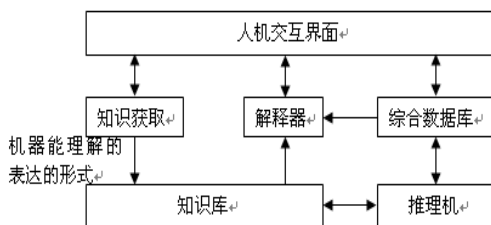


图 1 专家系统结构图

人机交互界面是系统与用户进行交流时的界面，通过该界面，用户输入基本信息、回答系统提出的相关问题，并输出推理结果及相关的解释等。

知识获取是专家系统知识库是否优越的关键，通过知识获取，可以扩充和修改机械设备故障知识库中的内容，也可以实现自动学习功能。

综合数据库专门用于存储推理过程中所需的原始数据、中间结果和最终结论，往往是作为暂时的存储区。

解释器能够根据用户的提问，对结论、求解过程做出说明，因而使专家系统更具有可读性。

推理机针对当前问题的条件或已知信息，反复匹配知识库中的规则，获得新的结论，以得到问题求解结果。其中，推理方式可以有正向和反向推理两种，正向推理是从前提匹配到结论，反向推理则先假设一个结论成立，看它的条件有没有得到满足。推理精度是影响专家系统结果的重要因素，目前基于神经网络的推理、基于案例的推理及基于模糊诊断的推理等方法有效提高了诊断推理的精度。

机械设备预维修诊断专家系统的基本工作流程是：用户通过人机界面回答系统关于机械设备状态的提问，推理机将用户输入的信息与机械设备故障知识库中各个规则的条件进行匹配，并把被匹配规则的结论存放到综合数据库中，最后，专家系统将得出最终结论呈现给用户。

2.2 基于数值特征识别的故障诊断方法

基于数值特征识别的诊断方法的诊断包括机械设备信号测取、征兆提取和状态识别三个主要步骤。首

先为获得诊断信息信号，其中最主要的获取方式是通过拾振器拾取机械系统的振动信号；然后对诊断信息进行预处理和分析，包括滤波、A/D 转换以及数字信号的预处理等；最后对系统的状态进行识别，常用的数值特征识别方法有基于信号数值特征分析的方法，例如时域模型识别法、频域识别法、逻辑推理法、距离函数分类法、灰色模型关联度分析法，还有基于模式识别的方法，如基于混沌特征量的状态识别、模糊识别以及神经网络识别等^[3]。

2.3 两种诊断方法比较

诊断方法	优点	缺点
专家系统	除了运用领域内的理论与常识性知识以外，还有大量专家长期实践中积累起来的宝贵经验；知识库和推理机的分离，这样知识库的修改并不影响推理机；能理解本身的推理过程，给出求解过程的推理路径，使系统易于理解。	知识获取能力需要提高；需要寻求更加准确、直观和方便的知识表示方式，是知识库向智能化方向发展；推理方法的精度问题。
数值特征识别	不仅适用于机械系统的故障诊断，而且也适用于电器、电子及控制系统的诊断；能够用于故障的时频准确定位；随着模糊理论以及混沌识别等技术的运用，数值特征识别方法应用范围有了很大的发展。	1、提取有效信号、去除干扰信号的手段还有待进一步加强；状态识别的精度以及将这些方法固化起来并转化为实用产品的技术还不完善。

3 机械设备预维修诊断方法的应用举例

3.1 用专家系统方法对机械设备预维修诊断的应用举例

文献[4]中，作者开发的专家系统推理机是基于模糊算法的，该故障预测系统主要包括预先处理程序、模糊知识库系统、模糊推理机、解释机制、用户界面等部分，其总体结构如图 2 所示。

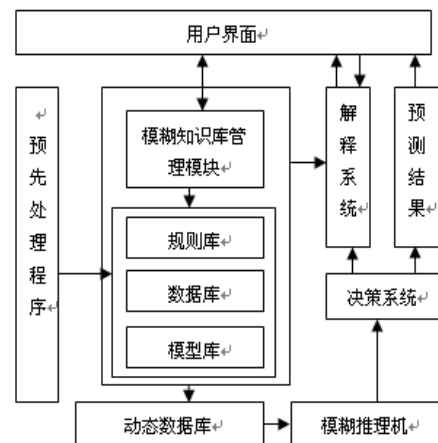


图 2 故障模糊预测系统总体结构图

模糊推理运算模型是模糊推理机进行推理所使用的工具，模糊算法的原理是通过机械设备的某些故障现象的隶属度(隶属度是指故障发生的概率)来求出各种故障原因的隶属度，以表示故障存在的可能性。应用方法是：1)建立因素集；2)建立权重集；3)建立评判集；4)单因素模糊决策；5)模糊综合决策。

运算模型的建立对系统预测的准确性有着直接的影响，下面根据模糊综合评判原理建立模糊推理运算模型。

(1) 假定所有可能发生的影响因素集 $U=\{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 为评判因素集，所有可能出现的故障点集 $V=\{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ 为评判等级集，满足 $U \cup V = U$ ，且 $i \neq j$ 时， $u_i \cap u_j = \emptyset$ 。视考察对象，每大类因素又可分为若干个子类，即 $U_i = \{u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{ip}\}$ ，其中 n 为大类(一级)影响因素， m 为评判等级的个数， p 为各个大类影响因素中子类影响因素个数。

(2) 在 U 、 V 之间进行模糊推理，建立一个从 U 到 V 的映射： $f: U \rightarrow F(V)$ ($u_i \in U$)

$$u_i \rightarrow f(u_i) = \frac{R_{i1}}{V_1} + \frac{R_{i2}}{V_2} + \dots + \frac{R_{im}}{V_m} \quad (0 \leq R_{ij} \leq 1, j = 1, 2, \dots, m)$$

其中 R_{ij} 为推理的可信度，也可以理解为按第 i 个影响因素进行推理时，因素 u_i 对第 j 个故障点的隶属度。

(3) 由 f 导出 U 、 V 之间的模糊关系，可表示为模糊评判矩阵，模糊关系矩阵应为动态矩阵，即影响因素和故障点的隶属关系应随着使用情况的改变而变化。如对 u_i 作单因素评判，确定从 u_i 到 V 的模糊关系矩阵 $R_i = (r_{ij}) n \times m$ ，于是 (U, V, R) 构成一个综合评判空间。

(4) 由于 U 中各个因素对装备故障的影响程度是不一样的，因此，在评判时每个因素的重要性程度也不同，为了使评判更具有科学性，对各个因素应分别赋予不同的权重系数，它们为 U 上的一个模糊子集 $A=(a_1, a_2, \dots, a_n)$ ，且 $\sum_{i=1}^n a_i = 1$ ，同理对 u_i 有 $A_i=(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ip})$ ，且 $\sum_{j=1}^p a_{ij} = 1$ ，最后得到模糊综合评判模型 $B=A \circ R$ 。(式中“ $A \circ R$ ”为 A 与 R 的文义模糊合成运算。对于装备的故障预测，应综合考虑各方面因素的影响，因此，合成运算宜选用“加权平均型”算子 $M(.,.)$)

3.2 用数值特征识别对机械设备预维修诊断的应用举例

文献[5]中，作者通过时频分析与神经网络实现机械设备的故障预诊断，故障诊断系统流程和操作流程分别如图3和图4所示，其中小波变换作为一种对时域和频域同时展开的分析方法，具有多分辨率分析特性。它把原始信号按频段分解成为不同尺度的若干小波系数与小波基的线性组合，因而能够从原始信号中

把隐藏在不同频段内的信号特征提取出来。并且对于非平稳信号小波分析又有很强的针对性，因此以小波变换为基础，可以拓展出非常广泛的应用领域，特别是对机械设备振动频率的分析。

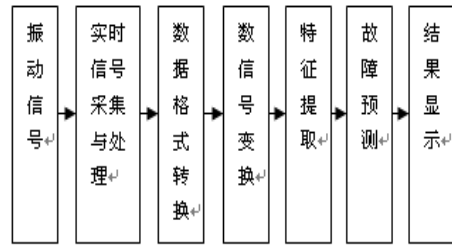


图3 文献[5]故障诊断系统流程图

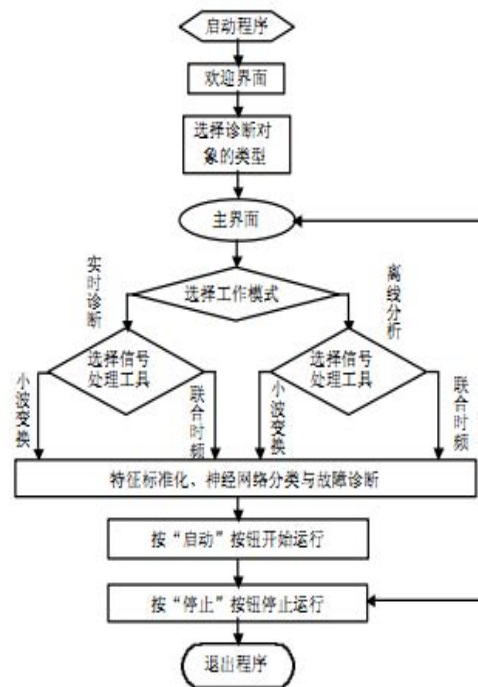


图4 文献[5]故障诊断系统操作流程

4 结论

基于专家系统故障诊断方法和基于数值特征识别的故障诊断方法是日后机械设备预维修诊断方法发展的重点，通过对这两种方法的相关研究，可以发现其应用侧重点有很大的不同，例如专家系统故障诊断法应用范围广泛，基于数值特征识别的故障诊断方法主要用于对可检测相关信号的故障诊断，所以在具体的应用过程中，很多开发人员会结合两到三种方法进行项目的开发，甚至基于一种方法拓展出一套新的方法，这样得到的新算法能满足更具体的机械设备预维修诊断要求。

(下转第230页)

而相对比较简单。

在 CIM 信息模型中定义的数据类型也有些不能简单的直接映射到 LDAP 中的数据类型,从 CIM 信息模型中定义的数据类型映射到 LDAP 中的数据类型也需要采用某种机制作一定的转换。总共有字符、日期 (datetime) 和实数等三种数据类型需要采取转换措施。在规范中, CIM 使用 USC-2 字符集, LDAP 使用 UTF-8 字符集。一般来说给定的应用环境就提供一致的字符集。虽然也有一些应用需要进行字符转换,但是在这个面向 Cluster 的信息模型中,可以直接选取 ASCII 字符集作为统一的字符集,不进行任何实际的转换动作。CIM 的日期类型用来存储时刻和时间间隔, LDAP 中使用的通用时间 (Generalized Time) 标识也可以用来存储时刻和时间间隔。当用来存储时间间隔时,二者的语义是一致的。并且它们都将日期和时间组合成一个字符串来存储。但是由于表示的精度、开始时间标识和分隔标记等不同,二者之间的转换还是不能直接进行。由于 CIM 的日期时间采用固定长度格式,所以存储时可能在空白的区域填上“*”,而通用时间格式是变长的,因而不可能出现“*”。在进行转换时,从左到右如果遇到了“*”就用“0”来代替,这样就可以完成转换。还有一个需要转换的就是开始时间标志和时间间隔的单位。需要将 CIM 的开始时间标志“0”转换为“Z”,时间间隔由小时/分格式转换为全部用分表示。最后一个需要进行类型转换的是实数。LDAP 是

一个基于字符串的协议,本身不支持实数这种数据类型,在 LDAP 中就需要用字符串来表示实数。CIM 支持 4Byte 的 32 位浮点实数和 8Byte 的 64 位浮点实数,64 位浮点实数的范围是 $1.7976931348623158e+308$ 到 $2.2250738585072014e-308$ 。这就需要 3 位十进制数来表示指数,不包括小数点 17 位十进制来表示基数。在 LDAP 中就使用固定的格式来表示实数,从左至右依次是一位标识位 (分别用 1 到 5 来表示指数和基数符号的五种情况的组合)、三位指数位、十七位基数位。每个部分之间用空格隔开,不足的位置右补 0。这样就可以在 LDAP 中唯一的表示 CIM 中的 64 位浮点实数了。32 位浮点实数的情况就可以直接由 64 位浮点实数的表示方法来进行处理。到这里就完成了从 CIM 到 LDAP 的映射。

参考文献

- 1 汤小春,胡正国,卢维扬.基于机群技术的作业管理系统.西北工业大学学报,2001,19(1):6-10.
- 2 赵明,卢文龙,郭军,常桂然.具有目录功能的网络(DEN)架构及其信息模型.小型微型计算机系统,1999,20(12):908-910.
- 3 任剑勇,肖依,黄彪.基于目录服务技术的应用开发.计算机应用研究,2001,18(5):143-148.
- 4 Neumann H. High Performace Computing (HPC) Cluster Scheduler. Linux Technology Cernter (LTC) System Management IBM, 2002.

(上接第 222)

参考文献

- 1 周大伟,何宝民,冯楠.基于预知维修技术的装备维修管理.四川兵工学报,2009,3:105-109.
- 2 王致杰,王耀才,等.现代大型设备故障智能诊断技术的现状与展望.煤矿机械,2003,(7):103.
- 3 张丽莉,储江伟,等.现代汽车故障诊断方法及其应用研究.机械研究与应用,2008,2:1.
- 4 黄景德,王兴贵,王祖光.基于模糊评判的故障预测系统研究.电子机械工程,2000,12:6:42-44.
- 5 吴勉,邵惠鹤.基于时频分析与神经网络的实时智能故障诊

- 断系统的软件设计.总体构架与实时数据采集功能的开发.系统仿真学报,2001(增刊):194-197.
- 6 印签.专家系统原理与编程.北京:机械工业出版社,2000,5:67-109.
- 7 马伦,康建设,赵强.基于 HMM 的设备剩余寿命预测框架及其实现.计算机仿真,2010,5:88-91.
- 8 王三明,蒋军成.BP 神经网络的 C++实现及其在故障诊断中的应用.南京工业大学学报,2009,23(4):372-374.
- 9 李明钊.基于神经网络的电控汽油发动机的智能故障诊断研究.昆明:昆明理工大学,2008.