

船用柴油机故障诊断专家系统知识库的构建

张 栋¹, 叶林昌¹, 王国治², 李国刚¹, 童宗鹏¹

(1. 七一一研究所, 上海 200090; 2. 江苏科技大学船舶与海洋工程学院, 江苏镇江 212008)

摘 要: 以开发某船用柴油机故障诊断系统为目标, 根据柴油机常见故障的形式及其特征, 按照专家系统设计的一般原则, 利用 C++ Builder 开发工具, 建立了专家系统及其知识库的总体结构, 包括事实库、规则库、初始数据库以及维修记录库等。利用 SQL Server 作为数据库平台, 建立数据表以及各表之间的联系, 实现了专家系统的各种功能。并用实例阐述了基于故障树的专家系统知识库的自学习功能。

关键词: 柴油机; 故障诊断; 专家系统; 知识库

中图分类号: TP311.135.9; TK428 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2011)05-0019-04

Construction of Knowledge Database of Fault Diagnosis Expert System for Marine Diesel Engine

Zhang Dong¹, Ye Linchang¹, Wang Guozhi², Li Guogang¹, Tong Zongpeng¹

(1. Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai 200090;

2. School of Naval Architecture and Ocean Engineering, Jiangsu

University of Science and Technology, Zhenjiang Jiangsu 212008)

Abstract: With the target to develop a fault diagnosis system for a marine diesel engine, the general structure of the expert system as well as its knowledge database, which includes the fact database, the rule database, the initial database, the maintenance records and so on, were built by using the development tool Borland C++ Builder. The common faults and characteristics of diesel engines were taken into consideration, as well as the general design principles of expert systems. The functions of the expert system were achieved by creating the data sheet and the relationships between each sheet by using SQL Server as the database platform. The self-learning function of the expert system knowledge database based on the fault tree is explained through an example.

Keywords: diesel engine; fault diagnosis; expert system; knowledge database

0 引 言

由船用柴油机故障所引发的海事事故, 可能导致航运船舶重大经济损失, 因此, 船用柴油机的故障诊断技术具有重要意义。由于柴油机结构的复杂性, 一个故障可以有多个故障征兆, 一个故障征兆可能由多个故障所引起^[1], 因此, 传统的故障诊

断方法难以解决该问题。随着智能技术的发展, 利用专家系统的柴油机故障诊断技术成为可能。

专家系统将设备管理和维修人员的实际经验以及专家的思维方法与计算机的强大运算能力和存贮容量相结合, 具有知识扩充以及分析方法的自我学习功能, 从而具有有效的诊断能力^[2]。

以往关于柴油机故障诊断技术的研究多数为已

知故障的诊断验证,或者是针对单一故障的诊断方法,缺乏全面、综合的故障诊断技术。本文利用 C++ Builder 以及 SQL Server 建立的专家系统,可利用柴油机各大系统的综合信息,采用多种方式结合的手段进行全面的诊断。除了实现知识库常见功能外,系统还具备自学习功能,能将柴油机日常维修信息充实到数据库中;并且对反映柴油机故障的某些重要参数进行趋势预报。

1 专家系统的需求分析

本文的研究对象是某 PA6 船用柴油机。其基本参数是:缸径 280 mm,转速 1 050 r/min。船用柴油机是一个复杂的多系统结构,要想研究整个系统的故障诊断技术,必须对系统进行分解。本文根据柴油机的各个子系统的功能和柴油机上已有的检测仪表,将柴油机的故障诊断范围分成以下几类:燃油系统、滑油系统、冷却系统、增压系统、起动系统。根据以往经验,柴油机的故障还包括其它系统如配气系统和传动系统等。本文以 PA6 柴油机最常见故障为重点,利用可以获得的各系统的数据,适当增加振动测点进行诊断。

根据用户的要求和已有的检测仪表,归纳了专家系统应具备的功能:

(1) 系统应具有分角色管理系统能力,并对各角色赋予不同的管理权限,以区分不同角色在诊断中的操作,满足专业技术人员与柴油机现场操作人员不同层次的要求。

(2) 能综合利用柴油机各大系统的信息,采用多种方式结合的手段进行全面诊断。

(3) 对知识库的操作应具有增删、修改、查询等功能,能通过某种方式实现机器的自学习。

(4) 能够对柴油机热力参数与振动参数实现在线和离线的趋势预报和报警。

2 专家系统的结构和特点

知识是专家系统的核心组成部分,是对科学领域的理解,可以分为过程性知识,元知识以及启发性知识等。知识工程主要包括知识的表示、知识的推理和知识的获取^[3]。

知识的表示通常有产生式表示法,逻辑谓词表示法,语义网络表示法,框架表示法等^[4]。

知识的获取主要有手工移植和通过视觉、触觉和听觉进行知识获取。

对于功能强大的专家系统,要求能按照设计的规则通过已有的知识进行推理学习,得到新的知

识,常见形式有确定性推理、不确定性推理、非单调推理等^[5]。

在解决实际问题时,不受环境的影响,采用启发式解题方法,利用专家的知识经验求解问题。由于知识库和推理机是分离的,增加了系统的灵活性。在一些恶劣的工作环境中如核动力工厂、空间站等需要专家作出决策时,专家系统的使用很有必要^[6]。

图 1 是本文专家系统的总结结构流程图,将传感器采集的数据通过数据处理系统,按照 CAN 总线的通信方式,传入到专家系统的数据库中。

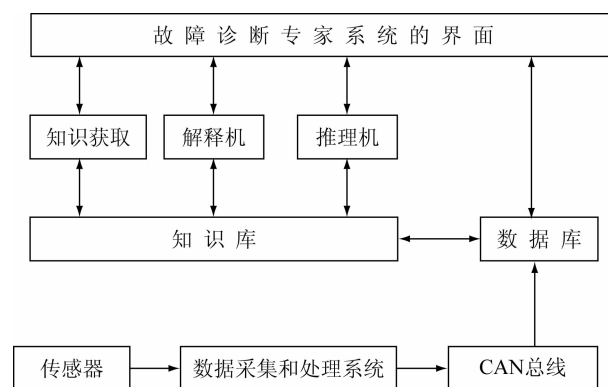


图 1 专家系统的总结结构图

3 数据库设计

本文采用的数据库是微软公司的 SQL Server 2000,与传统数据存储相比,更加系统和结构化,同时系统的运行更加安全^[7]。在人机接口界面中用到的知识库和用于保存推理过程中产生的中间结果的数据库,以及读取和存储传感器数据的数据库等,都需要在 SQL Server 中设计相应的数据表。

表 1 给出了其中一个数据表的设计参数,由于篇幅限制,后面的几个系统(滑油、冷却系统启动系统和振动信号等)的数据采集相似,不一一列举。数据库中的数据和现场采集的数据,是通过 SQL Server 中的 DTS(数据转换服务)来实现的,将采集的数据按照一定的顺序即与数据表的数据对应,存放到文本文件中,按照 DTS 向导导入数据,通过改变调度方式,可以更新数据表中的数据。

表 1 故障记录表

字段名	字段说明	类型	长度	可空
ID	系统编号	Int	4	NO
Datetime	故障诊断时间	Datetime	8	NO
Tag	所属系统	Varchar	50	NO
Descri	故障描述	Varchar	50	NO
Alarm	报警种类	Varchar	50	NO
Minvalue	最小值	Float	8	NO
Value	实际值	Float	8	NO

4 知识库设计

一个友好、实用的专家系统，除了拥有丰富的知识和准确的推理之外，用户界面是普通人与专家知识库之间进行交流的一座桥梁。本文的专家系统开发工具是 C + + Builder，使开发人员不需要太多编码，就能实现很多复杂的功能^[8]。

考虑到知识的易推理性、实用性、可靠性、可修改性、可扩充性、完整性和一致性检查，本文采用的知识表示主要以产生式表示为主，同时结合了其它的表达方式，知识的获取途径主要通过以下方式：咨询专家、现场调研、查看文献等，通过与领域专家的反复交流和探讨，尽可能多的搜集有关该柴油机的故障诊断知识。将搜集到的知识通过人工输入等方式存储到数据库中；随着系统的使用，一旦出现了系统无法诊断的情况时，询问领域专家和现场人工诊断等，将该知识整理成相应的规则存储到系统中，下次类似故障发生时，就可以实现机器诊断。

根据收集到的知识，总结了一些流程图，图 2 列举了柴油机的燃油系统故障诊断流程图，将以上框图里的知识按照一定的编码约定，以知识代码的形式储存在数据库中供调用。知识库包括事实库、规则库、对策库和初始的数据库等，下面将分别介绍。

4.1 事实库的建立

事实库的功能主要分为两个部分：事实管理和事实查询。为了方便查询，本文采用的是模糊查询即在字段值中输入某个字符，下面会显示数据库中所有与之相关的数据，如图 3 所示。在实际运行的时候，难免出现一些用户操作不当的情况，因此要设定好相应的处理错误功能，即提示用户当前操作不正确，而又不退出程序运行。

4.2 规则库建立

规则库是进行故障诊断时的重要依据，本文的规则库和事实库设计包括两个功能，即规则库管理和规则查询。规则查询和事实库中的查询思想一样，这里不作介绍。根据图 2 的流程图可以得到如下规则知识：包括规则的编号、规则的前提条件、规则的结论和结论的可信度等，由于篇幅限制，这里列举一个规则。

规则 1：（如果燃油系统的进口压力降低（F1）并且日用油箱的油位过低（F2）

可以得到低位报警故障（F3）或者分油机运转故障（F4）可信度 0.8）

为了方便把这些知识转换成机器能识别的语

言，将文字表述转换成符号，如将上述的规则转换成符号语言，存储到计算机中：

R1：（IF F1 AND F2 THEN F3 OR F4 CF 0.8）

以上的 F1 ~ F4 是用来表示事实的符号，存储到事实库中。如何把这些符号存储到规则库中，是规则管理的主要任务。考虑到规则管理以后的可扩展性，进行了冗余设计。

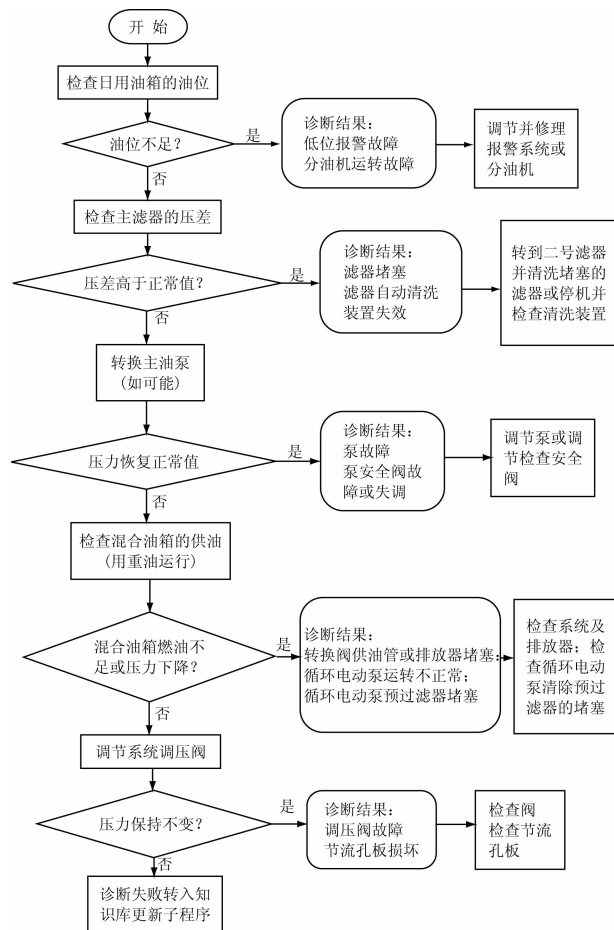


图 2 燃油系统的进口压力降低的故障诊断流程图



图 3 事实库界面

4.3 其它知识库

除了以上的知识库以外，还包括了对策库、背

景知识、初始数据库、故障解释数据库以及中间临时数据库等。

虽然知识库需要在今后的应用中逐步完善,但是本文在数据库设计之前,就将可能遇到的问题预先进行了分析处理。以规则库为例:为了防止某些错误的规则添加到规则库中,对每一条要添加的规则,均需进行校验才能加入数据库。如果校验条件不满足,需要修改后继续检验,直到检验通过后才能添加到数据库中。通过数据库的试运行,没有发现异常情况,已能实现相应的功能。

5 自学习模块的建立

目前的专家系统还没有一个真正意义上实现了自学习功能,本文的自学习功能是基于故障树的,根据故障树进行学习和推理^[9]。下面以一个实例学习为例:

图 4 是一个简单的故障树,其中 F1001 到 F1009 是事实符号,首先要把这些故障树存储到数据库中,本文采用以下方式进行存储,如表 2 所示。其中 Name 是结点的名称,对应的是故障事实;Lever 是该结点所在第几层,0 表示的是根结点;Posi 表示结点在本层的位置,由于每一层的结点数量不一定,一般从左往右从 1 依次编号;Nextleverposi 表示该结点的子结点对应下一层的位置。通过节点所在的层数和在本层的位置以及子结点对应的位置,可以确定每个结点在故障树中的位置。

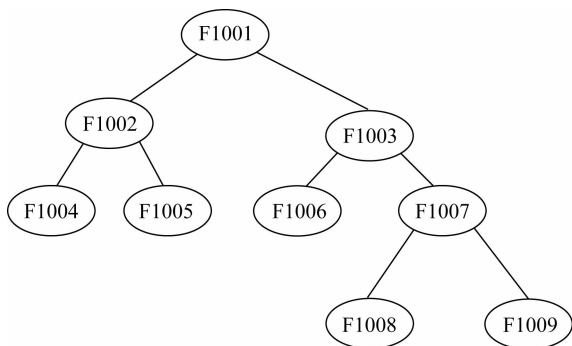


图 4 故障树

表 2 树形存储表结构

列名	类型	描述
ID	Int(4)	系统编号
Name	Char(10)	结点名称
Lever	Int(4)	结点所在的层数
Posi	Int(4)	结点本层的位置
Nextleverposi	Int(4)	子结点下一层的位置

除了学习功能以外,还有常见的添加、删除、修改功能,为了方便查看事实编号对应的事实描写

和学习结果。学习的基本编程思想是:首先确定故障树的层数,然后从第零层(根结点)开始确定该层的节点数量,通过依次查看该层的每一个结点的 Nextleverposi 的属性,如果是 0 表示没有子结点,跳过,其它数字表示该子结点在下一层的位置,查找该结点对应下一层子结点的 Name 作为学习结果的条件部分,该结点作为学习结果的结论部分。该例子的学习结果是:

```

IF F1002 AND F1003 THEN F1001
IF F1004 AND F1005 THEN F1002
IF F1006 AND F1007 THEN F1003
IF F1008 AND F1009 THEN F1007
  
```

6 结束语

本文描述了某船用 PA6 柴油机故障诊断专家系统知识库的构建。通过对柴油机典型故障的形式及其特征的分析,按照专家系统设计的基本原则,确定了系统的基本功能与结构,建立了作为专家系统核心的知识库及其管理系统。借助于 C++ Builder 以及 SQL Server 软件,开发了实用的知识库管理系统及其模块,实现了相应的功能,并且用实例说明了基于故障树的机器学习功能的实现。

参考文献

- [1] 曹龙汉. 柴油机智能化故障诊断技术研究[D]. 重庆:重庆大学,2001.
- [2] 刘道华. 机械设计专家系统开发工具的关键技术研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2006.
- [3] 卢学军, 缪思恩, 王一欧, 等. 故障诊断专家系统知识处理及知识库管理方法研究[J]. 计算机工程与应用, 2001(24): 167-169.
- [4] 蔡自兴, 约翰. 德尔金, 龚涛. 高级专家系统: 原理、设计及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [5] Dong Xu, Mei Wu, Jinwen An. Design of an expert system based on neural network ensembles for missile fault diagnosis[C]. In Proceedings of 2003 IEEE International Conference on Robotics, 2003, v2: 903-908.
- [6] 韩斌. 基于神经网络的工程机械液压故障诊断专家系统的研究和实现[D]. 西安: 长安大学, 2005.
- [7] 方盈. SQL Server 2000 中文版彻底研究[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2001.
- [8] 余昌盛, 汪晓平. C++ Builder 6 数据库系统开发实例导航[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003.
- [9] 段学燕. 基于机器学习的油液分析系统研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2006.