

设备诊断型专家系统的一种开发工具¹⁾

钟毓宁 杨叔子 桂修文

(华中理工大学机械工程一系, 武汉 430074)

摘 要

本文设计了一种用于开发诊断型专家系统的工具系统。该系统能完成知识获取、一致性检测和诊断推理等任务。它具有使用变量、常量和函数来描述领域知识、集成符号推理和数值计算等特点。该系统用 Microsoft C 5.0 语言在 IBM 微机上得以实现。

关键词: 故障诊断, 专家系统, 知识表达, 知识获取, 一致性检测。

一、前 言

对于机电设备, 专家诊断需要使用浅知识和深知识^[1], 同时还需要使用另一种重要的知识——状态知识。这些知识的一部分可以从专家或有关书本获得, 但有一部分须通过传感器获得。有些知识可以定性描述, 或直接定量描述, 但有一些知识必须经过必要的信号处理和转换才能获得。因此, 简单地使用一般的符号化方法描述这些知识具有一定的困难和局限性。笔者认为使用函数可以更好地描述诊断知识, 并为各种诊断型专家系统的开发研制了一种工具系统。

二、设备诊断领域知识模型及其表达

目前有以下几种不同组织形式的知识模型:

1) 基于浅知识的因果模型。

基于浅知识的诊断问题, 实际上就是由一组已知征兆求出产生这些征兆的故障原因。这种模型简单地采用“征兆-故障”的因果断言来组织浅知识。

2) 基于深知识的故障传播模型。

这种模型使用诊断对象的结构、性能与功能知识, 利用冲突检测和候选产生两项技术来求出已发生故障的部位。这种模型可以用一个诊断网络(或有向图)来表示^[2-4]。网络方法^[2]可以表示如下:

$$F = (S, T, \{S_i\}, D, A),$$

式中 F 为故障定位连续过程中描述某种情况的诊断网络单元; S 为情况名称; T 为测试程序, 证明这种情况的存在。它包含有一个测试程序的文本描述以及它的执行的可能结果;

本文于 1990 年 7 月 24 日收到。

1) 国家自然科学基金资助项目。

$\{S_i\}$ 为当前情况的一组后继情况(可能是直接原因); D 为选择后继情况的信息; A 为关于清除故障的动作的描述。

3) 基于深浅知识的混合模型。

第二代专家系统强调不同层次知识的统一使用。这类模型的知识组织形式可以分为深浅知识分开使用和深浅知识结合使用两大形式。

4) 基于信号分析法的知识模型。

这类问题是借助设备运行过程中的外部信号来判断设备的运行状态,可用模式识别理论加以描述: 已知样本集(即各种特征信号集) S , 分类决策空间 Q , 指标(特征量)集 F 和广义决策规则集 $R(F): S \xrightarrow{R(F)} Q$, 表示 $R(F)$ 是由样本中抽取指标 F 将样本映射到决策空间的分类判别函数。

在专家诊断过程中,上述各种模型常常是同时存在的。因此,系统应有能力描述上述各种知识。本系统提供规则、框架结构来描述诊断知识。

三、开发工具的总体结构设计

1. 开发工具的设计和实现环境

经过近年来的研究,华中理工大学已经开发了两代汽车发动机诊断系统^[5]。这些系统的开发,奠定了本开发工具的研制基础。

C 语言是正在使用的最流行的程序设计语言之一。如果要使 AI 技术实用, AI 程序就必须用 C 来写¹⁾。C 语言是过程性的通用语言,能提供比人工智能专用语言强得多的计算能力,同时 C 编译程序产生的可执行程序运行速度快、效率高。基于种种原因,选用 Microsoft C 5.0 语言来编写系统软件。

2. 总体结构设计

基于机电设备的诊断问题,设计一个与具体对象无关的专家系统的开发工具。设计的基本思想如下:

1) 为用户开发一种能较好描述机电设备领域知识的语言。系统将提供这种语言的基本描述单元。

2) 语言本身可以修改和扩充。这点是提高领域内专家系统性能的基本条件。系统将提供扩充语言的工具。

3) 人机交互性强,表达知识方便。知识获取是专家系统的一个“瓶颈”现象,知识描述语言的使用难易程度影响专家表达知识的效果。实际上,任何一种语言都有其一定的起着约束作用的法则。约束越大,语言应用越困难。为了减少语言法则的约束,系统为用户提供几个不同层次的描述语言。面向用户的语言是一种非规范化(对系统而言)的混合语言。

4) 避免或减少知识库的一些不必要的知识冗余和出错,提供知识库的一致性维护工具。出错检测主要靠两种手段。一种是系统提供查错工具,包括语法出错和知识表达错

1) 白为民、张蒙生译, C 语言与人工智能, 北京中国科学院希望电脑公司, 1988。

误；另一种是编译知识库。检错主要针对于语法错误。对于知识冗余，作者认为，可以分为形式冗余和内涵冗余。形式冗余是指同一条知识的重复表达，其表达形式可以相同或不同。而内涵冗余是指能解决同一个问题并存在于知识库的不同知识。如

规则 1. 如果，启动器不能发动；那么，发动机故障(可能性：0.8)。

规则 2. 如果，启动器有非正常噪音；那么，发动机故障(可能性：0.5)。

规则 1 和规则 2 为诊断发动机故障提供了两条途径。显然，这种冗余即内涵冗余，为在不同的已知条件下解决问题提供多种途径，对于基于知识的诊断系统是相当重要的。因此，保存内涵冗余是必要的，但关键问题在于如何组合知识库，即使知识冗余最小而系统诊断能力最优。对于这个问题，本文不做进一步讨论。系统提供的冗余性检查是以检查不必要的形式冗余为对象而设计的。

5) 系统应提供专家系统的一般机制，如诊断推理机，诊断过程的解释机制等。

在上述思想的基础上，设计系统的总体结构如图 1 所示。总体上，该系统由任务管理模块、诊断系统环境设置模块、知识库编辑和管理模块、知识库一致性检测模块、知识库启动模块、知识库启动模块、诊断推理机、诊断解释模块等所组成。

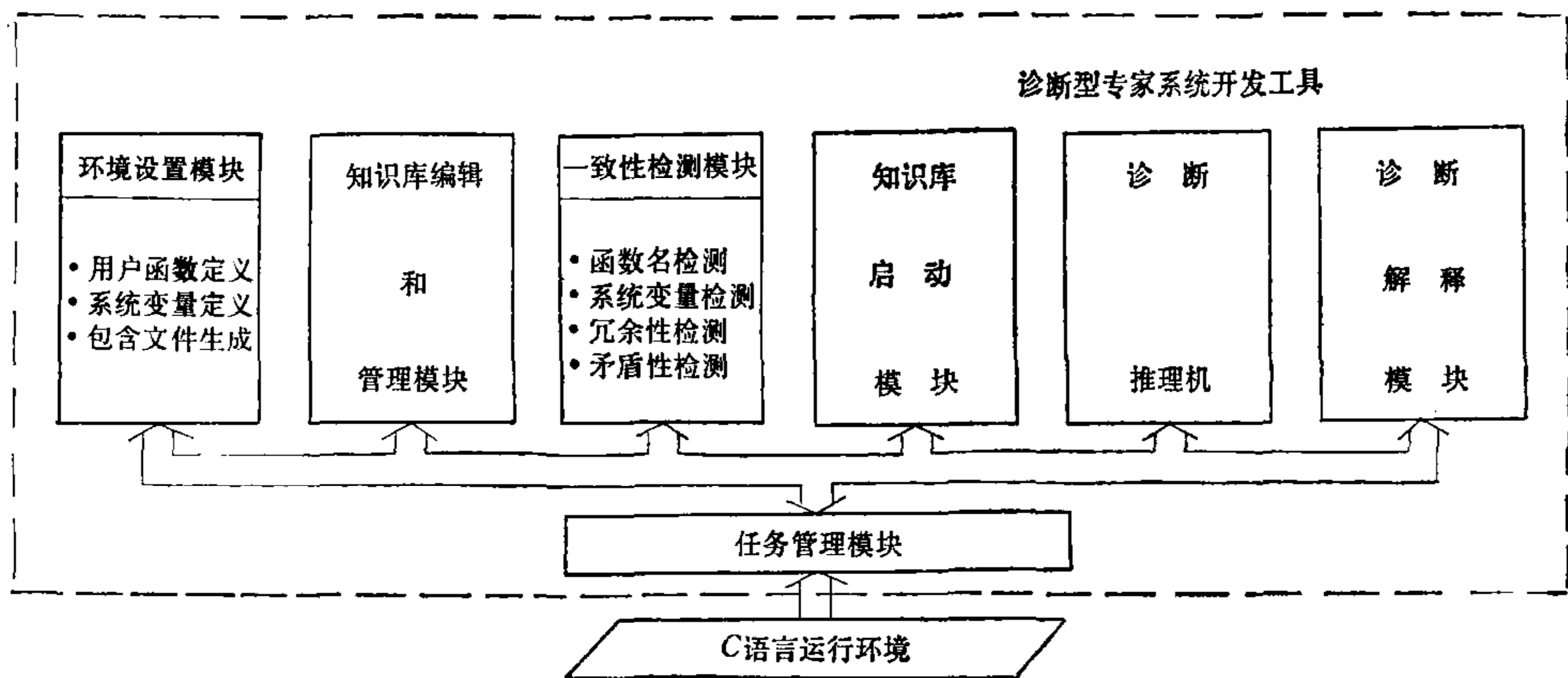


图 1 系统总体结构框图

四、系统的功能及其特点

下面按模块描述系统的功能及其特点：

1) 任务管理模块。

系统面向多种任务，要求各项任务之间的调度、信息交流及控制准确可靠。为了达到这一要求，设计了任务管理模块。该模块是由菜单驱动的一系列过程所组成，为系统工作提供良好的人机交互和运行环境。其主要功能包括：a) 人机交互和系统运行环境的建立；b) 不同工作任务项和功能模块的选择；c) 各项任务和各种功能模块之间的信息传递和控制；d) 约束和协调系统各个部分的运行，保证系统运行可靠。

2) 诊断系统环境设置模块。

系统运行是由C语言环境支撑的。知识库内知识描述形式有三个层次：最低层次是非规范化的混合语言描述，它取决于系统提供的诊断函数和用户自定义的用户函数和系统变量，系统变量取决于具体的诊断对象；中间层次是规范化的知识库语言描述，作为知识库知识形式转换的过渡形式；最高层次是C语言描述形式，为编译知识库作好准备。从上面可以看出，知识库的环境包括用户函数和系统变量的定义。环境设置模块建立知识库编辑和运行的基础。它的功能包括注册用户函数、定义系统变量，并自动建立知识库运行所需要的包含文件(.h文件)。

一旦用户函数被注册，则它们与系统提供的函数具有同样的作用。函数注册形式为：函数操作符；函数名；函数返回类型；函数参数类型列表。

函数操作符为表达知识提供一种简洁的易记的描述形式，如：“>”表示值比较。函数名定义知识表达的规范化形式。用户表达知识时可以直接使用函数名。

系统变量是能够描述与诊断对象有关的知识的基本单元。知识库使用的变量必须预先定义。知识库使用的字符型常量和数值常量不需定义，但应符合系统规定的形式，否则系统认为出错。系统变量定义形式为：变量文本描述；变量代号；变量类型。

变量文本描述说明变量的物理含义，代号说明变量表达形式。在知识库编辑中，两者能混合使用。

包含文件功能是登记函数和变量，以供知识库编译时使用。在用户函数注册和变量定义完毕后，选择建立包含文件操作，则生成用户函数包含文件和系统变量包含文件。

该环境设置模块为用户函数和系统变量定义提供了一系列操作功能，如载入内存、编辑、插入、修改、删除、显示、打印和存贮等功能。诸多的功能保证了用户操作方便。

3) 知识库编辑和管理模块。

系统提供了框架来描述知识库中系统变量的取值，其形式如下：

变量 值 1 确定性因子 1；
 值 2 确定性因子 2；
 ……
 值 n 确定性因子 n 。

这种结构较好地描述系统变量在不同确定性水平下取值的情况。

系统提供了规则结构来描述专家系统的诊断知识，其结构形式为：

规则名：(确定性因子)前提描述 (IF)；结论描述 (THEN)。

而前提描述和结论描述形式为：

函数 1 调用形式 \wedge 函数 2 调用形式 \wedge …… (“ \wedge ”为并列符号)。

编辑知识库就是利用系统提供的函数(如：返回真假值的比较函数、赋值函数等一些通用的描述诊断知识的函数)和用户定义函数以及系统变量描述诊断知识的过程。

该模块提供了一系列知识库编辑和管理的操作功能，包括载入内存、编辑、插入、显示、修改、删除、存贮和打印等。

4) 知识库一致性检测模块。

该模块是为保证知识库内知识表达正确而设置的。一种错误的表达形式会使得所描述的知识不能生效，或者导致错误的诊断动作。可见，知识的表达形式是决定知识库质量

的一个重要因素。它的主要功能包括: 检查诊断系统环境设置是否正确; 检查知识库中常量表达是否符合要求、使用的函数和变量是否存在、调用形式是否正确; 检查知识库中知识是否存在形式冗余、是否存在明显的矛盾的知识。由于矛盾性检测与诊断对象的领域知识紧紧相关, 故矛盾性检测功能是应在开发专家系统时不断扩充的。

5) 知识库启动模块。

诊断系统调用知识库内知识的形式设计为函数调用形式。知识库在被诊断推理机调用之前必须预先编译。知识库启动模块功能是将用户编辑正确的知识库转化为它被诊断推理机使用的 C 语言形式, 完成编译。在诊断中, 只有被启动的知识库才是有效的知识库。知识库的启动过程不需要用户过多介入, 只需要输入将被启动的知识库的名称即可。

6) 诊断推理机。

诊断推理机针对不同的诊断任务设计了正向推理、反向推理和正反向混合推理等三种不同的诊断推理机制。诊断推理机结构如图 2 所示。它主要由诊断推理控制器和诊断命令执行器两部分组成。诊断推理控制器类似于常规专家系统的推理机, 负责推理策略的实施。诊断命令执行器负责执行具体的诊断动作。各个部分协调和组合在一起, 形成诊断推理机完成故障诊断的任务。

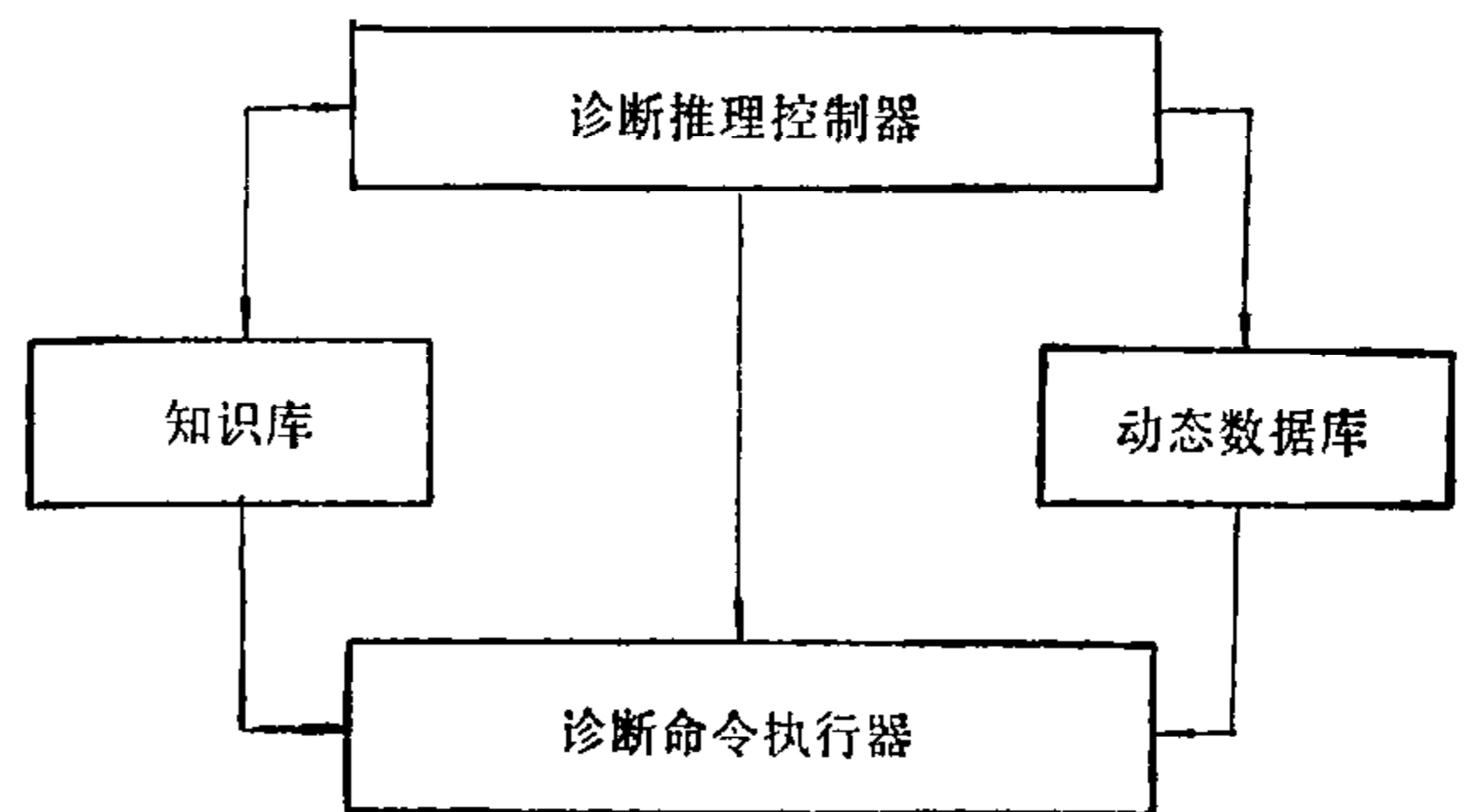


图 2 诊断推理机

7) 诊断解释模块。

该模块记录诊断过程中一些重要的诊断信息以及诊断结果, 解释当前的诊断推理路径和诊断结果。

五、结 束 语

本系统已成功应用于开发柴油机喷油系统的智能诊断系统。该诊断系统首先采集喷油管道的压力波形, 然后, 通过信号处理、波形识别和符号化处理、智能推理等技术来诊断喷油系统的故障。此外, 本系统也已被用于开发舰艇柴油机故障诊断专家系统。在不断开发应用系统的过程中, 本系统将得到扩充和完善。

参 考 文 献

- [1] Robert Milne, Strategies for Diagnosis, *IEEE Trans. on Syst., Man and Cybern.*, **SMC-17**(1987), 333—339.
- [2] Sgurev, V. et al., Problems of Diagnostic Knowledge Processing, *AI III: Methodology, Systems, Applications*, IICR, 1988, 341—346.
- [3] Michael, J. P., Failure-Driven Learning of Fault Diagnosis Heuristics, *IEEE Trans. on Syst., Man and Cybern.*, **SMC-17**(1987), 380—394.
- [4] Hari, N. et al., A Methodology for Knowledge Acquisition and Reasoning in Failure Analysis of Systems, *IEEE Trans on Syst., Man and Cybern.*, **SMC-17**(1987), 274—288.
- [5] 郑小军、杨叔子, AEDES: 一个汽车发动机诊断专家系统, *自动化学报*, **16**(1990), (5), 393—399.

A DEVELOPMENT TOOL OF DIAGNOSTIC EXPERT SYSTEM

ZHONG YUNING YANG SHUZI GUI XIUWEN

(Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074)

ABSTRACT

This paper describes a tool for developing diagnostic expert systems. This system can perform some functions including knowledge acquisition, the consistency test and the diagnostic inference. It is characterized by using constants, variables and functions to describe domain knowledge, and by integrating the symbolic inference with numerical calculation. It is implemented with Microsoft C5.0 language of the IBM microcomputer.

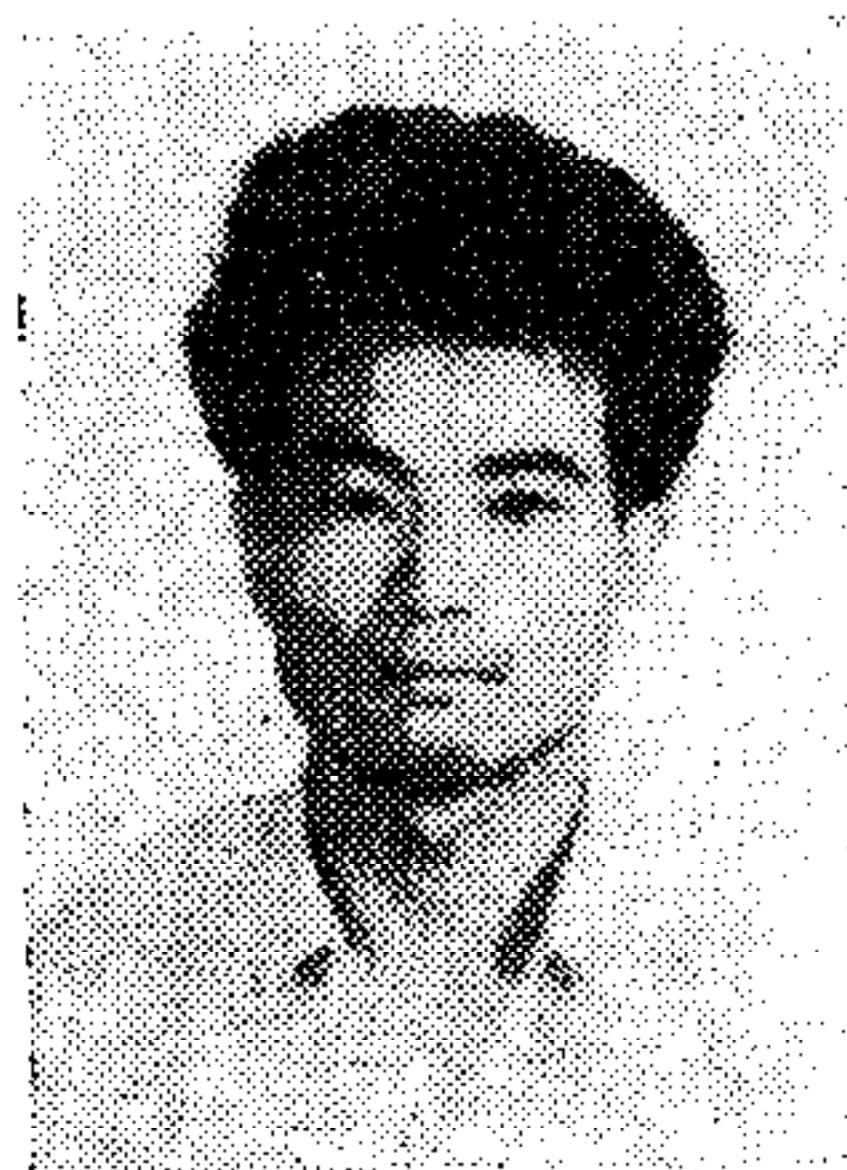
Key words : Fault diagnosis; expert system; knowledge expression; knowledge acquisition; consistency test.



钟毓宁 1965年12月生, 1985年于江西工业大学获机械制造专业学士学位, 1988年、1991年于华中理工大学分别获机械学专业硕士学位、机械制造专业博士学位。现在湖北工学院机械系工作。主要研究范围包括: 人工智能在机械工程中的应用(设备诊断、机械 CAD); 机械可靠性等。



杨叔子 1933年9月生。现为华中理工大学教授、博士生导师。中国振动工程学会常务理事、中国机械工程学会理事。主要从事机械工程中的信息理论、方法与技术方面的研究。正式出版著作6部, 发表论文300多篇。



桂修文 1966年4月生, 1989年毕业于华中理工大学研究生院机械制造专业, 获硕士学位。现任华中理工大学机械工程一系讲师, 曾完成国家重点科研项目5项, 主要研究范围: 智能信号处理; 基于知识的机电设备诊断; 知识表示、维护与自学习理论; 人工神经网络在机械制造中的应用。已发表学术论文20多篇。