

# 专家系统与测试技术相结合的诊断维护系统\*

王 朴

(国防科技大学计算机系 长沙 410073)

**摘 要** 本文介绍的诊断维护系统 ITMDMS 将专家系统技术与传统的测试知识相结合。该系统包括两类知识：浅层知识和深层知识，知识用一阶谓词表示。推理过程分三步完成：(1) 浅层推理；(2) 深层推理；(3) 浅层推理。知识维护手段使系统的知识在使用中不断完善。该系统的框架可适用于任意复杂的数字系统的诊断维护。

**关键词** 故障诊断，专家系统，浅层推理，深层推理

**分类号** TP319

故障诊断是专家系统技术的一个重要应用领域。故障诊断专家系统的设计目标是用系统的故障现象来找出故障的位置和相应的维护手段。传统的故障诊断专家系统大都使用经验性知识，即浅层知识。这种浅层知识使故障现象和故障部件构成一个启发式关系，它可以用各种方法表示，例如产生式规则，语义网、框架、一阶谓词等，也可以用不同的推理策略，如数据驱动，或者目标驱动，假定和测试等。这种浅层知识表示，推理效率高。但是，这种基于启发式模型的故障诊断专家系统不能对诊断结果提供满意的解释。另一个重要问题是当知识库中没有相应规则时，可能得出错误的结论<sup>[1]</sup>；其知识表示方法，对领域专家表示他们的经验也不自然。因此，人们开发了第二代故障诊断专家系统。第二代故障诊断专家系统使用深层知识。深层知识表示了故障现象和故障部件的因果关系或者功能/行为关系，已提出了多种深层知识表示和推理方法<sup>[1][2]</sup>，但是这些方法在实际应用中比较复杂，特别是在一个大型系统中，要在较低级上描述其功能/行为关系是十分困难的，即使能够描述出来，知识量也很大。解决这个问题的方法，是将两种方法结合起来，在不同的抽象级上，使用不同的方法。传统的测试技术已经相当成熟，领域专家也十分熟悉，因此 ITMDMS 将专家系统技术与传统的测试技术相结合。在 ITMDMS 中，同时具有浅层知识和深层知识，推理过程包括浅层推理和深层推理。

下面各节介绍 ITMDMS 的有关技术。

## 1 ITMDMS 的诊断策略

ITMDMS 的诊断策略包括故障假定、硬错标设置以及诊断层次。

\* 1994年3月25日收稿，1994年5月27日修改

故障假定采用单故障假定，逻辑型固定故障假定，连线无故障假定。

硬错标设置：为了支持系统诊断，被诊断系统设置了一组硬错标<sup>[3]</sup>。

诊断层次分主存储器自检，初始化测试，测试程序测试三层。

## 2 ITMDMS 的组成

ITMDMS 的组成如图 1 所示。

### 2.1 用户界面

用户界面友好是所有信息处理系统追求的一个共同目标，诊断维护系统的界面不仅要交互方便、容易使用，还应使用户便于了解被诊断系统的物理结构、布局和有关知识情况。ITMDMS 的界面具有多种功能，包括：

- 显示功能。系统提供了九种显示功能供用户选择。如显示被诊断系统的系统结构、插件板配置、硬件部件名称；显示各类知识；显示测试记录等。

- 知识编辑功能。系统允许用户对各种知识进行编辑，如知识的增加、删除、修改、调整等。

- 测试功能。系统允许用户对被诊断系统用行测试，包括运行自检查程序和测试程序。

- 诊断功能。系统允许用户对被诊断系统进行诊断，可以按部件名诊断，也可以按错标名诊断。

- 知识维护功能。系统允许用户根据诊断维修结果对知识进行维护。

- 解释功能。系统可以向用户提供联机或者脱机解释。

### 2.2 推理机

推理机是专家系统的核心，它利用知识库中的知识和测试程序库中的测试模块（也是一种知识）完成推理任务。推理过程由以下三步完成：

- 浅层推理。系统根据故障现象和诊断知识进行浅层推理，推出引起该故障现象的一组怀疑部件。这一组怀疑部件中究竟是哪一个部件有故障，还需要通过深层推理来确认。

- 深层推理。系统根据怀疑部件名和测试知识推出测试模块，然后在被诊断系统上启动测试模块运行，回收运行结果，最后根据运行结果和故障知识推出故障部件（图 2）。

- 浅层推理。系统根据深层推理的结果和维修知识，推出故障的芯片名及其物理位置。

整个推理过程在图 3 中给出。

由于各部件的测试程序中的测试模块有交叉情况，为了避免同一测试模块被多次运行，每个测试模块设一运行标志，当测试模块运行时，该标志置 1，从而保证每个测试模块在整个诊断过程中只运行一次。

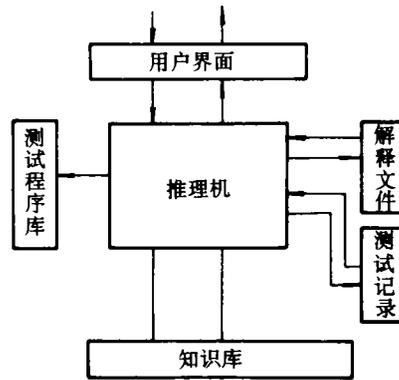


图 1 ITMDMS 的组成

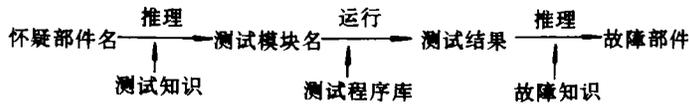


图2 深层推理过程

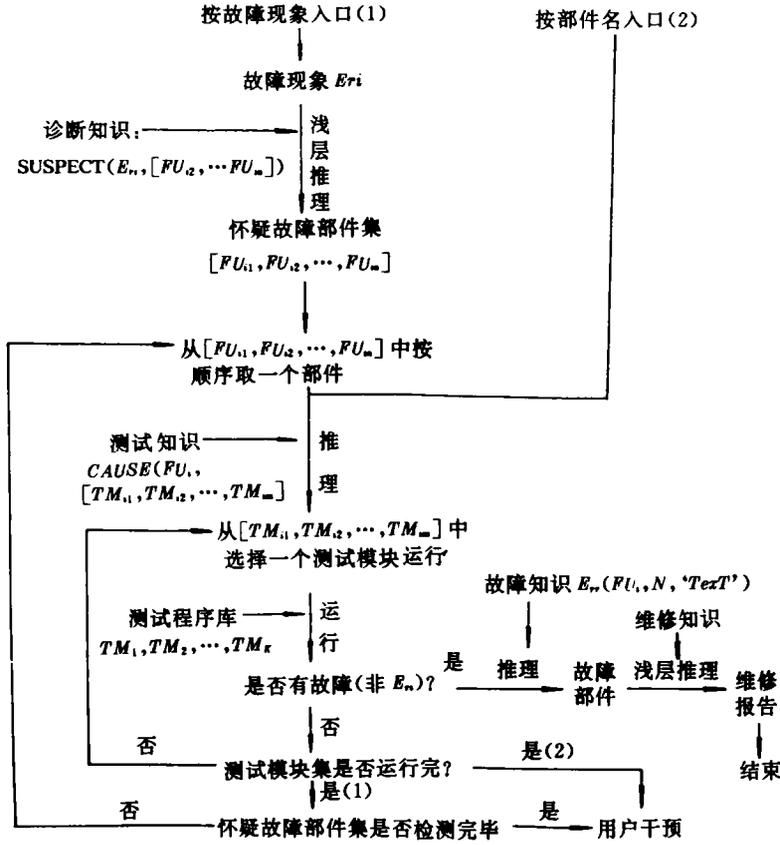


图3 推理流程

### 2.3 知识库

知识库中包含有四种知识，即诊断知识、测试知识、故障知识、维修知识。四种知识的意义与表示在第四部分中介绍。

### 2.4 测试程序库

测试程序库包含被诊断系统各个部件的测试程序。这些测试程序是领域专家根据部

件的功能/行为关系编写的。一个部件的测试程序一般都包含多个测试模块；多个部件有时共享同一个测试模块；运行这些测试模块，能检测出芯片的固定逻辑型故障。测试模块作为深层知识使用。

## 2.5 测试记录

测试记录保留每个测试模块的运行结果，用户可以随时查看。测试记录的格式是：

$$\text{TestRes}(\text{Vnit-Name}, \text{Test-Mode}, [X_1, X_2, \dots, X_n])$$

其中：Vnit-Name 是被诊断系统的部件名；Test-Mode 是测试模块名； $X_1, X_2, \dots, X_n$  是测试结果。

## 2.6 解释文件

解释文件记录了诊断全过程。当需要解释时，系统自动显示文件中的内容。

# 3 ITMDMS 中的知识表示

知识表示是专家系统中的一个重要问题，选择知识表示方法取决于多种因素，如表示的能力，方便性，推理的效率，工具是否支持等。在 ITMDMS 中，四种知识均采用一阶谓词表示<sup>[4]</sup>。下面具体说明。

## 3.1 诊断知识

诊断知识描述系统故障现象与可能的故障部件之间的关系。诊断知识用谓词 Suspect 表示，其一般形式是：

$$\text{Suspect}(\text{Eri}, [\text{FU}_{i1}, \text{FU}_{i2}, \dots, \text{FU}_{in}]).$$

其中参数 Eri 表示故障现象， $[\text{FU}_{i1}, \text{FU}_{i2}, \dots, \text{FU}_{in}]$  表示可能引起该故障现象 Eri 的部件集。怀疑部件的顺序根据可能性大小依次排列，在维护过程中可以进行调整。下面是一条诊断知识：

$$\text{Suspect}(\text{Erdbu}, [\text{DBU}, \text{ICH}]).$$

## 3.2 测试知识

描述部件与测试模块之间的关系的知识称为测试知识，用 Cause 谓词表示，其一般形式是：

$$\text{Cause}(\text{FU}_i, [\text{TM}_{i1}, \text{TM}_{i2}, \dots, \text{TM}_{im}]).$$

其中参数  $\text{FU}_i$  表示被测部件名， $[\text{TM}_{i1}, \text{TM}_{i2}, \dots, \text{TM}_{im}]$  是该部件的测试模块集。下面是一条测试知识：

$$\text{Cause}(\text{CPU}, [\text{cont}, \text{comp}, \text{tran}, \text{shof}, \text{Log}, \\ \text{add}, \text{sub}, \text{mul}, \text{div}, \text{othr}]).$$

## 3.3 故障知识

故障知识描述错误号与故障之间的关系，错误号从测试模块运行结果中回收。故障知识用谓词 Err 表示，一般形式是：

$$\text{Err}(\text{FU}_i, \text{ErrN}_m, \text{'TXT'})$$

其中参数  $\text{FU}_i$  是故障部件名， $\text{ErrN}_m$  是错误号，TXT 是故障描述。下面是一条故障知识例子：

$$\text{Err}(\text{CPU}, 001, \text{'Const, Consth Error'}).$$

这条知识描述 1 号错是 CPU 部件执行常数类指令错。

### 3.4 维修知识

维修知识描述故障号与故障器件之间的关系，用 Repair 谓词表示，其一般形式是：

Repair(FU<sub>i</sub>,ErrNm,V,Naml,Nchip,[p,Name]).

其中参数 FU<sub>i</sub> 表示故障部件名，ErrNm 表示错误号，V 表示该知识确认次数，Name 表示故障的逻辑名，Nchip 表示故障芯片数，[p,Name] 表示故障芯片的物理位置和名称。下面给出一个例子。

Repair[UU,605,0,a-d(8),Nchip,[p,Name]).

四种知识中，测试知识和故障知识以及测试程序库中的测试模块属于深层知识，测试模块是根据被测系统的功能/行为关系设计的，运行测试模块得出的结果能正确地表征系统或部件是否有故障，也能对测试结果提出有意义的解释。

## 4 知识维护

根据数字系统故障诊断的特点，知识库中的知识必须根据诊断结果与维修情况进行维护。文献<sup>[1]</sup>提出了多种维护策略，但从实用与简单考虑，ITMDMS 采用两种维护策略，即加强规则和增加知识。

加强规则是统计怀疑集中故障部件被确认的次数。这种次数的统计既可说明该部件的可靠性，也便于研究故障的规律。系统将根据这种统计结果来调整怀疑集中的部件的顺序。加强规则的条件是：如果系统根据故障 Eri 确认出故障部件 FU<sub>j</sub>，且和实际维修情况一致，则将 FU<sub>j</sub> 的出现次数加 1，并调整 FU<sub>j</sub> 在怀疑集中的位置。

增加知识包括增加诊断知识、测试知识、故障知识、维修知识，以及测试模块。需要增加知识的条件是：(1) 如果系统根据 Eri 诊断不出结果，则有两种可能性。一种可能性是故障部件 FU<sub>j</sub> 未包含在诊断知识中，此时必须将 FU<sub>j</sub> 加到 Eri 的怀疑集中。另一种可能性是 FU<sub>j</sub> 的测试知识中未包含相应的测试模块，这时，如果故障已被其它测试模块测出，则将该测试模块加到 FU<sub>j</sub> 的测试知识中，否则必须增加测试模块、故障知识、维修知识，并修改相应的测试知识。(2) 系统根据 Eri 诊断出 FU<sub>j</sub>，且 FU<sub>j</sub> 在 Eri 的怀疑集中，但维修结果不符，则必须增加或修改故障知识和维修知识。

知识维护工作可以自动或人工完成，但增加测试模块和故障知识必须由领域专家完成。

## 5 结 论

ITMDMS 把传统诊断中测试模块与故障部件之间的关系、错误号与故障之间的关系以及测试模块作为深层知识，比一般功能模型或结构模型由系统自动生成测试集简单，特别是当被诊断系统的复杂性增加时，功能模型和结构模型往往难以使用。ITMDMS 中的测试模块虽然也需要领域专家精心设计，但由于采用功能码与随机码相结合的诊断策略，再辅以知识维护手段，测试模块的设计也被大大地简化了。

与传统的故障诊断技术比较，ITMDMS 为用户提供了良好的人机界面和精确解释，提高了维护效率。ITMDMS 用 GKD—PROLOG 语言实现，知识的表示采用层次结构，易

于扩充，其框架可适用于任意复杂的数字系统的故障诊断。

## 致 谢

在 ITMOMS 的实现中，章颖同志做了大量工作，也得到了高洪奎副教授的帮助。参加测试程序设计的有张晨曦、吴显奎、朱海滨，朱晋宁、袁永坤等同志，在此表示诚挚的感谢。

## 参 考 文 献

- 1 T Pietro and C Luea. Diagnostic problem solving. New York: Van Nostrand Reinhold. 1989
- 2 C Dist, et al. An Architecture for Adaptive Learning in Rule-based Diagnostic Expert Systems. In Proceedings of 1987 Fall Joint Computer Conference: 678~683.
- 3 银河智能工具机使用手册. 长沙: 国防科技大学计算机系, 1992
- 4 王朴, 章颖. FDEST: 基于测试的故障诊断专家系统. 见: 全国实体设计自动化与智能 CAD 学术会议论文集, 青岛: 1991: 88~93

## The Diagnostic Maintenance System Combining Expert System with Testing Technology

Wang Pu

(Department of Computer Science National  
University of Defence Technology)

### Abstract

This paper introduces a diagnostic maintenance system ITMDMS that combines expert system technology with the conventional testing technology. The system includes two kinds of knowledge: one is heuristic shallow knowledge, the other is deep knowledge. They are represented by first-order predicate logic in hierarchy structure. The system takes three steps to accomplish the inference process: (1) shallow inference; (2) deep inference; (3) shallow inference. The knowledge maintenance methods perfect the knowledge of the system in application. The frame of the system can be used in diagnostic maintenance of any digital system.

**Key words** fault diagnostic, expert system, shallow inference, deep inference