

# 基于 IEEE1232 的故障树诊断模型研究

李念念, 许清平, 王卫栋

(中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471009)

**摘要:** IEEE1232 对广义测试环境下的诊断知识进行了标准化描述, 从而保证了诊断知识和数据的可移植和互操作; 故障树分析作为被广泛应用的故障诊断方法, 却很少有标准像 IEEE1232 一样对其具体应用进行详细规范, 因此分析建立基于该标准的故障树诊断模型, 是将其运用到实际故障树分析中的重中之重; 首先介绍了 IEEE1232 标准及其模型构成, 然后分析了其中一些公用模型元素的具体含义和用法; 对于标准中关于故障树的描述, 深入研究了其构成要素及有效的使用方法, 并建立了基于这些要素的故障树诊断模型; 最后给出了由 EXPRESS 语言描述的可交换故障树模型文件例子。

**关键词:** IEEE1232; 故障树; 故障诊断; EXPRESS 语言

## Research on Fault Tree Diagnosis Model Based on IEEE1232

Li Niannian, Xu Qingping, Wang Weidong

(China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, China)

**Abstract:** IEEE1232 defines a set of formal specification for diagnostics knowledge to all test environment, supports the portability and interplay of diagnostic knowledge and data. Fault tree analysis as a fault diagnosis method is widely used, but there are few standards such as IEEE1232 describes the application in detail, so the establishment of the fault tree diagnosis model based on this standard is the most important thing in the actual fault tree analysis. Firstly, IEEE1232 standard and its model composition are introduced, then the specific meaning and usage of some common elements are analyzed. All the elements and available methods about fault tree analysis in the standard are researched, and the fault tree diagnosis model is established based on these. Finally, a sample of exchangeable fault tree model file described by the EXPRESS language is showed.

**Keywords:** IEEE1232; fault tree; fault diagnosis; EXPRESS language

## 0 引言

故障树分析 (Fault Tree Analysis, FTA) 作为一种可以对系统总体安全性、存在的风险进行评估和预测的重要技术手段, 已广泛运用于电子电路的故障诊断中<sup>[1]</sup>。但故障树分析的具体实施流程和诊断知识等都只能在相应系统中运用, 并不具备当今自动测试系统所追求的通用性。随着测试系统越来越复杂及各种故障诊断方法的发展, 共享测试系统信息及测试结果越来越重要, 特别是对于故障树分析, 本身就具有较强的可规范性, 且重复建树比较麻烦, 若能用相关标准进行规范, 这样就可以形成故障树分析在不同系统中的通用性。为此 IEEE 制定了适用于所有测试系统的人工智能技术标准 IEEE1232, 在标准中对故障树分析应用于故障诊断的具体流程等做了详细描述。

## 1 IEEE1232 标准介绍及其体系结构

IEEE1232 标准, 又称 AI-ESTATE (Artificial Intelligence Exchange and Service Tie to All Test Environments, 全测试环境人工智能交换与服务)。AI-ESTATE 的目的就是标准化智能诊断推理的功能部件与它所使用的诊断知识和数据表示之间的接口<sup>[2]</sup>, 它是人工智能应用于测试系统与故障诊断领域的国际通用标准。IEEE1232 标准定义了推理机与推理系统用户、测试信息知识库以及更为通用的数据库之间的接口<sup>[3]</sup>。

除了定义一些接口标准之外, IEEE1232 标准还包括形式化的数据规范集, 以此来简化与规范测试系统之间的数据交换技术。

该标准主要提供以下信息<sup>[4]</sup>:

- 1) AI-ESTATE 整体机构框架的描述;
- 2) 对被测系统故障诊断模型相关术语的定义;
- 3) 具有可交换性的故障诊断模型格式与术语的定义;
- 4) 诊断推理机的软件服务定义。

AI-ESTATE 主要着重于以上目的的两个不同方面。第一方面主要关注在相容诊断推理机 (遵守同样标准的诊断推理机) 之间进行数据和知识交换的需求。为了满足这样的需求, 可以通过提供具有可交换格式的文件来实现。第二方面主要关注遵守 AI-ESTATE 标准的诊断推理机与测试系统中其他元素间的交互需求。

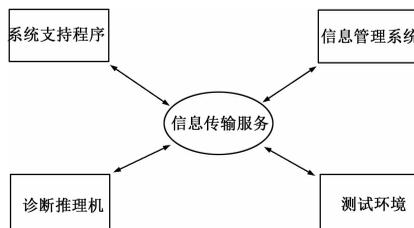


图1 AI-ESTATE 系统组成

收稿日期:2014-04-16; 修回日期:2014-05-12。

作者简介:李念念(1986-),男,河南平顶山人,硕士研究生,主要从事电子元器件测试方向的研究。

如图1所示为 AI-ESTATE 系统组成概览, AI-ES-

TATE 概念体系用信息传输服务部件为各个功能部分之间提供通信能力。从本质上讲,这种通信服务是功能部件相互之间提供服务的一种抽象。因此,已实现的服务在推理机和测试系统其余部分之间提供了几条具有通信服务功能的通道<sup>[5]</sup>。

## 2 IEEE1232 模型构成及故障树模型

### 2.1 模型构成

通过对 IEEE1232 实现的上下文环境中诊断数据和知识的标准化表示,在指定这些领域内的数据和知识的过程中,构建了如图 2 所示的层次结构。在该结构的顶层是通用元素模型(Common Element Model,简称 CEM),CEM 全面规范了在进行测试和诊断时会用到的常用元素。在 CEM 中有诊断、待测设备、测试、资源等结构体数据,而这些结构再由诸如花费、故障率等这样的属性元素来描述。在 CEM 下面是一系列的数据和知识模型,如故障树模型(Fault Tree Model,简称 FTM)。在 IEEE1232 模型体系中 CEM 是其他模型的基础,在其他模型中,大部分实体数据的定义都需要借助 CEM 来实现,且有些数据就是对 CEM 中相应数据的直接引用。在模型结构中动态上下文模型(Dynamic Context Model,简称 DCM)主要用于与其他模型进行交互,且在 DCM 中定义了一些实体用于表示诊断推理的上下文环境和诊断历史。

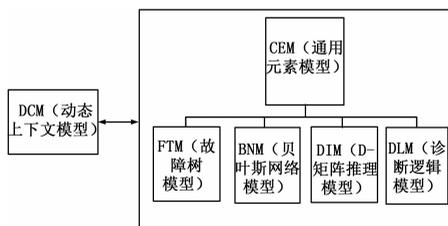


图 2 AI-ESTATE 模型结构层次

在 IEEE1232 标准中,运用 EXPRESS 语言对所有的模型结构和数据结构进行描述,EXPRESS 语言是一种通用的数据表达和交换描述语言,ISO 10303-11:1994 标准对 EXPRESS 语言的数据类型、语法等都做了明确定义。

### 2.2 故障树模型研究

IEEE1232 故障树模型 (FTM) 中构造有带固定故障隔离策略的决策树,这些决策分支在故障诊断的过程中保持不变,且对故障诊断流程起指导作用。故障树结构本身就是一个决策树,其内部结点相当于在故障隔离过程中的不同测试,而每一个分支相当于测试的一个可能的结果,当前故障诊断流程所执行故障树分支就表明了执行相应测试后产生的实际结果。故障树模型中的 TestResult 实体表示故障树分支的下一个待测结点,且也包含有故障诊断结论和故障隔离状态信息。

故障树模型同样也要引用 CEM 中相应元素。CEM 中的 Test 实体被引用到故障树模型中后就相当于一个测试结点,来表示在一步中要进行的测试。在故障树模型中每一个分支都指向一个 TestResult 实体,即 TestResult 实体用来结束一个

结点同时会指向下一个待测结点。

在标准中用一些实体等数据类型来描述故障树模型,而各个数据类型与故障树结构的对应关系是构建故障树模型的关键。IEEE1232 标准为故障树模型定义了相应实体来表示故障树的每一步测试和故障信息,主要有 FaultTreeModel、FaultTreeStep、StartingPoint 与 TestResult。

FaultTreeModel: 定义了故障树的入口结点,实体 FaultTreeModel 在很高层次上对故障树进行了抽象,代表了一个故障树模型。

FaultTreeStep: 其相当于对 CEM 中实体 Test 的封装,用于表示故障树模型中的一个结点,存储有本步的测试信息以及每一种测试结果对应的下一步测试结点信息。

StartingPoint 与 TestResult: 前者用于定义故障树的入口结点,后者用于定义每个结点的测试结果及下一步测试信息。StartingPoint 实体在诊断推理过程中是会被记录入 DCM 中。由于篇幅有限,仅以 FaultTreeModel 的 EXPRESS 语言定义格式做简要说明,其定义为<sup>[6]</sup>:

```
ENTITY FaultTreeModel
SUBTYPE OF (DiagnosticModel);
entryPoints : LIST [1:?] OF UNIQUE StartingPoint;
END_ENTITY;
```

实体 FaultTreeModel 是公共元素模型 (CEM) 中 DiagnosisModel 实体的子实体,而只有一个 entryPoints 属性,这个属性定义了整个故障树模型的入口结点。

故障树模型中定义的各个实体元素都是对故障树在高层次上的抽象。为将故障树模型运用到实际的电路故障诊断中,需要对每一个实体及其属性详细分析与实际的故障树图对应起来。绘制完毕一个待测电路的故障树图后,就需要去配置详细的测试与诊断信息,而这些信息的种类与格式都是要映射到故障树模型中各个实体属性中去。例如要测试一个电阻的阻值以判断其是否存在故障,在测试时就需要有测试类型、电阻标准值、电阻容差等信息,而这些信息都需要存储在故障树模型中,所以需要研究故障树模型中所定义各个实体属性与这些信息的对应关系。如图 3 是由 IEEE1232 标准中与故障树模型相关的实体元素组成的故障树图。FaultTreeModel 等几个实体元素组成了整个故障树的根节点,实体间的联系由各个实体的属性来定义。实体 FaultTreeStep 需要引用 CEM 模型中的 Test 作为属性来定义在该步中包含的测试。TestResult 实体包含有具体测试结果及下一步的节点信息,同时由相关属性来定义是内部分支节点还是叶节点,即是否结束本条分支的测试。

## 3 基于 EXPRESS 语言的故障树模型文件

IEEE 1232 标准对故障树模型整体进行了定义,并给出了在建立故障树模型时需要用到的各种数据类型,同时标准也规范了故障树模型的存在形式:可交换文件。IEEE1232 为描述交换文件结构的方便,运用沃思表示法(Wirth Syntax Notation,简称 WSN)进行描述。

一个符合 ISO 10303-21:1994 格式的模型文件主体由文件“头段”和文件“数据”段组成。模型文件开头应该为

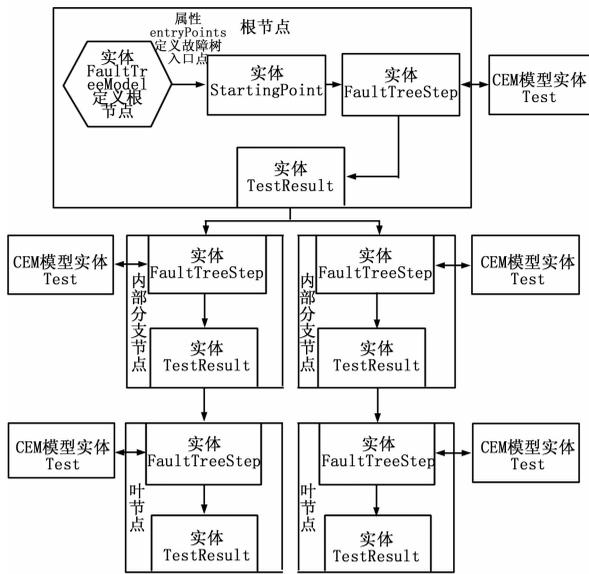


图 3 故障树模型图

“ISO-10303-21;”, 紧接着为头段和数据段, 并以“END-ISO-10303-21;”结尾。模型文件中可以用“/\* \*/”进行注释。

文件“头段”只能有一个, 而文件“数据”段在此标准中也只能有一个, 但是在该标准的后续版本中(如 2002 版)可以有多个。文件“头段”实际由 3 个实体组成, 分别为: file\_description、file\_name 和 file\_schema。这 3 个实体在文件“头段”中的出现顺序也必须按前述顺序依次出现。file\_description 实体主要用于对可交换文件的自定义描述, 通过描述可以对交换文件有整体了解。file\_name 实体主要提供诸如交换文件的作者等信息。file\_schema 实体表示在数据段中规定实体实例的 EXPRESS 模式。

交换文件的数据段包括要被交换的模型数据。每一个交换文件结构都应该有数据段。数据段包括头段中所规定的管理交换文件结构 EXPRESS 模式定义的实体数据类型实例。数据段应该用专用标记符“DATA;”开始, 后紧接实体实例, 并用标记符“ENDSEC;”结束。在数据段中, 每一个实体都要实例化, 且有唯一的 ID 来表示该实体实例, 例如实体 Test, 被实例化后可表示为:

#0001 = TEST (property), 其中“property”表示实体 Test 的具体属性。其他实体实例若要引用某一个实体实例做属性, 可以直接引用该实例的 ID 来表示。如下为简单可交换模型文件实例, 由于每个实体都有较多属性, 限于篇幅仅给出各个元素在文件中的构成形式和存在顺序。

```
ISO-10303-21; /* 模型文件开始 */
HEADER; /* 文件头段开始 */
FILE_DESCRIPTION(('示例!'), T);
FILE_NAME();
```

```
/* 以下字符串为符合 IEEE1232 标准的故障树模型文件标示符 */
FILE_SCHEMA((ISO(1) ISO-IDENTIFIED
- ORGANIZATION (3) IEEE (1111) STANDARDS- ASSOCIATION
- NUMBERED-SERIES
- STANDARDS (2) STD-1232
(1232) PART(100) VERSION2011 (2011) FTM(5)));
ENDSEC; /* 头段结束 */
DATA; /* 文件数据段开始 */
#0001 = DIAGNOSISOUTCOME();
#0002 = DIAGNOSISOUTCOME();
#0003 = TESTOUTCOME();
#0004 = TESTRESULT();
#0005 = TESTOUTCOME();
#0006 = TESTRESULT(# 0005, ());
#0007 = TEST(..., (# 0003, #0006), *);
#0008 = ACTION();
#0009 = FAULTTREETESTSTEP((# 0004, # 0006), # 0007, (#
0008));
ENDSEC; /* 数据段结束 */
END-ISO-10303-21; /* 整个模型文件结束 */
```

## 4 结束语

IEEE1232 作为国际通用标准, 对故障树分析的模型化、规范化做了详细描述, 对减少由于重复建树造成的时间和精力浪费起重要作用。特别是对大规模复杂电路, 只需建立一次故障树, 就可以将该故障树模型移植到符合 IEEE1232 标准的测试系统中, 这可以有效提高故障诊断效率、减少故障诊断系统开发与更新的费用, 进而对降低整个测试成本具有重要意义。

## 参考文献:

- [1] 常健, 马敢干. 故障树分析法在舰载装备维修中的应用 [J]. 舰船电子工程, 2008, 28 (3): 165-169.
- [2] 赵鞭, 王国华, 唐俊, 等. 基于 AI-ESTATE 的远程故障诊断系统 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (5): 974-977.
- [3] Amanda jane Giarla, Santa Rosa. Implementing AI-ESTATE in a component based architecture phase-II [J]. IEEE Autotestcon 1999 20 (5): 438-449.
- [4] IEEE Std 1232-2010. IEEE Standard for Artificial Intelligence Exchange and Service Tie to All Test Environments (AI-ESTATE) [S]. New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2011.
- [5] 姜会霞, 王成, 李岩, 等. AI-ESTATE 智能诊断系统研究 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (8): 2068-2070.
- [6] ISO 10303-11: 1994. Industrial Automation Systems and Integration-Product Data Representation and Exchange - Part 11: The EXPRESS Language Reference Manual [S]. International Organization for Standardization, 1994.