故障模式影响分析专家系统[1)]

赵廷弟
(北京航空航天大学 工程系统工程系)

摘 要 介绍了应用人工智能和专家系统技术,建立一个依托专家知识,基于功能/硬件推理的,与故障仿真综合应用,并以故障诊断专家系统,专业CAD/可靠性CAD和可靠性信息系统为支持的故障模式影响分析专家系统FMEAES(Failure Model Effect Analysis Expert System)框架.详细论述了系统的功能、结构、其三大组成部分(预处理部分、FMEAES核心和后处理部分)的功能及其相互关系,故障模式选择、故障仿真和进行功能FMEA和硬件FMEA的处理流程,以及故障模式影响分析专家系统与其他系统的关系.

关键词 可靠性; 人工智能; 专家系统; 故障模式影响分析
分类号 TP 206.3; TP 18

目前国内外已有大量的计算机辅助故障模式影响分析FMEA(Failure Model Effect Analysis)研究,已有比较成熟的FMEA软件在工程中应用,并且具有一些自动化能力,在一定程度上解决了FMEA工作繁杂的问题,及对FMEA的水平有所提高.但FMEA更重要的是积累前人的经验与知识,提高分析水平,发现薄弱环节,采取适当的设计措施,提高产品的可靠性.人工智能和专家系统的发展,提供了解决此问题的机遇和途径.目前国外已有较多的研究与开发,如文献[1]中介绍的XFMEA系统,但尚未进入使用阶段.在国内,这方面的研究很少,可以说是刚刚起步,与国外有较大的差距.

本文将论述试图应用人工智能和专家系统技术,以工程实用为出发点,建立一个依托专家知识,基于功能/硬件推理的,与故障仿真综合应用,并以故障诊断专家系统、专业CAD/可靠性CAD和可靠性信息系统为支持的FMEA专家系统,以期提高FMEA自动化.

1 系统功能

故障模式影响分析专家系统(FMEAES)是面向工程应用,根据用户需求,依据国军标GJB1391－92"故障模式、影响及危害性分析程序",在系统设计阶段,进行FMEA,具体功能如下:

· 功能FMEA. 根据被分析产品的功能建立功能关系模型图FRMG(Function Relation Model Graphics)[1],依托专家知识,应用基于FRMG建立的推理机制进行产品的功能FMEA.

· 硬件FMEA. 根据被分析产品的硬件结构建立功能关系模型图,依托专家知识,应用基于FRMG建立的推理机制,综合应用故障仿真(电子产品)进行产品的硬件FMEA.

2 总体框架结构

FMEAES总体框架由四大部分组成:

1) 预处理部分;

2) FMEAES核心部分;

3) 后处理部分;

4) 外部支持部分.

其总体框架如图1所示.

2.1 预处理部分

预处理是为FMEAES核心的推理分析作准备,亦含有智能处理内容,是FMEAES中的重要组成部分,它包含3个方面的内容.

1) FRMG的生成

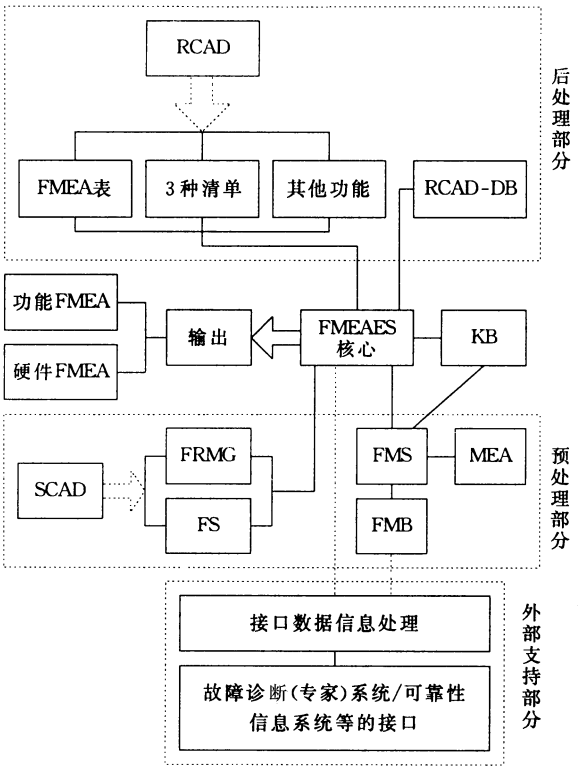
FRMG是对被分析系统结构/功能关系的抽象描述,是进行功能推理的依据,FRMG可由人工输入,对于电子产品也可由系统自动从专业CAD的设计图中拓扑转换而得.

2) 故障仿真(FS)

故障仿真主要用于电子产品硬件FMEA中,与专业CAD相结合(如EDA软件PSPICE),应用专业CAD的功能/性能仿真技术,在系统中模拟注入故障,对系统进行故障状态的仿真,依据系

收稿日期: 1998-09-26 作者 男 33岁 副研究员 100083 北京
1) 国家部委基金资助项目

统的故障判据,分析注入的故障对系统产生的影响及其严重程度,其仿真结果由 FMEAES 核心中的分析器处理. 注入故障的关键是对各类电子元器件的各种故障模式在 EDA 软件中的正确描述.



KB—知识库(Knowledge Base);
FRMG—功能关系模型图(Function Relation Mode Graphics);
FS—故障仿真(Failure Simulation);
FMS—故障模式选择器(Failure Mode Selector);
FMB—故障模式库(Failure Mode Base);
MEA—任务/环境分析器(Mission/Environment Analyzer);
RCAD—可靠性 CAD(Reliability CAD);
SCAD—传统专业 CAD(Specialty CAD);
RCAD-DB—可靠性 CAD 数据库(Reliability CAD Database)

图 1 FMEAES 总体结构图

3) 故障模式选择

故障模式选择,即根据设备/器件的环境与任务要求,确定设备/器件可能发生的故障模式. 与 3 个模块相关:故障模式选择器(FMS)、故障模式库(FMB)和任务/环境分析器(MEA).

- FMB. 存放元器件故障模式(基础库);
- MEA. 对被分析系统的任务/环境剖面进行分析;
- FMS. 根据 MEA 的结果,选择某一任务/环境剖面条件下合适的故障模式(此项需专家知识支持).

系统中的设备/器件可能在各种不同的环境中使用,执行多种任务. 因此,产品的各种故障模式在不同的环境和任务要求下,发生的概率会不同(有些模式可能在某些特定的环境下不发生),对系统的产生的影响也可能不一样.

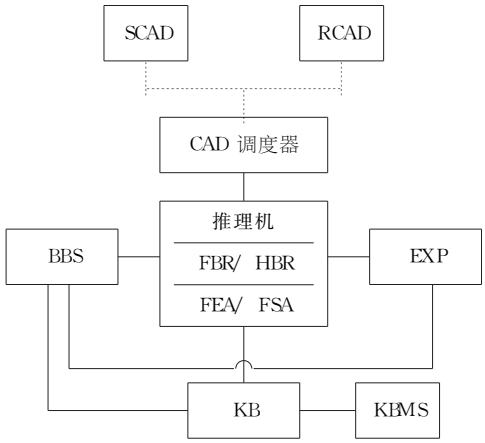
所以在 FMEAES 中,故障模式的选择是十分重要的. 而此功能需要大量的专家知识与经验支持. 在此基础上,应用专家系统,根据环境和任务选择确切的故障模式.

2.2 FMEAES 核心

FMEAES 的核心由六大部分组成:

1) 推理机;
2) 解释器;
3) 黑板系统(动态数据库);
4) 预(后)处理调度/处理器;
5) 知识库;
6) 知识库管理系统.

其结构如图 2 所示.



FBR—基于功能的推理(Function-Based Reasoning);
HBR—基于硬件的推理(Hardware-Based Reasoning);
FEA—故障影响分析器(Failure Effects Analyzer);
FSA—故障严酷度等级分析器(Failure Severity Analyzer);
BBS—黑板系统(Blackboard System);
EXP—解释器(Explanation);
KB—知识库(Knowledge Base);
KBMS—知识库管理系统(Knowledge Base Management System)

图 2 FMEAES 核心构成图

1) 推理机

推理机是 FMEAES 的最核心部分,决定着整个 FMEAES 的能力. FMEAES 采用基于功能的推理(FBR)和基于硬件的推理(HBR).

- 功能 FMEA. 采用 FBR[2] 方式,注入选取的各种故障模式及其它相关的信息与知识,根据被分析系统的 FRMG 描述的系统功能相互关联影响的逻辑关系,应用专家知识,推断故障模式产

生的影响及其严重程度.

• 硬件 FMEA. 首先根据专业 CAD 设计图及数据,拓扑/转化出 FRMG,进而依据 FRMG 描述的系统功能相互关联影响的逻辑关系,应用专家知识,及故障仿真(FS)预处理,采用 HBR,辅以 FBR 方式,推断故障模式产生的影响及其严重程度.

推理机主要由如下 3 个部分组成:

• 故障影响分析器. 应用专家知识、FRMG 进行故障影响分析;

• 故障严酷度等级分析器. 智能对故障产生的影响,进行故障严酷度分析;

• 内部任务调度器. 调度推理机内部任务及与其它部分的信息交流与任务协调.

2) 解释器

解释器对 FMEAES 系统的推理行为进行解释,使用户了解推理的依据和过程,甚至用可以通过对推理情况的分析,与 FMEAES 交互式合作推理,充分发挥用户的知识作用与能力. 采用动态与静态相结合的方式进行解释.

3) 黑板系统

黑板系统(BBS)是 FMEAES 的综合信息/动态数据库,置于内存之中,其主要作用是:

• 初始化系统/重新设置系统;
• 存放中间结果与最终结果;
• 更新系统应用的信息;
• 存放被分析系统的信息;
• 存放与推理相关的专家知识;
• 存放系统当前任务状态;
• 作为其它各部分信息交换桥梁.

4) 预(后)处理调度/处理器

预/后处理调度器是专业 CAD 和可靠性 CAD 与 FMEAES 的联结工具,根据 FMEAES 任务要求,调度/协调 FMEAES 与专业 CAD/可靠性 CAD 之间数据交换,同时完成数据格式的转换及功能调用. 即何时、何处、以何种方式进行什么样的数据交换/格式转换,调用专业 CAD/可靠性 CAD 的什么功能. 它是 FMEAES 核心与专业 CAD/可靠性 CAD 之间的桥梁.

5) 知识库

知识库中存放用于智能 FMEA 的专家知识. 主要包括以下 3 个方面的知识:

• 故障影响分析专家知识;
• 故障严酷度分析专家知识;
• 任务剖面/环境条件分析知识.

6) 知识库管理系统

知识库管理系统(KBMS)是一个相对独立的模块,只与知识库直接相关. 对知识库进行全面管理,FMEAES 的其它部分不能直接对知识库中的内容进行访问,均需通过 KBMS 提供的接口. KBMS 的功能包括:

• 新 KB 的建立;
• KB 的维护:增/删知识,修改知识等;
• KB 的查寻;
• 为其它模块提供 KB 访问接口.

2.3　后处理部分

后处理部分是对 FMEAES 核心推理机各分析器分析的结果,进行形式化处理及常规的 FMEA 功能处理. 该部分与可靠性 CAD 紧密相关,应用可靠性 CAD 的相关功能模块,完成常规 FMEA 功能. 其中包含:

1) FMEA 表格生成器;
2) 可靠性关键产品清单生成器;
3) Ⅰ、Ⅱ类故障模式清单生成器;
4) 单点故障清单生成器;
5) 其它功能.

2.4　外部支持部分

外部支持部分将诸如"故障诊断专家系统"的诊断知识和诊断的案例、"可靠性信息系统"中收集可靠性信息等可用信息转化为 FMEAES 的故障模式、影响等数据信息和知识,丰富知识库中的内容,提高 FMEAES 的推理能力和分析范围. 其包括 2 个组成部分:

1) 外部数据处理器;
2) 外部数据接口.

3　功能流程

FMEAES 的功能分为功能 FMEA 和硬件 FMEA 两大部分,其处理流程有所不同,下面是对 FMEAES 处理流程的描述.

3.1　功能 FMEA 流程

功能 FMEA 流程如图 3 所示. 用户输入 FRMG(人工输入/或对于电子产品自动输入)和系统的任务及环境,故障模式分析器根据任务/环境剖面分析结果选择设备/器件的故障模式,由 FMEAES 核心应用功能推理,调用知识库中的知识,遵循 FRMG 描述的逻辑关系,采用 FRB 的推理方式,进行故障影响/严酷度分析. 最后,由后处理部分生成 FMEA 的各种表格并输出.

3.2　硬件 FMEA 流程

硬件 FMEA 流程如图 4 所示.

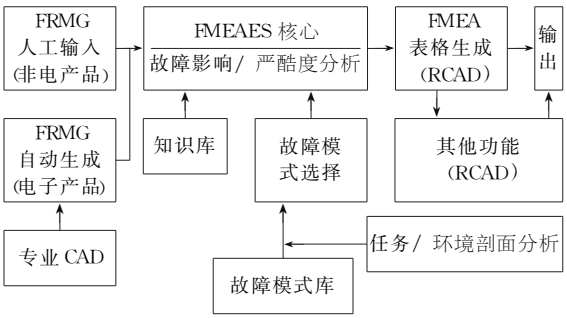


图 3 功能 FMEA 流程图

系统预处理自动生成FRMG,故障模式分析

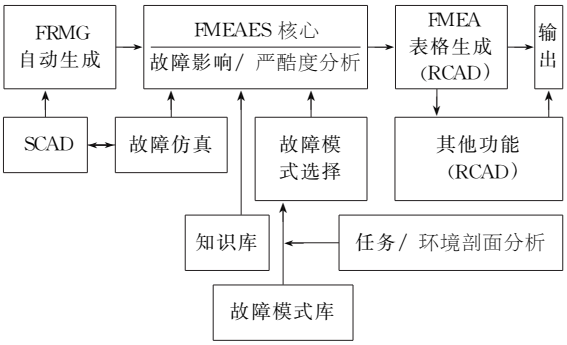


图 4 硬件 FMEA 流程图

器根据任务/环境剖面分析结果选择设备/器件的故障模式.由 FMEAES 核心,调用故障仿真及故障模式选择结果,基于硬件 FRMG 描述的逻辑关系,采用 HRB 的推理方式,调用知识库中的知识,进行故障影响/严酷度分析.最后,由后处理部分生成 FMEA 的各种表格并输出.

4 结束语

故障模式影响分析专家系统在国内外的研究处在初步阶段,并由于目前人工智能发展的局限性,尚无成熟的理论与方法.在分析综合国外技术发展的基础上,建立基于系统的功能/硬件设计的推理模型,依托专家知识,综合应用已成熟的相关技术,是实现 FMEA 的自动化有效途径.

参考文献

1 Russomanno D J, Bonnell R D, Bowles J B. Functional reasoning in a failure modes and effects analysis (RMEA) expert system. In: Proceedings of Annual Reliability and Maintainability Symposium. [s. l.]: IEEE Inc, 1993. 339～347

2 Elliott M S. Computer-assisted fault-tree construction using a knowledge-based approach. IEEE Transactions on Reliability, 1994, 43(1): 112～120

Failure Model Effect Analysis Expert System

Zhao Tingdi

(Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Dept. of System Engineering of Engineering Technology)

Abstract The FMEAES(Failure Model Effect Analysis Expert System) that applies the artificial intelligent is introduced. It is established based on expert knowledge and function/hardware reasoning combined with fault simulation of the EDA(Electronic Design Automation) and supported by the reliability CAD and the reliability information system and the fault diagnosis expert system to extend the knowledge base and to enhance the FMEAES's capability. The expert system structure and function, the function of the elements including the pretreatment part, the core of the FMEAES and the posttreatment part and the relationship of the elements of FMEAES is described. Then the function of the failure model selection and the fault simulation using the EDA software and the reasoning and analysis flow to perform function FMEA and hardware FMEA of the FMEAES is discussed in detail.

Key words reliability; artificial intelligence; expert systems; failure model effect analysis