

文章编号: 1000-6893(2000)04-0343-03

智能故障模式影响分析的推理研究

赵廷弟, 杨为民

(北京航空航天大学 可靠性工程研究所, 北京 100083)

STUDY ON REASONING FOR INTELLIGENT FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS

ZHAO Ting-di, YANG Wei-min

(Institute of Reliability Engineering, Beijing Univ. of Aero. and Astro., Beijing 100083, China)

摘 要: 介绍了应用神经网络和专家系统技术, 依托专家知识, 基于功能/ 硬件而建立的功能关系模型图进行推理的智能故障模式影响分析系统。详细论述了其故障模式选择推理模型和应用神经元网络及其扩展技术建立的产品故障模式影响分析推理模型, 并对推理流程进行了详细的描述。此外, 对其系统结构、各组成部分的相互关系, 及系统的功能流程也作了简要的论述。

关键词: 故障模式影响分析; 可靠性; 人工智能; 专家系统; 神经元网络

中图分类号: V263.6; V215.7 **文献标识码:** A

Abstract: An intelligent system for Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) where the neural network and expert system are applied was introduced in this paper. At first, the structure and relationship of each element and the function procedure were discussed. And then, the FMEA reasoning models were described in detail. The products failure-model selecting reasoning model was established by applying the rule-based production system model. Using the neural network and its extended technique, the FMEA reasoning model was established. In the model, the activating rule of the nerve cell was a set of many output functions, and this network was a hierarchical and nested network in which each product is a sub-network. It can not only express the product hierarchy but also describe the failure model effect relationship.

Key words: failure mode; reliability; artificial intelligence; expert system, neural network

目前国内外已有大量的计算机辅助故障模式影响分析(Failure Mode and Effect Analysis, FMEA)技术研究, 并有比较成熟的 FMEA 软件在工程中应用, 在一定程度上解决了 FMEA 工作繁杂的问题, 对 FMEA 的应用水平有所提高。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。目前国外在智能 FMEA 方面已有较多的研究与开发, 如文献 [1] 中介绍的 XFMEA 系统, 其中基于产品功能建立的功能推理模型比较简单, 难以表达复杂的产品, 且尚未进入使用阶段。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、应用神经元网络及其扩展技术建立的智能 FMEA 的推理模型, 进行智能

FMEA, 模型综合应用神经元网络技术、专家系统技术和传统的功能/ 性能分析技术。

1 系统总体概况

(1) 系统结构 系统总体框架如图 1 所示。

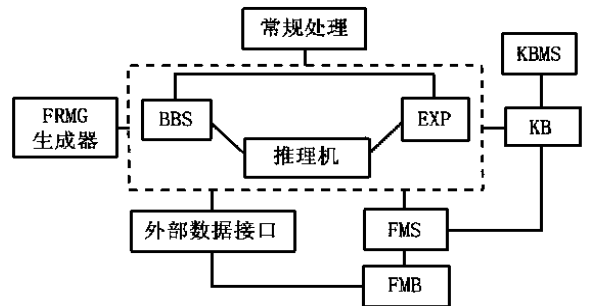


图 1 系统结构图

其中: 各部分的功能如下:

1 功能关系模型图 (FRMG——Function Relation Model Graphics) 生成器 FRMG^[1] 是对被分析系统结构/ 功能关系的抽象拓扑描述, 是进行推理的依据。FRMG 生成器根据被分析系统结构/ 功能关系拓扑转换而生成系统的 FRMG;

2 故障模式库 (FMB——Failure Mode Base) 和故障模式选择器 (FMS——Failure Mode

Selector) FMB中存放产品的故障模式, FMS依据专家知识, 从FMB中, 选择任务/环境剖面条件下相关的故障模式;

» 推理机 推理机是系统的核心部分, 以专家知识为支持, 基于产品的FRMG推理, 进行故障影响分析, 其他各组成部分均围绕此核心而工作;

¼ 黑板系统(BBS——Blackboard System)和解释器(EXP——Explicator) BBS是智能FMEA的综合信息/动态数据库, EXP对系统的推理行为进行解释;

½ 知识库(KB——Knowledge Base)及其管理系统(KBMS——KB Management System) KB中存放专家知识, KBMS对知识库进行全面管理;

¾ 常规处理和外部数据接口 常规处理是FMEA软件的常规功能处理, 如可靠性关键产品清单生成等, 外部数据接口将诸如“可靠性信息系统”中可用信息转化为系统中的知识。

(2) 功能处理流程 FMEA处理流程如图2所示, 首先生成FRMG, 由FMS根据产品的任务/环境情况选择产品的故障模式。然后推理机应用FRMG, 调用知识库中的知识进行故障影响/严酷度分析。最后, 生成FMEA的各种表格并输出及完成其他常规处理。

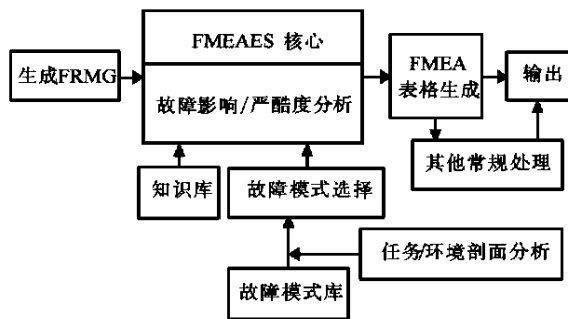


图2 FMEA处理流程图

2 推理模型

(1) 故障模式选择推理 产品发生故障的模式是多种多样的, 同一产品因其所处的环境和工作状态等(如温度、振动、应力)的不同, 其可能发生的故障模式也不同。因此, 在进行产品的FMEA时, 要针对产品的任务/环境剖面等因素, 选取可能的故障模式。但故障模式与任务/环境的关系更多是专家的经验, 所以, 故障模式的选取需要专家系统的支持。

关系的特征, 因此, 选取故障模式的推理采用专家系统中广泛应用的, 并在表示因果关系方面有明显优势的产生系统的知识表示与推理方式。规则的描述方式: $P \rightarrow Q(d)$, 其中: $P = \bigcap_{i=1}^m P_i$; $m \in Z$ (自然数空间); $Q(d) = \bigcap_{i=1}^n Q_i(d)$; $n \in Z$, d 表示结论 Q 的可信程度, 即当条件 P 存在时, 结论 Q 以可信度 d 存在。 d 可以是 Mycin 算法中的置信度、Bayse 算法中的概率或 Fuzzy 算法中的隶属度。且有 $(P \rightarrow Q(d_1), Q \rightarrow R(d_2)) \rightarrow (P \rightarrow R(d_3))$, $d_3 = f(d_1, d_2)$ 。

在规则的表达方面, 将规则全体的集合 A , 以产品为中心, 划分为若干个不交子集, 即 $A_i, A = \bigcup_{i=1}^m A_i, A_i \cap A_j = \emptyset, m \in Z$ 。因此, 在选取故障模式推理时, 将问题局部化, 提高推理的效率和准确度。同时在规则中, 综合考虑任务和环境及其他可能的因素, 而不将其建立在各自独立的规则中, 以保证这些因素的综合效应对故障模式的影响。

在推理方面, 由于选取故障模式的推理比较简单。所以, 对于选定的产品, 根据输入的任务、环境等条件, 调用其规则子集, 应用常规的产生式系统推理方式进行规则匹配和不精确推理, 选取产品可能的故障模式。

(2) 故障影响分析推理

1 FRMG 的描述 在 FMEA 推理逻辑中, 完全依赖于专家经验知识的规则显然是不可取的, 不能建立起一个充分应用产品内在机理的有效推理机制。因此, 必须建立一个较为通用的、能够描述产品内在相关性的拓扑模型, 以建立深层推理的框架, 结合专家知识(规则), 建立完整的 FMEA 推理模型。FRMG 既是应用神经网络技术、基于产品功能/硬件关系建立的被分析产品内在关系的抽象拓扑描述模型, 也是 FMEA 推理逻辑的框架。

BP (Back Propagation) 网络是近几年应用最广泛的重要神经网络模型之一, 基本的 BP 模型是一个由输入层、中间(隐含)层和输出层的 3 层前向连接。BP 模型可描述为^[2]: 对于 BP 模型的输入层神经元, 其输出与输入相同, 即 $o_i = i_i$ 。中间层和输出层神经元的操作特性为

$$\text{net}_{pj} = \sum_i w_{ji} o_{pi}, \quad o_{pj} = f_j(\text{net}_{pj})$$

其中: p 表示当前的输入样本; w_{ji} 为从神经元 i 到神经元 j 的连接权值; o_{pi} 为神经元的 i 输入, o_{pj} 为其输出, f_j 为非线性可微非递减函数, 一般

取为S型函数,即 $f_j = 1/(1 + e^{-x})$ 。

在基于产品功能/硬件关系建立网络模型^[3]中,假设神经元输出层神经元的输出与输入也是相同的,将神经网络的含义进行扩展和适当的变形。设产品的每一组成部件为一个神经元,其输入即为部件正常或故障时的输入,根据产品的功能/硬件关系建立各神经元之间的连接,从而形成产品网络模型——FRMG。并非所有神经元之间均有连接(或假设没有关系的神经元之间的连接为不产生影响的连接)。如果某一复杂的组成部件可继续(或有必要)分解,则将其扩展为一个神经元网络,称其为子网,所以FRMG是一个多层次嵌套的复杂网络。在FRMG中,将神经元输入层的输入和输出层的输出分类,对 f_j 的含义进行扩展,并非一般的S型函数。取 $f_j = \bigcup_{t=1}^m f_{jt}$, $f_{jt} \cap f_{jt} = \hat{A}$, $m \in Z$, 即对于一个神经元, f_j 由一组函数组成,称其为影响算子, f_{jt} 表示神经元 j 的第 t 个影响算子。一个神经元同一输入对应不同输出可能有不同的影响算子,且不同输入对应同一输出可能有不同的影响算子,即不同的 f_{jt} 。这个 f_{jt} 可能是一组相关的规则及其对应的推理算法,也可能是解析的输入/输出关系式及其相关的故障判据阈值或经过大量样本训练学习的阈值矩阵等等。

° FMEA的推理逻辑 FMEA推理是依据FRMG,假设某被分析部件以某种故障模式工作,对FRMG进行神经网络计算,推理分析产品的故障影响。

首先,依照FMEA自下而上的原则,以FMS确定的某部件故障模式,并由此确定其神经元的输入,激活此神经元,应用影响算子 f_j 得出其输出。进而逐个分析与其相连的神经元,确定被激活神经元的输出,由此扩展分析所有被激活的神经元(依据规则或其他算子的判据阈值得出神经元的输出)。最后依据其上各级的故障判据和神经网络的输出,确定该部件的故障影响。通过一次神经网络计算,可以分析部件的各级故障影响(由计算的网路范围而定),同时可分析多个同层次或不同层次部件的故障影响。

FMEA推理是由神经元间的连接而遍历全部网络节点的。因此,在建立模型时,只要关注某一神经元及其与其他神经元的连接,而不用关心整个网络的特性,由复杂的多层次连接决定网络

特性和推理计算的规模和神经元的激活与否。FMEA的推理是建立在大量的网络训练学习基础之上的,训练计算量大、复杂的连接使得推理计算量也很大,这是其不足之处(但可由计算机的速度来弥补)。FRMG建立起了各部件间的内在关系,因此将在其上的网络计算扩展,即可推理分析部件之间的相关故障、共因故障及多状态故障,而这些故障关系在推理分析之前可能是无法知晓得。

3 结束语

智能FMEA在国内外的研究尚处在初步阶段,并具有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/硬件关系,应用神经元技术的推理模型,依托专家知识,综合应用已成熟的相关技术,是实现FMEA的自动化较为有效途径,本文中论述的网络推理模型可进一步扩展,用于分析产品各组成部分之间故障的相关性及相互影响,进行更复杂的故障分析。

参 考 文 献

- [1] Russomanno D J, et al. Functional reasoning in a failure modes and effects analysis (FMEA) expert system[A]. In: Proceedings of Annual Reliability and Maintainability Symposium[C], Atlanta Georgia USA: IEEE, 1993. 339~347.
- [2] 胡守仁, 余少波, 戴葵. 神经网络导论[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1993.
- [3] WANG Shao-ping. Fault diagnosis based on neural networks[A]. In: Proceedings of the third international conference on Reliability, maintainability and safety, Guangzhou: Publishing house of electronics industry[C]. 1996. 226~231.

作者简介:



赵廷弟 男, 1965年生, 北京航空航天大学可靠性工程研究所副研究员。主要研究方向为可靠性设计分析技术, 可靠性CAD及其智能化, 软件可靠性与测试, 故障诊断与专家系统等。曾获部级科技进步二等奖2项, 发表论文15篇。电话: 010-82316443。Email: ztd@compk.net。

杨为民 男, 1935年生, 北京航空航天大学可靠性工程研究所所长, 教授, 博士生导师, 国家有突出贡献专家。研究方向为系统工程和可靠性系统工程。