

模糊理论在故障诊断专家系统中的应用

张崇刚¹, 郭旭辉¹, 黄昭婷², 黄智刚²

(1.中国矿业大学 北京) 化学与环境工程学院, 北京 100083; 2.北京航空航天大学电子信息工程学院, 北京 100083)

摘 要: 针对传统专家系统的故障知识表示及获取难、故障诊断推理效率不高的问题, 将模糊理论运用于故障征兆的提取和故障知识的表示、用面向对象的技术对故障知识进行维护, 采用正反向混合推理、带回溯的搜索策略构建故障推理机, 建立一种基于模糊规则的专家系统。将这种模糊规则的专家系统应用于航空电子系统的故障诊断中, 表明基于模糊规则专家系统解决了故障知识表示及获取难的问题, 故障的推理效率得到了提高。

关键词: 模糊知识表示; 故障诊断; 专家系统; 面向对象; 推理机

中图分类号: N032; TP277

文献标识码: A

文章编号: 1672-4984(2008)05-0122-04

Applying fuzzy theory to fault diagnosis expert systems

ZHANG Chong-gang¹, GUO Xu-hui¹, HUANG Zhao-ting², HUANG Zhi-gang²

(1.College of Chemistry and Environment Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China; 2.College of Electronic Information Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to make the traditional fault diagnosis expert system easy to express and obtain fault knowledge, and to raise its inference efficiency, one new expert system was built based on the fuzzy rule. It utilized the fuzzy theory to extract the fault symptom and express the fault knowledge, used the object-oriented technology to maintenance the fault knowledge and used forward and reverse mix inference and bringing back trace search strategy to build fault reasoning machine. After applying this kind of fuzzy rule expert system to the fault diagnosis of avionics system, the results indicated that this system can make it easy to express and obtain fault knowledge and can raise the fault inference efficiency.

Key words: Fuzzy knowledge express; Fault diagnosis; Expert system; Object-oriented; Reasoning machine

1 引 言

在现代军事和民用中, 飞机的电子系统对飞机的安全飞行越来越重要。若飞机的电子系统出现了故障, 飞机将无法按预先计划飞行, 不能顺利的完成飞行任务。航空电子系统的正常运行是保证飞机安全飞行的首要条件, 对飞机电子系统进行正确快速的故障诊断, 并对出现的故障给出对应的维修建议, 可有效提高飞机飞行的安全性, 避免飞行事故的发生。

目前对飞机航电系统进行的故障诊断主要有基于神经网络的故障诊断^[1-2]、基于功能模型专家系统^[3]。基于神经网络的专家系统具有精确的数值计算、诊断精度高、自学习能力强^[4], 但推理不明确、难于解释、网络的训练时间比较长, 训练需要大量的

样本数据。专家系统^[5]具有知识表达明确、推理清晰的优点, 便于解释, 但自学习能力弱、知识的获取比较困难^[6-7]。针对神经网络故障诊断和传统专家系统故障诊断存在的不足, 基于 CBR (案例) 的专家系统^[8]诊断方法被提出, 并在应用中取得良好的结果。

本文提出的基于面向对象模糊理论的专家系统, 将模糊理论运用到模糊知识库及模糊推理机上。解决了专家系统知识获取难的瓶颈问题, 能方便地对知识库进行维护管理。模糊规则通过模糊隶属度函数对飞机航空电子系统飞参信号进行故障特征提取生成。模糊隶属度函数将飞参的数字信号转换为人们熟悉的模糊语义。这种故障诊断专家系统不但拥有基于案例等符号专家系统的知识表达明确、推理清晰的优点, 而且系统采用了正反向混合推理、带回溯的深度优先搜索策略, 提高了故障诊断精度和速度, 解决了故障诊断适时性的要求。

收稿日期: 2008-03-15; 收到修改稿日期: 2008-05-27

作者简介: 张崇刚 (1981-), 男, 山东日照市人, 硕士研究生, 专业方向为测试计量技术及仪器。

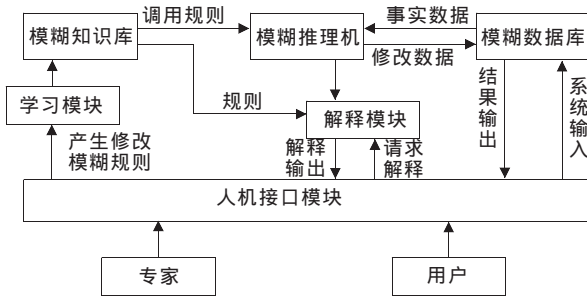


图 1 专家系统框图

模糊专家系统大致由下列部分组成: 模糊知识库、模糊推理机、模糊数据库、学习模块、解释模块和人机接口模块。其总体框图如图 1 所示。

模糊知识库存放雷达故障诊断问题求解所需的知识; 学习模块也就是知识的获取模块, 负责根据需要添加、修改、删除知识库中的知识, 维护知识库的一致性和完整性; 模糊推理机负责使用知识库中的知识来解决实际问题, 推理机的实现与知识的具体内容无关; 模糊数据库用于存放系统运行中的临时信息和系统输入的初始信息; 解释模块负责回答用户在使用系统的过程中提出的问题; 人机接口模块主要完成信息交互以及给出故障的维修建议和给出推理流程, 模糊专家系统有两个接口, 一个面向领域专家, 另一个面向最终的使用者。

航空电子系统模糊规则专家系统最重要的两部分为模糊知识库和模糊推理机, 本文对这两部分进行了详细的说明。

2 模糊知识

2.1 模糊知识的表示

本文采用了面向对象^[9]的模糊规则表示方法来对故障知识进行描述, 采用数据库来保存故障知识。这样可以解决故障知识难于精确表示以及知识的难于修改等问题, 并且可以方便的升级模糊故障知识库。

飞机航空电子设备故障征兆复杂, 不能简单对飞行参数进行处理后就进行故障诊断。通过故障征兆提取将飞行参数数值转化为模糊语义, 用模糊规则来表示。本文中采用梯形和半梯形隶属函数^[10]来实现征兆的模糊化。

(1) 梯形分布隶属函数公式:

$$F_{\mu}(x) = \begin{cases} \frac{x-x_1}{x_2-x_1} & x_1 < x < x_2 \\ 1 & x_2 \leq x \leq x_3 \\ \frac{x_4-x}{x_4-x_3} & x_3 < x < x_4 \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

其中 x_1, x_2, x_3, x_4 分别表示梯形分布隶属函数的

四个转折点。梯形分布隶属函数的形状如图 2 a)。

(2) 降半梯形分布隶属函数公式:

$$F_{\mu}(x) = \begin{cases} 1 & x \leq x_2 \\ \frac{x_2-x}{x_2-x_1} & x_1 < x < x_2 \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

其中 x_1, x_2 分别表示降半梯形分布隶属函数的两个转折点。降半阶梯形分布隶属函数的形状如图 2 b)。

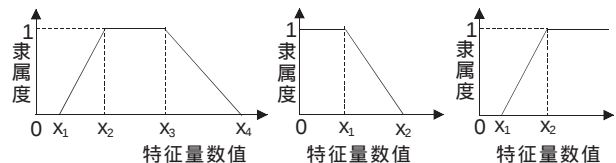


图 2 梯形及半梯形隶属函数分布图

(3) 升半梯形分布隶属函数公式:

$$F_{\mu}(x) = \begin{cases} \frac{x-x_1}{x_2-x_1} & x_1 < x < x_2 \\ 1 & x_2 \leq x \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

其中 x_1, x_2 分别表示升半梯形分布隶属函数的两个转折点。升半阶梯形分布隶属函数的形状如图 2 c)。

利用梯形、半梯形隶属函数对航电雷达系统的发射频率参数进行特征提取如图 3 所示。

模糊语义表示为:

过低 偏低 正常 偏高 过高

(x_1, x_2) (x_3, x_4, x_5, x_6) (x_7, x_8, x_9, x_{10}) ($x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}$) (x_{15}, x_{16})

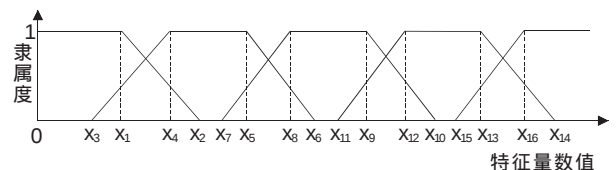


图 3 模糊语义隶属函数分布图

梯形或半梯形隶属函数中关键转折点的选取需要通过领域专家反复实践才能获得比较理想的阈值, 才能很好的表示模糊语义, 因此在进行开发过程中应根据实际情况进行确定。

基于模糊语义的模糊规则典型表示形式为:

IF 参数特征 1, 模糊语义等级 and.....and 参数特征 n, 模糊语义等级 THEN 结论 WITH CF。

2.2 模糊知识的实现

将提取的规则保存在数据库中, 用面向对象的

方法将故障知识库中的知识表示出来。面向对象知识库结构上具有层次分明、模块性强、知识单位独立性好等优点,便于知识库的使用维护,且对象本身的特点也具有良好的知识可重用性和可扩展性。由以上的模糊隶属度函数对故障征兆进行提取,用模糊规则的表示方法对故障诊断知识表示解决了故障知识表示难的问题。故障知识用数据库保存,采用面向对象的方法对故障知识库中的故障表进行表示。数据库来保存故障知识维护了知识的一致性和完整性。下面是故障规则信息类。

```
class Rule
{
public:
Rule();
virtual ~Rule();
bool RuleMatch(); //规则前提匹配函数
void RulePremise(CString rulepremise); //规则前提预处理函数
CString m_RuleID; //规则 ID
int m_SysNum; //所属系统编号
CString m_FatherFID; //规则中父故障 ID
CList<CString, CString&> m_FSymptomIDs; //定义链表,用于存储规则前提
CString m_SFaultIDs; //规则结论,即子故障 ID
double m_CF; //规则的置信度
bool m_Relation; //故障节点间关系
}
```

3 模糊推理机设计

模糊推理机决定了模糊专家系统的运行速率和效率。模糊推理机是否合理主要考虑推理控制方法和推理搜索策略。

3.1 控制方法及推理搜索策略

推理控制方式一般分为三种:正向推理、反向推理和正反向混合推理。正向推理是指从已知的事实出发向结论方向进行推导,直到推出正确的结论。正向推理的主要优点是允许用户主动提供有用的事实信息,而不必等到系统需要时才提供,而且可以求出全部解。正向推理的主要缺点是知识激活和执行目的性不强,有可能系统为达到某个目标执行了若干次无用动作。反向推理是以目标驱动的推理技术,也称向后推理。反向推理可以从已知的结论出发,通过寻找导致该结论的前提来解释该结论推导过程;也可以从一个假设的结论出发,寻找相应的知识来证明该结论,假设的结论可以逐步细化

为更小的子目标,再从每个新目标出发驱动新的寻找,如此反复,直到所有子目标最终都得到证明或者知识库中再无知识可用宣告推理失败。反向推理的主要优点是不必使用与目标无关的知识,目的性很强。它的主要缺点是初始目标的选择盲目,没有充分利用用户提供的信息。正反向混合推理是指根据给定的原始数据或证据(这些数据或证据往往是不充分的)向前推理,得出可能成立的诊断结论,然后,以这些结论为假设,进行反向推理,寻找支持这些假设的事实或证据。

正反向推理集中了正向推理和反向推理的优点,更类似于人们日常进行决策时的思维模式,求解过程也更为人们所理解,但控制策略较前面两种更为复杂,这种方法经常用来实现复杂问题的求解。

搜索策略^[11]分为三类:广度优先搜索、带回溯的深度优先搜索和启发式搜索。

广度优先搜索策略是在问题求解过程中,按“最早产生的结点优先扩展”的搜索方法。具体地说,搜索的结点是一层一层地检查,只有在上一层的每个结点都检查完毕之后,这一层的结点才能开始检查。深度优先搜索策略是在问题求解过程中,按“最晚产生(最深的)结点优先扩展”的搜索方法。具体过程是:从根结点出发,首先往树的深层搜索,一直搜索到叶结点为止,在当前结点已不存在未经搜索的子结点时,则回溯到父结点,然后再搜索其未经访问的子结点,这样一直下去,直到所有树结点被遍历为止。启发式搜索的基本思想是在控制性知识中增加关于被求解问题及其解的某些特性与知识,以便指导搜索向最有希望的方向前进。从本质上说,启发式搜索大多数是深度优先搜索法的改进。

3.2 故障推理机设计

通过上述的阐述,结合模糊规则库的结构表示特点,本文采用基于带回溯深度优先搜索的正反向混合推理方法。选择的主要依据如下:

(1) 从用户使用角度考虑,用户需要与专家系统进行交互,某些用户可以根据自身经验初步选定诊断开始的节点,适合用反向推理进行验证;而在进行某节点所关联规则的匹配推理时,使用正向推理方法有利于发挥自身推理简单直接的优点。

(2) 模糊规则库采用分层的树型结构表示,父故障节点和子故障节点间存在逐层细化的关系。采用深度优先搜索,在规则匹配成功的前提下,可以较快地查找所有可能地故障原因(叶节点);而当某节点所有规则匹配失败时,则直接回溯至上一层的

父故障节点, 而无需对下一层节点进行继续匹配, 因此可以提高推理的效率。

基于深度优先搜索的正反向混合推理策略的推理算法流程图如图 4 所示。

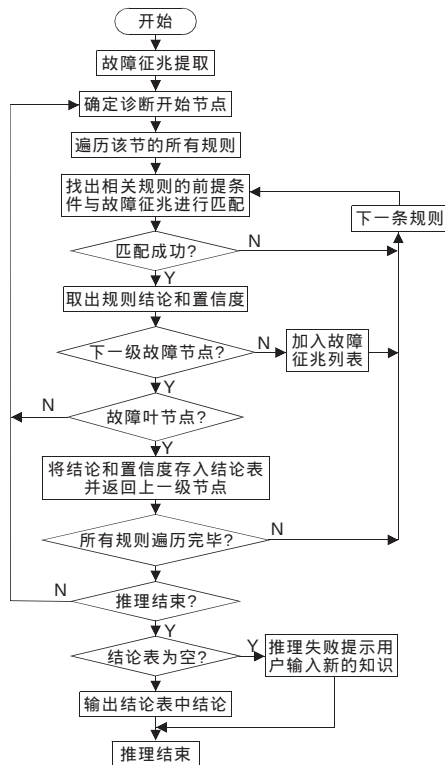


图 4 推理算法流程图

(1) 根据用户选择或根节点为故障诊断开始节点。

(2) 依次遍历与该节点相关的所有规则, 将规则的前提条件与所有处理后的故障征兆进行匹配并计算其置信度。

(3) 如果匹配成功, 则将规则匹配成功并且置信度超过指定阈值的规则结论取出, 转 4); 否则转 (2), 选择下一条规则进行处理。

(4) 如果规则结论是下一级故障节点, 转 5); 否则将该结论加入故障征兆表中, 作为新的征兆条件, 转 2), 选择下一条规则进行处理。

(5) 如果该结论是故障叶节点, 则将该结论和结论的置信度保存至结论表中; 返回叶节点的上一级节点, 继续下一条规则的匹配; 如果该结论是故障分支节点, 则将该节点作为新的诊断开始节点, 重复 2) (3) (4)。

(6) 直到最初的选择开始节点的所有规则遍历完成。判断, 如果输出结论表不为空, 则输出表中所有故障原因和置信度; 如果为空, 则提示用户输入

更多的故障征兆或输出推理失败。

4 结束语

本文使用 Microsoft Visual C++6.0 和 Microsoft SQL Server 2000 开发软件编码实现了航空电子系统故障诊断与维护支持系统。选定航电系统中雷达子系统的故障模式作为实例来进行故障诊断。验证了本文所提出思路和解决方案的正确性。

用面向对象的模糊规则方法来建造专家系统, 解决了故障知识表示难的问题, 同时用户可以方便的对故障知识库进行维护, 部分地解决了专家系统知识获取的“瓶颈”, 这将会为基于符号的专家系统的研制开辟一条新的途径。基于模糊规则的专家系统在一定程度上加强了专家系统的优点, 但他不能自学习, 需要对故障知识进行维护。因此, 对模糊故障诊断专家系统的自学习研究将是基于模糊规则专家系统的新研究方向。

参考文献

- [1] 孟亚峰, 蔡金燕, 曹宏炳. 基于神经网络的雷达故障诊断[J]. 仪器仪表学报, 2002, 23(3): 246-248.
- [2] 曹文远. 基于神经网络的飞机故障诊断专家系统研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2007.
- [3] 马钦果. 基于功能模型的航空雷达故障诊断专家系统研究[D]. 长春: 吉林大学, 2005.
- [4] Qingfeng Zeng, Jiakui Zu, Litong Zhang, et al. Designing expert system with artificial neural networks for in situ toughened Si3 N4 [J]. Materials and Design, 2002, 23: 287-288.
- [5] 吴今培, 肖健华. 智能故障诊断与专家系统[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [6] Rao Ming, Yang Hai-bin, Yang Her-ring. Integrated distributed intelligent system architecture for incidents monitoring and diagnosis [J]. Computers in Industry, 1998, 37(2): 143-151.
- [7] 李俭川, 秦国军. 机载电子设备集成智能故障诊断系统[J]. 航空电子技术, 2002, 33(2): 25-29.
- [8] 陈培彬, 陈治平, 齐建文, 等. 基于 CBR 的机载雷达故障诊断专家系统研究[J]. 计测技术, 2005, 25(1): 9-11.
- [9] 解璞, 苏群星, 谷宏强, 等. 一种基于面向对象技术的故障诊断专家系统[J]. 测控技术, 2002, 21(11): 1-3.
- [10] Tan J C, Crassley P A, McLaren Y G. Fuzzy expert system for on-line fault diagnosis on a transmission network[J]. IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, 2001, 1(2): 775-780.
- [11] 张庆振. 地空导弹智能故障诊断专家系统关键技术研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2004.
- [12] 谢勇. Visual C++6.0 实例精通[M]. 北京: 科学出版社, 2000.