

连续生产线设备故障诊断专家系统的 动态模糊推理机制的研究

谈理^{1,2}, 刘谨¹, 梅丽婷¹

(1. 上海大学机械工程与自动化学院, 上海 200072;

2. 上海应用技术学院机电工程学院, 上海 200235)

[摘要] 针对连续生产线设备故障诊断专家系统的研制, 阐述了在建立模糊推理机过程中引入具有实时性的动态模糊关系的思想, 并构造一个随无故障时间变化的动态隶属度函数来实现。

[关键词] 故障诊断; 专家系统; 模糊推理

[中图分类号] TP182 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2005)06-0057-04

1 前言

我国在一些特定设备故障诊断的专家系统(ES)的研究方面取得了一定的成就^[1], 并且不少应用实例吸收了人工智能(AI)技术的最新成果和方法^[2~6]。研究连续生产线设备故障诊断的专家系统, 将具有广阔的工程背景和使用价值。

某钢铁公司具有一条年产 10×10^4 t 高质量要求的 $\phi 16 \sim \phi 60$ 棒材无损检测精整生产线, 它集抛丸、矫直、倒棱、表面探伤、内材探伤、分钢、测长、计数、包装标识、标牌打印为一体, 并由计算机进行过程控制和管理。在此连续生产线中包含了诸多的机械、电气、液压和气动相结合的设备, 如抛丸机、高速棒材矫直机、倒棱机、漏磁探伤仪、超声波探伤仪、传输辊道, 以及其他辅助机电设备。笔者在这条生产线上开发了机电装备实时监测和智能诊断专家系统, 研究了基于模糊理论的故障诊断专家系统的推理机制。

2 精确推理和模糊推理

在棒材无损检测精整生产线故障诊断专家系统中, 用故障树把多级故障症状和故障原因联系在一起。精整生产线的部分故障树如图1所示, 其中树

根部分1和2分别为抛丸机和矫直机故障, 树干表示了两级故障症状 $S_i^{(1)}$ 和 $S_j^{(2)}$, 树叶为故障原因 F_i 。由故障树图可知, 它所表示的故障症状与故障原因之间并非都存在着一一对应关系: 一种故障症状可能由多种故障原因所导致, 而某种故障原因又对应着多种故障症状。如第2号二级故障症状 $S_2^{(2)}$ (启动方式不合适)有可能由故障原因 F_5 (转换开关操作不正确)造成, 也有可能由故障原因 F_{14} (转换开关或中间环节的连接有故障)造成; 第18号故障原因(气缸有内、外泄漏)有可能造成第6号二级故障症状 $S_6^{(2)}$ (供丸阀开度不合适), 也有可能造成第9号二级故障症状 $S_9^{(2)}$ (升降气缸工作不正常)。因此, 在此故障树中搜索, 不论采取正向推理策略还是采取反向推理策略^[7], 都会遇到匹配冲突的问题, 即被激活的规则不是唯一的, 能符合匹配的结果也不是唯一的。这就要求确定各规则的优先权, 要采用合适的匹配冲突消解策略。

在由故障树所确定的基于规则的推理过程中, 若采用精确匹配, 所能推理的只能是规则的前件和结论确切为真(匹配结果为1)或确切为假(匹配结果为0)的命题。然而, 在精整生产线中, 其故障症状与故障原因之间存在着诸多的偶然性和不确定性, 它们影响着各规则的匹配优先权的确定。就

[收稿日期] 2004-07-13; **修回日期** 2004-10-20

[作者简介] 谈理(1955-), 男, 江苏常州市人, 上海大学机械工程与自动化学院博士生, 上海应用技术学院高级工程师, 主要从事现代设计制造和人工智能。

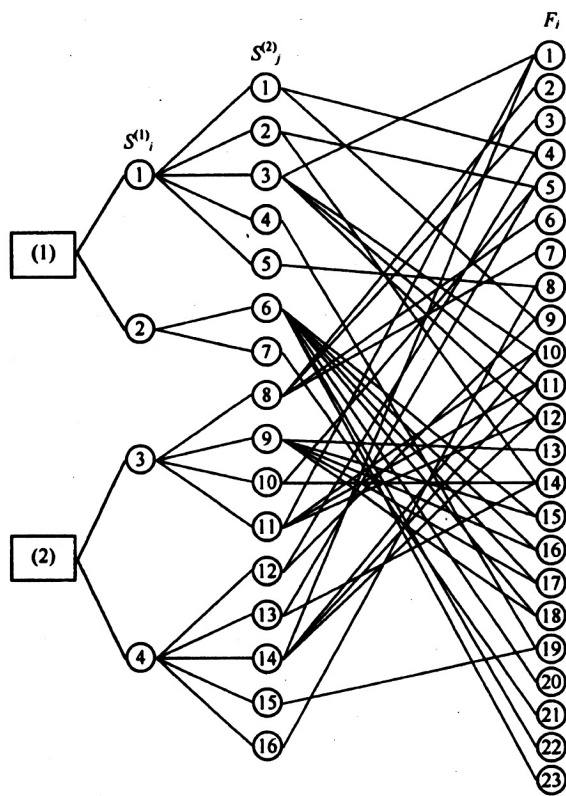


图1 精整生产线的部分故障树图

Fig.1 The part of fault tree of the refined production line

棒材精整生产线中主要设备之一的抛丸机的故障而言，“下料拨料器定位不准”的故障现象对应着电气、PLC控制以及机械等方面故障，在机械故障方面又可分为拨料爪、拨料爪轴和支承轴承故障及链条松动等故障。若确实存在着机械故障，则其所对应的故障原因的确定，与生产环境的外部因素和上述各零部件的质量、寿命及检修周期等因素有关。这些因素充满着偶然性和不确定性。由此可见，故障诊断专家系统所面对的大多数是模糊命题，因而不能采用完全匹配或完全不匹配（匹配结果为1或为0）的推理；而宜采用不完全匹配（匹配结果在0和1之间）的推理。即应由模糊推理获得各规则的匹配优先权（一般基于产生式规则的模糊推理中的可行度 $CF^{[8]}$ ），并由推理机中设定的阈值进行筛选，从而实现匹配冲突消解。

3 确定模糊推理的隶属度

针对棒材精整生产线的二级故障症状 $S_j^{(2)}$ 与故障原因 F_i 之间关系的不确定性，故障诊断专家系统采用模糊识别法构造模糊推理机。从领域专家

处获得的相关知识和数据，运用模糊统计法和选择比较法^[8]，得出反映这些不确定因素的隶属度。

设由图1所示的部分故障原因，其总数为 m ，它们构成了故障向量空间 $F(\text{faults}): F = \{F_1, F_2, \dots, F_m\} (m = 23)$ 。

与此相对应的一个症状向量空间 S (symptom)，其中一级故障症状有 n 个，二级故障症状有 k 个： $S = \{S_1^{(1)}, S_2^{(1)}, \dots, S_n^{(1)}, S_1^{(2)}, S_2^{(2)}, \dots, S_k^{(2)}\} (n = 4, k = 16)$ 。

经过对以往发生的故障事例和对该领域专家知识的模糊统计分析，得到表1所列的静态隶属度数值，它们对应于图1所示故障树，表征了与某二级故障症状出现相对应的各故障原因出现的可能性。

表1所列的隶属度还未计入动态因素，即没有计入当前的无故障时间所占故障发生周期的比例等因素。对于运行在连续型生产流程中的设备，其故障发生取决于元器件的质量、生产环境以及操作规范性程度等诸多不定因素，但在连续性周而复始的生产过程中，若无突发事件产生，则无故障时间却是一个很有价值的参数。显然，排除故障后的设备在运行初期，一般来说，同一故障再次发生的可能性很小；反之，某一故障长期未发生，则设备运行周期越接近故障发生周期，故障发生的可能性就越大。就前例提到的“下料拨料器定位不准”症状的诊断而言，若它确实是由“机械故障”原因产生的话，而机械故障原因中的链条松动的故障刚好在前一天修复了，则显然只需考虑机械故障的其他三项（拨料爪、拨料爪轴和支承轴承）原因即可，因为链条松动故障的发生率已大大下降。所以在进行故障原因的模糊推理时应引入领域专家的这个判断思路，除了应考虑与某二级故障症状出现相对应的各故障原因出现的可能性（即静态隶属度）外，还需考虑到各故障原因的修复情况。为此，需构造一个随无故障时间变化的动态隶属度函数，其变化规律应与实际故障发生的可能性相吻合。

设各故障原因的隐性时间（即无故障时间）为 D_i (i 表示故障原因的序号)；按天累加， $D_i \in N^+$ ， $i = 1, 2, \dots, m (m = 23)$ 。

在对常用的升半指数分布^[1]的隶属度函数进行修正后，引入故障发生周期 b ，并设变化规律调整系数 a ，从而构造成了动态隶属度函数：

$$\mu(D_i) = \begin{cases} e^{a_i(D_i - b_i)/b_i} & 0 \leq D_i < b_i, \\ 1 & D_i \geq b_i \end{cases} \quad (1)$$

0.37, 0.06}, 由其中非零参数可知被激活的不完全匹配的规则有3条, 这些参数的排序即为被激活规则的优先权; 进而由 $\mu(S_j^{(2)}) = \max[\min(\mu(F_i)_6, \mu(D_i))]$ 激活与此最大综合隶属度相对应的规则, 从而可推理出最有可能的故障原因为 F_{22} (供丸阀与气缸的锁紧螺母松动)。

例如: 当此故障被排除后, 与故障原因 F_{22} 对应的隐性时间 D_{22} 被清零, 相应的动态隶属度为: $\mu(D_i) = \{0.15, 0.41, 0, 0.02, 0, 0.06, 0.62, 0.07, 0.01, 0, 0, 0.01, 0, 0.07, 0, 0, 0, 0, 0.01, 0, 0.05, 0.07\}$ 。若第二天同样出现了 $S_2^{(2)}$ 症状乃至 $S_6^{(2)}$ 症状, 同理可求得: $\min(\mu(F_i)_6, \mu(D_i)) = \{0, 0.01, 0, 0.05, 0.07\}$; $\mu(S_6^{(2)}) = 0.07$ 。可见, 故障原因 F_{22} 的综合隶属度大幅下降至0.05, 这与领域专家的判断思路相一致, 即基本排除刚锁紧的螺母再次松动的可能性。而此次推理出最有可能的故障原因为 F_{23} (供丸阀开启机构“屏死”)。由此可知, 由于构造了基于动、静态隶属度的智能推理机制, 使故障诊断专家系统的推理机具有与领域专家相仿的智能水平, 能较正确地判断故障原因或预测故障的发生。专家系统在试运行中得到了用户的充分肯定, 是设备管理、技术人员及时排故和保证生产线连续正常运行的有力工具。

5 结论

由于建立故障诊断专家系统所需的领域知识大多数是专家的经验知识, 有很大的不确定性。若采用精确推理, 其结果往往不符合实际。因此在故障诊断专家系统中有相当一部分故障知识需要采用不

精确推理。故障诊断专家系统的研制, 笔者认为在故障诊断专家系统中采用模糊推理是比较有效且快捷的方法。因此, 专家系统设计人员应深入现场调研, 确切掌握和仔细分析从领域专家处获取的专门知识, 建立能真实反映故障症状与故障原因之间关系的隶属度, 并按正确的法则进行推理, 这是建立采用模糊推理的故障诊断专家系统的关键所在。

参考文献

- [1] 虞和济, 陈长征, 张省, 周建男. 基于神经网络的智能诊断 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2002
- [2] 李洪智, 陈树海, 李福义. 工程机械液压系统的故障诊断专家系统分析方法 [J]. 液压与气动, 2001, (4): 33~35
- [3] Hu W, Starr A, Zhou Z, Leung A. An intelligent integrated system scheme for machine tool diagnostics [J]. Int J Adv Manuf Technol, 2001, 18: 836~841
- [4] 易粟, 徐用懋, 马竹梧. 高炉异常炉况诊断专家系统 [J]. 冶金自动化, 2002, (1): 15~17, 32
- [5] 文莉, 刘正士. 平移不变量小波去噪法在齿轮故障诊断中的应用 [J]. 农业机械学报, 2003, (1): 114~117
- [6] 莫以为, 萧德云. 基于进化粒子滤波器的混合系统故障诊断 [J]. 控制与决策, 2004, (6): 611~615
- [7] Luger G F. Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving, (ISBN 0-201-64866-0) [M]. Pearson Education Limited, 2002
- [8] 褚卫华, 李岳, 温熙森. 机械设备智能检测与诊断系统的研究与实现 [J]. 机械科学与技术, 2003, (3): 285~288
- [9] 何新贵. 模糊技术处理的理论与技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1999

Study of Dynamic Fuzzy Inference Mechanism of Fault Diagnosis Expert System for Production Line

Tan Li^{1,2}, Liu Jin¹, Mei Liting¹

(1. School of Mechanics Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China;
2. School of Mechanics and Electrics Engineering, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 200235, China)

[Abstract] Developing fault diagnosis expert system for production line, the principle and method of structuring fuzzy inference engine are presented in this paper. Moreover, the idea of dynamic fuzzy relation with real time is introduced. And, it is illustrated that this idea is realized by defining a dynamic membership function changing with non-fault-time.

[Key words] fault diagnosis; expert system; fuzzy inference