

文章编号:1001-9944(2005)04-0001-04

基于故障树模型的波音 777 故障诊断专家系统

耿 宏,樊建梅

(中国民用航空学院 机电工程学院,天津 300300)

摘要:当前波音 777 机务维修主要依据波音公司提供的故障隔离手册或经验两种方法进行排故,两种排故方法是分离的。提出基于故障树模型的波音 777 故障诊断专家系统,通过有效地结合故障树诊断方法和专家经验诊断直接、快速的优点,能够迅速、准确地确定飞机的故障部位,提高机务维修效率。以实例说明本系统在波音 777 故障诊断的应用。

关键词:故障诊断;专家系统;故障树;波音 777

中图分类号:TP206.3;TP182 **文献标志码:**A

Fault Diagnosis Expert System for Boeing 777 Based on Fault Tree Model

GENG Hong, FAN Jian-mei

(Mechanical & Engineering College, CAUC, Tianjin 300300, China)

Abstract: Nowadays, airlines at home which have Boeing 777 have two ways to isolate airplane faults: according to the Fault Isolation Manual offered by Boeing, another way is based on experiences, the two methods are separated. Introduced the Fault Diagnosis Expert System which efficiently combine the fault tree diagnosis method with the expert experience which can diagnose directly and quickly, the system can find the fault part of the airplane quickly and accurately, then improve the efficiency of engineering maintenance. Used an example to introduce the usage of this system on Boeing 777.

Key words: fault isolation; expert system; fault tree; Boeing 777

1 引言

当前,针对波音 777 系列飞机,国内航空公司主要依据波音 777 的机载维护存取终端(Maintenance Access terminal,简称 MAT)上显示的维修信息(Maintenance Message,简称 MM)号,查找波音公司提供的故障隔离(Fault Isolation Manual,简称 FIM)手册,依据手册上的排故步骤一步一步地进行排故。面对复杂的系统故障,手册的排故步骤往往

非常繁琐,而有经验的机务专家能够根据飞机的驾驶舱效应(Flight Deck Effect,简称 FDE)和 MM 号,凭借以往排故的经验,直接找到故障部位。本系统结合专家经验知识,并依据系统原理建立了故障树模型,二者有效结合能够准确、快速地排除故障。

2 基于故障树的故障诊断专家系统

如图 1 所示,本系统主要由 2 部分组成,专家

收稿日期:2005-05-16

基金项目:中国民航总局科技基金资助项目(2003-80-15)

作者简介:耿宏(1964—),男,安徽休宁人,副教授,硕士,主要研究方向为人工智能与专家系统。

经验知识库和故障树数据库。

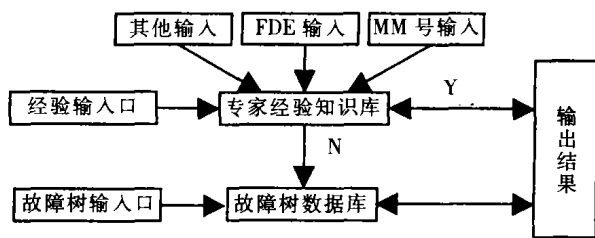


图1 系统原理框图

2.1 专家经验知识库

本系统专家经验知识库中存放多个航空公司、数位机务专家积累多年的排故经验。有经验的机务专家往往能够根据MM号、FDE信息和其他的信息凭借以往的排故经验和对系统原理的了解,直接找到故障原因或与故障相关的部件。将专家的这些经验以一定的可信度存储到知识库中,当出现类似的故障时,就直接调用知识库中的结论输出;将故障诊断的结果反馈到专家经验知识库中,如果诊断成功那么这条经验的可信度增加1%;如果诊断不成功,其可信度就减少1%,并转向下面的故障树数据库进一步分析。同时,随着排故时间的延长和排故经验的提高,专家不断积累更多的经验,这些经验经过专家通过经验输入入口添加到知识库中。因此,随着时间的延长,专家经验知识库的数量不断增大,诊断的可信度也越来越高。

2.2 故障树数据库

故障树数据库存放依据波音777系统原理建立的一系列故障树的集合。

本系统以MM号作为分析的目标(顶事件),依据系统原理找出导致这一故障发生的全部因素(中间事件),再寻找造成中间事件发生的全部因素,按照此方式一直追溯到引起系统发生故障的全部原因,将系统的故障与中间事件和底事件之间的逻辑关系用逻辑门联系起来,形成树形图。

飞机各系统工作原理是有一定的规律性和共性的。如飞控系统中,飞行员控制飞机的俯仰、倾斜和滚转的原理基本一致:都是由作动筒控制电子设备(ACE)接收来自方向盘或方向杆或脚踏板的传感器信号,将这些模拟信号转换成数字信号经过Flight Control ARINC 629总线传输给主飞行控制计算机(PFC),PFC综合来自大气数据惯性基准组件(ADIRU)的大气数据信息、襟翼/缝翼电子组件(FSEU)的襟翼和缝翼信息、飞行综合管理系统

(AIMS)的各种信息和来自传感器的信号,计算出控制命令,经过Flight Control ARINC 629总线发送给ACE,ACE发送信号给各个动力控制组件(PCU),PCU控制相应的副翼和襟副翼、方向舵、水平安定面等,来操作飞机的俯仰、倾斜和滚转运动。各个轴向的故障类型也是相似的,主要包括以下几种类型:传动装置故障、操纵面位置/力传感器故障、驾驶员操纵传感器故障、ACE/PFC故障、电源故障、ACE/PFC接口故障等。依据这一特点,在故障树的建立过程中,可以将故障树的每一个节点用一些属性的集合来表示,采用双向链表结构来表示,并用数据库的形式实现,其数据库结构如表1所示。

表1 故障树数据库结构

FTAID	节点标志码	Possible Answers	操作的可能结果
Entrance	节点入口条件		
Ask For Main	中间操作主体	First Is	前续节点标志码
Ask For End	中间操作附件	Next Is	后继节点标志码
Ex Info	解释信息	Attrib	节点属性

一个故障树对应多个双向链表,如果将所有支路都用数据库存储,则会存在某些节点重复存储的现象,数据库内容就会显得十分芜杂。因此,将某些节点用数据库的形式显式的存储,而另一些则用规则隐式地实现。那些显式存储的节点称为显节点,其余的称为隐节点。

1)节点标志码FTAID:字符串,它是节点的标记。每一个显节点均对应惟一的标志码,标志码由数字和字母组成。

2)入口条件Entrance:字符串,对应系统进入该条记录的条件,用自然语言描述的形式,一般对应某个事实。

3)中间操作:故障诊断专家在诊断过程中会进行不同的操作,并分析结果,然后根据需要采取进一步的诊断措施,把这些操作称为中间操作;该系统模拟了故障诊断专家的诊断过程,在诊断过程中,系统不断地提示用户或自行进行中间操作,并根据操作结果进行推理,再根据需要确定进一步的诊断措施,如此反复完成诊断。中间操作的提问形式有2部分组成,中间操作主体Ask For Main,存储操作的主要内容;中间操作附件Ask For End,存储与观察重点有关的疑问形式。

4)操作的可能结果Possible Answers:存储中间

的可能结果集,不同结果之间用顿号“、”分隔。

5)前续节点标志 First Is,后续节点标志 Next Is:它们分别存储当前诊断节点的前一个节点和下一个待诊断节点的标志码,依据 First Is 和 Next Is 就形成了一个双向链表,它对应诊断路径,字段值在诊断过程中动态填入。

6)节点属性 Attrib:在诊断过程中,系统有时会要求用户按系统提供的操作流程进行操作。为了存储和维护方便,将操作流程与故障树统一存储而且结构一致。在操作流程中,系统有时候会向用户提示操作步骤,而不需要反馈信息。此时就不用提问的形式,而是简单的现实操作步骤的具体内容。同时,与故障树的底事件对应的节点可能只代表一定的故障事实。此时系统只需要向用户提示该信息,因此不必使用提问的形式。

为了在诊断流程中区别需要反馈信息和不需要反馈信息的节点,将节点分为3类,提问节点、操作节点和述实节点。其属性值(Attrib)分别为提问、操作和事实。在提问节点,系统会用提问的形式提示用户进行操作;在操作节点,系统只向用户提示操作步骤;述实节点只代表一定的事实,进入述实节点,系统就会向用户显示该事实。

7)解释信息 Ex Info:存储关于故障树节点的解释信息,主要采用自然描述的形式更加简单一些当然现在开发的 CAFTA 故障树分析系统使得故障树的建立、定性定量分析都非常简单。

3 实例分析

以 MM 号为 27-10200 的故障诊断为例介绍本系统的应用,其故障描述为 Left Inboard Aileron PCU Command Problem。当输入故障信息 27-10200 或 Left Inboard Aileron PCU Command Problem 时,系统先是查询专家系统知识库,如果知识库中有成功或相似记录,则直接将诊断方案调出进行故障诊断,如果没有则转向故障树知识库。

在故障树数据库中,对于 MM 号为 2710200 的故障,依据系统原理运用故障树分析系统(CAFTA)建立起故障树如图 2 所示。如图可知。直接导致该

故障的原因有:①HYD SYS-C 故障;②aileron PCU 自身故障;③控制信号故障即 aileron PCU 接收到指令信号错误。由系统原理知,HYD SYS-C 不仅控制 AIL-PCU-LOB,还控制 FLAPERON PCU-ROB 等,因此,如果 HYD SYS-C 故障,就会引起 FLAPERON PCU-ROB 故障,与之相关的 MM 号 2710303 也会出现;反之,如果这个 MM 号没有出现,那么可以确定 HYD SYS-C 没有故障。所以,系统会询问与这个节点有关的其他 MM 号码是否出现。如果出现,则判断 HYD SYS-C 故障;否则就以同样的思路查找下一个节点,如此下去,直至找到故障源为止。

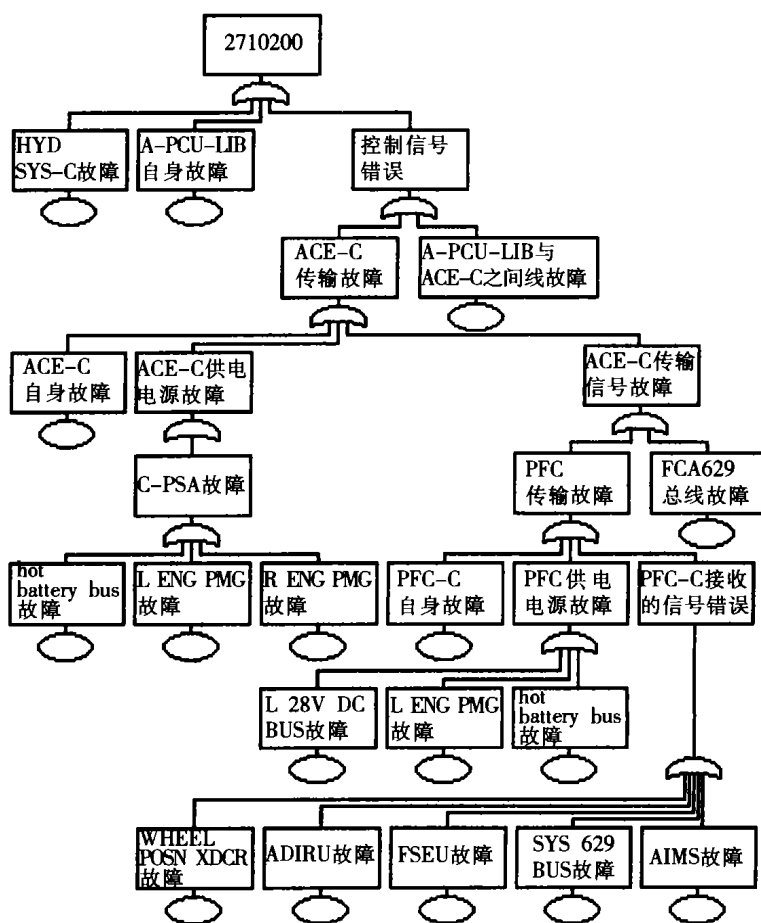


图 2 MM 号为 2710200 的故障树

4 结论

本系统有效地结合专家系统诊断直接、快速的优点和基于原理的故障树诊断方法完整的优点,针对波音 777 的特点,提出基于故障树的诊断专家系统。该系统能够准确、迅速地确定飞机的故障部位,同时对于空中飞机 ACARS 下传的信息能够及早判断故障部位,提前准备航空材料。(下转第 11 页)

随机抽取 5 幅图像,提取特征归一化^[9,12]后,进入神经网络分类器,分类如表 2,表 3。

表 2 检测样本神经网络分类器的输入端

	输入 1	输入 2	输入 3	输入 4	输入 5	输入 6	输入 7
(1)	0.588 6	0.506 2	0.459 4	0.537 5	0.629 7	0.220 8	0.336
(2)	0.631 5	0.448 4	0.434 4	0.635 4	0.717 2	0.204 2	0.369
(3)	0.780 2	0.627 7	0.607 8	0.441 7	0.457 8	0.139 6	0.768
(4)	0.535 1	0.386 7	0.471 9	0.668 8	0.496 9	0.283 3	0.211
(5)	0.674 9	0.564 9	0.465 6	0.539 6	0.693 8	0.222 9	0.372

表 3 检测样本神经网络分类器的输出端

	输出 1	输出 2	输出 3	分类结果	正确结果
(1)	1.001 7	-0.016 3	0.066 5	烧结均匀	烧结均匀
(2)	0.998 8	-0.011 5	-0.009 0	烧结均匀	烧结均匀
(3)	0.007 0	1.014 0	-0.021 5	过烧	过烧
(4)	-0.007 1	0.001 7	0.985 2	欠烧	欠烧
(5)	0.956 3	0.055 3	-0.015 1	烧结均匀	烧结均匀

5 结论

用图像识别法实现在线判断烧节点是烧结生产过程中的一项重要技术改进,对提高系统自动化程度、减轻工人劳动强度等具有重大意义。试验表明,在原料、点火温度等变化不大的情况下,正确率可达 90%以上,且整个处理过程在 20 s 内完成,满

足现场要求。

参考文献:

- [1] 卡佩尔 F,文德佩恩 H.铁矿粉烧结[M]. 杨永宜,郭巧玲,等译.北京:冶金工业出版社,1979.
- [2] 冶金部长沙黑色冶金矿山设计研究院.烧结设计手册[M].北京:冶金工业出版社,1990.
- [3] 孙金明.烧结机布料及机尾断面自动监测图像专家分析系统[J].安徽工业大学学报,2000,17(1):50-53.
- [4] 陆洪泉.工业电视在钢铁厂的应用[J].钢铁技术,1996,(1):47-50.
- [5] 张远鹏,董海,周文灵.计算机图像处理技术基础[M].北京:北京大学出版社,2001.
- [6] Kittler J, Illingworth J. Minimum Error Thresholding[J]. Pattern Recognition, 1986,19:41-47.
- [7] 韩思奇,王蕾.图像分割的阈值法综述[J].系统工程与电子技术,2002,24(6):91-94.
- [8] Castleman Kenneth R. Digital Image Processing[M].北京:清华大学出版社,2001.
- [9] 余松煜,周源华,吴时光.数字图像处理[M].北京:电子工业出版社,1987.
- [10] 温熙森,胡莺庆,邱静.模式识别与状态监控[M].长沙:国防科技大学出版社,1997.
- [11] 从爽.神经网络、模糊系统及其在运动控制中的应用[M].合肥:中国科学技术大学出版社.
- [12] 何斌,马天予,王运坚,等. Visual C++ 数字图像处理[M].北京:人民邮电出版社,2001.
- [13] 闻新,周露,等. Matlab 神经网络应用设计[M].北京:科学出版社,2001.

(上接第 3 页)

参考文献:

- [1] 闻新,等.控制系统的故障诊断和容错控制[M].北京:机械工业出版社,1998.
- [2] 吴今培,肖健华,等.智能故障诊断与专家系统[M].北京:科学出版社,1997.
- [3] 朱继洲.故障树原理和应用[M].西安:西安交通大学出版社,

1989.

- [4] Joseph Giarratano, Gary Riley. EXPERT SYSTEMS PRINCIPLES AND PROGRAMMING (3rd ed)[M].北京:机械工业出版社,中信出版社,2002.
- [5] 波音民用飞机集团. AMM, FIM, SSM, WDM[DB/CD].北京:北京飞机维修工程有限公司电子文档管理系统,2004.

(上接第 6 页)本系统已在多个城市推广应用,效果良好。

参考文献:

- [1] 周侗,等.基于以太网的现场总线设备研究[J].自动化仪表,2002(1):9-11.
- [2] 陈伯时.信息化时代的电气传动技术[J].自动化博览,2002(4).
- [3] 李建,徐壁华.基于 WEB 技术的远程监控系统[J].现代电子技术,2002(6).
- [4] 王田苗.嵌入式系统设计与实例开发(2 版)[M].北京:清华大学出版社,2003.
- [5] 黄丽娜,等.Red Hat Linux 9.0 基础教程[M].北京:清华大学出版社,2004.
- [6] 潘爱民. Visual C++ 技术内幕(4 版)[M].北京:清华大学出版社,1998.