

# 飞行试验空中特情处置专家系统设计

符永鹏

(中国飞行试验研究院, 西安 710089)

**摘要:** 当飞机在进行飞行试验过程中遇到空中特情时, 通常是凭借试飞员及指挥员的技术和经验进行处置的; 然而, 由于受到当时所处的特殊环境及情绪的影响, 这种传统的特情处置方式很容易出现由于判断失误而导致的重大飞行事故; 本系统从飞行试验空中特情的特点及专家系统在故障诊断方面的应用入手, 在研究故障树诊断技术、推理机等领域研究成果的基础上, 提出了基于专家系统的飞行试验空中特情处置方案; 应用结果表明, 该系统结构稳定、响应快速、定位准确, 具有很好的应用推广价值。

**关键词:** 飞行特情; 专家系统; 故障树

## Design of Expert System for Flight Test Emergency Disposition

Fu Yongpeng

(Chinese Flight Test Establishment, Xi'an 710089, China)

**Abstract:** When an aircraft encounters emergency during flight test, the emergency is usually treated by the test pilot and the flight commander with rich technology and experience. However, because the traditional disposal means are affected by the special environment and test pilots' mood at the time, they are prone to the errors of judgment which can lead to major accidents. In the light of the characteristics of flying emergency and the application of expert system in fault diagnosis, on the basis of research on the fault tree diagnosis and reasoning machine technology, this paper establishes flight test emergency disposition system based on expert system technology is used to the solve. The application results show that the system is stable, the response speed is fast, and has a very good application value.

**Key words:** emergency; expert system; fault tree

### 0 引言

飞行中的特殊情况 (以下简称特情), 是指飞行过程中突然发生直接或间接威胁飞行安全的情况。在飞行试验过程中, 由于试验机通常是尚未定型的飞机, 因此遇到特情的概率比较大。常见的空中特情包括: 发动机空中停车、起落架不能正常收放、操纵系统故障等, 如果特情得不到快速、准确的处置, 将严重威胁着飞行员及飞机的安全, 甚至带来灾难性的后果。统计显示: 飞行试验过程中, 所有的飞行事故中有近一半是由于飞行员的操作失误造成的。

即使是一位技术过硬、经验丰富的飞行员, 在空中特情发生时由于受到当时所处特殊环境的影响, 其判断力和处置能力必定会受到一定的干扰, 有的甚至会出现短时间“大脑一片空白”的现象, 这时, 机场塔台飞行指挥人员的正确指挥显得极为重要, 任何一个微小的失误或短时间的迟疑都可能导致灾难的发生。如果能够结合故障诊断技术, 建立一套飞行试验空中特情处置专家系统数据库, 当特情发生时, 能够在最短的时间内为塔台指挥员及飞行员提供完整、准确的特情处置步骤和方法, 必将会对减少特情决策时间、降低人为差错、保证飞行员生命和飞机安全发挥重要的作用。

### 1 基于故障树的知识库建立

专家系统是以专家知识库信息为核心的计算机程序, 其核心就是领域专业知识。整个专家系统的研究是围绕着知识的获取、表示和利用进行的。知识库的设计与存储量直接关系到专

家系统的推理结果。

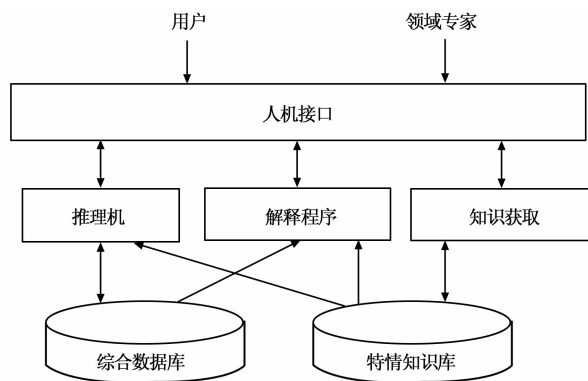


图1 特情处置专家系统组成示意图

飞行试验空中特情处置专家系统主要由特情知识库、综合数据库、推理机等部分组成, 如图1所示。系统采用人机对话的模式, 利用知识库中的事实与规则, 依靠对应的推理机制分析给出该特情的诊断结果及处置方法, 引导指挥人员快速、准确、及时、科学的排除处理故障。

系统将特情处置步骤以数据的形式存储在数据库中, 该数据库中存放的是一系列的与特情相关的事实和规则, 故障树及其对应规则的信息均以表的形式存储, 规则表中一条规则对应故障树的一条分支。我们建立了规则表、故障表、临时数据表、用户数据表来存储相关数据。

以某型飞机动力装置系统为研究对象, 设计出该型飞机“发动机空中停车”特情的故障树, 如图2所示。根据该故障树可知, 引起发动机空中停车的直接原因有两个: 燃油系统故障、动力装置故障。引起燃油系统故障的原因可能是燃油故

收稿日期: 2013-12-15; 修回日期: 2014-01-25。

作者简介: 符永鹏(1973-), 男, 陕西延安人, 高级工程师, 硕士研究生, 主要从事飞行试验计算机技术方向的研究。

表 1 某型飞机“发动机空中停车”基本事件及发生概率表

代号	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
基本事件	燃调 A 通道故障	燃调 B 通道故障	供油泵压力不足	供油管泄漏	燃油箱漏油或管路泄漏	操纵不当	进气调节故障	放气活门故障	发动机叶片疲劳损伤	外来物撞击
发生概率	0.05	0.05	0.03	0.03	0.008	0.049	0.047	0.02	0.04	0.038

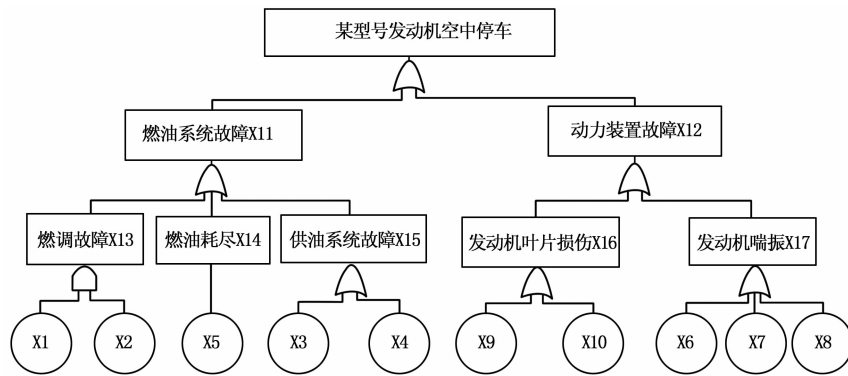


图 2 某型飞机“发动机空中停车”故障树示意图

障、燃油耗尽、供油系统故障；引起动力装置故障的原因可能是发动机叶片损伤或发动机喘振，而发动机叶片疲劳损伤或外来物撞击是导致发动机叶片损伤的原因。该故障树对应的基本事件及各底事件发生的概率如表 1 所示。

在“发动机空中停车”故障树中，各故障事件相互独立、且只有正常和故障两种状态，主要为或门结构。根据图 2 故障树，利用下行法求最小割集。最小割集主要为： $\{X1, X2\}$ 、 $\{X5\}$ 、 $\{X3\}$ 、 $\{X4\}$ 、 $\{X9\}$ 、 $\{X10\}$ 、 $\{X6\}$ 、 $\{X7\}$ 、 $\{X8\}$ 。

综上所述，导致“发动机空中停车”这一特情的原因分别对应于 8 个一阶割集，1 个二阶割集。割集的阶数越小，发生特情的可能性越大，因此，一阶最小割集直接影响飞行的安全性。

设最小割集  $C_j, j = 1, 2, \dots, k$ ，最小割集  $K_i$  的发生概率  $P_{K_i}$ ；顶事件用  $T$  表示， $T = \sum_{j=1}^k C_j$ ；顶事件发生，则  $K$  个最小割集至少有一个发生，则顶事件发生的概率为：

$$P_T = P(\sum_{j=1}^k C_j) = \sum_{i=1}^k P(C_i) - \sum_{1 \leq i < j \leq k} P(C_i \cdot C_j) + \sum_{1 \leq i < j < k} [P(C_i C_j C_1) - \dots + (-1)^{k+1} P(C_i C_j C_k)] \quad (1)$$

最小割集的概率重要度为：

$$P_{T/K_i} = \partial P_T / \partial P_{K_i} \quad (2)$$

根据“发动机空中停车”底事件发生概率表，各最小割集概率重要度如表 2 所示。

表 2 某型飞机“发动机空中停车”故障树实例计算结果

标号	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
事件模块	X1, X2	X5	X3	X4	X9	X10	X6	X7	X8
故障概率	0.009	0.113	0.113	0.113	0.151	0.143	0.185	0.177	0.075
重要度									

## 2 系统的诊断推理功能

本系统推理功能如下所述：计算机提取出相应的关键字和条件在事实表中搜索已知特情信息，在综合数据库进行匹配，

若有匹配记录，则给出结论；若无相关信息，进入规则库进行匹配。如果只搜索到一条规则，匹配成功，作为最终结论输出；如匹配结果为空，询问是否输入新的规则，若用户提供新的规则则进入规则库重新匹配；若搜索记录依然为空，则将该规则输入到综合数据库，故障原因处设为空，等待专家提供信息以便形成新的规则，结束推理。如果匹配结果出现多条规则，则进行冲突策略消解，进行规则选取，将匹配出的新的事实加入综合数据库；若规则集为空，与用户进行交互，询问是否提供新的可用规则，根据用户提供的规则重新进入规则库匹配，若暂时没有新的可用规则，将特情存入临时数据

表，输出所有可能结果。系统推理功能运行如图 3 所示。

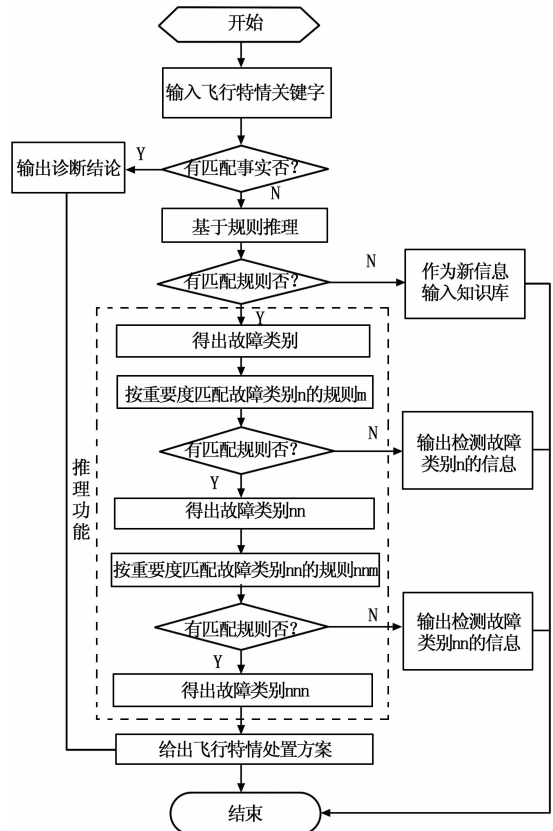


图 3 特情处置专家系统推理功能运行图

在进行诊断时，故障树给出了导致特情产生的所有可能的原因，针对飞行指挥人员输入的特情关键字，首先应在综合数据库中查找，如果无法匹配时则启动基于框架和规则的推理机制；当无规则可提供时，系统请求与用户进行交互，用户选择提供新的可用规则，继续进入规则库搜索；当所有的方法均告失败，将诊断结果作为一条新的事实存入综合数据库等待用户

提供新的信息。

推理时间的长短决定了整个诊断系统运行的成败，必须采取有效的措施防止无休止的推理占用系统内存。实际推理过程中，我们采用的冲突消解方式是：按照先进先出策略，最先进入综合数据库的事实作为前提最先被应用，以后的事实按顺序存放，并按顺序匹配，结构重要度高的规则优先采用。

从故障树的推理过程可以看出，搜索路径是一条沿根节点到叶节点的路径，也就是说，故障树推理总是沿着匹配节点与分支向前进行，避免了不必要的盲目搜索。最坏的情况下，它的搜索深度等于故障树的深度。

根据前面的测试，通过对某“发动机空中停车”故障树的定性分析，得到了 {X1、X2}、{X5}、{X3}、{X4}、{X9}、{X10}、{X6}、{X7}、{X8} 9 个导致顶部事件发生的原因，只要一个组合发生错误，就会导致顶事件的发生。其中“操纵不当”、“进气调节故障”的优先级较高，系统在推理的时候先找到“进气调节”这一故障，经过检测不是故障原因，再次返回故障树查找，定位优先级第二的“发动机叶片疲劳损伤”故障，得到故障原因。在此过程中，系统总共进行了两次测试。

由上面分析可以看出，对发生的事件是小概率事件时，该系统存在一定的不足之处，针对这一情况，可采用人工调节事件优先级的方法处理。在此例中由于“供油泵压力不足”导致空中停车的特情，它的优先级别处于第五位，当此特情出现达到一定的次数时我们可以提高它的优先级。通过这样的改动，可避免故障原因是小概率事件时系统出现测试次数过多，误差率大这一情况，避免系统性能的降低。

### 3 结论

在飞行特情处置过程中，该专家系统能够依据计算机系统



(上接第 1633 页)

然后按照 DSP 的一般 bootloader 模式加载系统。为了程序的正常运行，设计时开发了 ramdisk 文件系统，存储到 Nand Flash 中，当系统内核启动之后，挂载该文件系统，可用于实现初始应用开发和执行 DVSDK 演示。另外通过修改 Arago OpenEmbedded 方法，可以根据试飞的实际需求添加专用进程。

### 4 系统测试与效果分析

系统研制成功后，按照实际需求，分别对  $1\ 600 \times 1\ 200$  (60 Hz)， $1\ 280 \times 1\ 024$  (60 Hz) 的 VGA 视频信号的采集与处理进行了实验室测试（测试结果图暂略），经过测试，系统满足机载高清 VGA 视频采集要求。

经例行试验及实验室系统调制后，将该视频采集系统应用于某型飞机飞行试验中，工作中系统采用 H.264 视频压缩技术，飞行 5 小时数据量为 32 GB，飞行结束采用任意的播放软件对采集数据编辑、回放，图像清晰可靠，特别是能清晰显示 6 号字符及曲线，经过 60 多架次的飞行应用，该系统工作稳定、可靠，数据准确。完全满足试飞测试需要。

### 5 结束语

文章基于目前机载测试的现实需求，对高分辨率 VGA 的

提供的特情决策方案进行快速匹配，迅速给出准确的处置方案，有效避免了传统的特情处置过程中经常出现的人为差错和时间延误。多次的应用实践表明，系统结构稳定、响应快速、定位准确，为确保飞行员的生命和飞机的安全发挥了重要的作用。此外，系统还具有良好的通用性和扩展性，只需对数据库做相应修改，还可应用于其它军机或民机的空中特情快速处置。在下一步的研究中，将结合后续特情处置的实践经验和数据，不断扩充系统知识库，进一步提高飞行试验空中特情处置的效率。

### 参考文献：

- [1] 张振山, 黄晶晶, 邓 威. 基于故障树的旋转输弹机故障诊断专家系统 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (7): 1913-1914.
- [2] 高培先, 符永鹏, 张延练. 基于规则专家系统的集成研发系统固有缺陷对策研究 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (7): 1711-1714.
- [3] 何 利, 王厚军. 基于知识的故障诊断系统的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2002, 10 (5): 322-323.
- [4] 周自全. 飞行试验工程 [M]. 北京: 航空工业出版社, 2010.
- [5] 石荣德, 赵廷弟, 屠庆慈, 等. 故障诊断专家系统 [J]. 北京航空航天大学学报, 1995, 21 (4): 7-12.
- [6] 蔡宗平, 汤正平, 闵海波. 故障树分析法的专家系统在故障诊断中应用 [J]. 微计算机信息, 2006, 22 (8): 135-138.
- [7] 李 蕾, 高铁曼. 产生式规则专家系统原理与实现 [J]. 微计算机应用, 2006, 27 (5): 631-634.
- [8] 徐亨成, 张建国. 基于 BDD 技术下的故障树重要度分析 [J]. 电子机械工程, 2003, 19 (6): 1-3.

视频采集、H.264 视频压缩、嵌入式 Linux 在多核处理器的移植等技术进行了深入的研究，采用软硬件结合的方式，完成了系统的设计与样机制作，经过飞行试验的实际应用与测试，满足机载高分辨率 VGA 的转换要求，实现了对高清 VGA 视频的数据采集与处理。对我国航空领域的飞行试验测试设备研制具有指导意义。

### 参考文献：

- [1] 韩文俊, 张艳艳, 等. 基于双 DSP 的实时高清 H.264 视频编码器实现 [J]. 电视技术, 2010, 34 (5): 33-35.
- [2] ITU-TREC H. 264/ISO/IEC 11496-10, Advanced Video Coding [S]. Final Committee Draft, Document JVTG05, 2003.
- [3] 肖晓明, 刘 佳, 等. 图像中网格直线的检测方法的研究 [J]. 计算机测量与控制, 2007, (10): 27-29.
- [4] TI Application Report (SPRAA16A). Creating a TMS320DM6467 Audio Encode Example Using XDC Tools [Z]. Dallas: Texas Instruments, 2007.
- [5] 叶建雄, 张 华, 等. 基于 DSP 和 CPLD 的液晶显示控制器的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2012, (4): 163-166.