

航空电子系统健康管理专家系统的关键技术综述

孙海东¹, 吕 健²

(1. 中航工业洛阳电光设备研究所, 河南 洛阳, 471009; 2. 总参谋部陆航部驻北京地区军事代表室, 北京 100176)

摘 要: 简要介绍了飞机健康管理系统和航空电子系统健康管理专家系统软件平台的基本概念, 重点归纳总结了航空电子系统健康管理专家系统软件平台设计中健康状态的管理模式、推理机的模型设计、不同的故障修复策略等关键技术。

关键词: 飞机; 航空电子系统; 健康管理; 专家系统; 故障诊断; 推理机

中图分类号: V267

文献标志码: A

文章编号: 1671-637X(2009)07-0040-05

On Critical Technologies for Health Management Expert System of Avionic System

SUN Haidong¹, LV Jian²

(1. Luoyang Institute of Electro-Optical Equipment, AVIC, Luoyang 471009, China;

2. Military Deputy Office in Beijing, Army Air Force, General Staff, Beijing 100176, China)

Abstract: The basic concepts of health management systems for aircraft and avionic system are introduced briefly. Such critical technologies as health state management mode, modeling of inference mechanism, recovery strategy of different faults are summarized for software design of the health management expert system of avionic system.

Key words: aircraft; avionic system; health management system; expert system; fault diagnosis; reasoning machine

0 引言

新一代作战飞机或商用飞机都要求航空电子系统、飞机管理系统和其他机载设备安全可靠, 确保各项功能正常发挥和安全可靠地飞行。即使在故障情况下, 也能迅速采取措施及时排除或及时报警告知飞行员采取相应措施, 确保安全飞行, 飞机健康管理系统应运而生。航空电子系统是飞机的一个重要的核心任务系统, 航空电子系统健康管理专家系统是飞机健康管理的重要组成部分。专家系统和人工智能技术的发展使得飞机健康管理系统得以实现。鉴于我国机载设备在寿命、可靠性等方面存在的差距, 研制飞机健康管理系统, 使机上具备实时故障诊断/隔离/系统重构能力, 同时也具备适时维护、修理等保障能力, 对提高我国大型飞机的安全性与提高作战飞机的作战效能尤为重要。

1 飞机健康管理系统

收稿日期: 2008-06-25

修回日期: 2008-07-28

作者简介: 孙海东(1970—), 男, 江苏扬州人, 高工, 主要研究方向为电子系统设计, 检测技术和电子装备维修。

飞机健康管理系统是集机上、地面于一体的综合化维护、检测系统, 飞行中该系统能够预先判断或监控系统与部件的工作状态, 当系统或部件将发生或已经出现故障的情况下, 该系统能进行有效的管理, 实现飞机从事后维修和定期维修向视情维修的转变。

飞行后该系统还能以系统或部件在飞行中的有关数据和数据库中的维护数据为基础, 对系统或部件的性能进行预先评估, 以决定是否对出现的故障或即将发生故障的系统和部件进行替换和维护。

飞机健康管理系统定义为负责管理与飞机及其组成部分健康状态直接相关的管理活动的系统, 它以故障诊断、预测、隔离和重构为主要手段, 通过对各个系统的故障诊断和预测, 给复杂系统的使用和操作人员提供准确和清晰的系统的当前状态信息, 对系统健康进行自主维护, 确保任务的安全和准确完成, 提高地面维护和空中使用的效率和系统在全寿命周期中的使用效率, 从而降低使用/维护成本。飞机健康管理系统从飞机及各系统的设计要求开始, 就必须纳入其中。

飞机健康管理系统是飞机地面自动测试设备(ATE)进一步的发展, 是 ATE 与被测系统的综合。它

由传统的故障检测、部件及系统剩余寿命预测、智能决策、专家系统、自主修复等关键技术构成。健康管理行为可以分为健康状态管理、诊断和预测、修复和检验评估4类。飞机健康管理系统是飞机设计和维修领域正在兴起的研究课题,在欧美的先进飞机上已得到成功应用,如B-787和A-380。目前国内在飞机健康管理技术的研究方面还处于起步阶段,还未形成有效、实用的技术和算法,在一些领域的研究还处于空白。

专家系统是集成领域专家经验知识的智能计算机软件系统,它是当前人工智能应用研究中最活跃的一个研究领域,目前已被广泛应用于各个领域。将专家系统应用于飞机的健康管理活动中,也是当前航空科技发展的大趋势。

2 航空电子健康管理专家系统的主要关键技术

飞机健康管理专家系统是一个十分复杂的系统,涉及到飞机的各个系统,牵涉到很多关键技术。航空电子系统是飞机的一个重要任务系统,航空电子系统健康管理专家系统是飞机健康管理专家系统的重要组成部分。将以航空电子系统的健康管理专家系统研究为例,总结归纳了航空电子系统健康管理专家系统软件平台(如图1所示)设计所涉及到的主要关键技术。通过对航空电子系统健康管理专家系统的主要关键技术的介绍,可对飞机健康管理专家系统的复杂性有一个粗浅的了解。

航电系统各设备信息通过相关通道汇总到管理系统

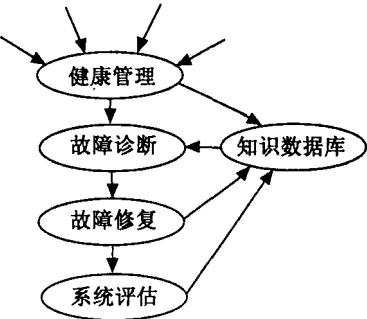


图1 软件支持平台的总体结构方案
Fig.1 General structure scheme of software support platform

航空电子系统健康管理专家系统软件平台设计所涉及到的主要关键技术如下文所述。

2.1 系统的需求分析

需求分析是整个系统开发过程中的第一步,也是进行健康管理专家系统方案的顶层设计和具体实施的依据,它是关系到健康管理专家系统设计是否满足被测系统要求的关键一步。应通过实际航空电子系统设

计和使用过程的调研并分析,明确用户的主要需求,一般应是:1) 根据航空电子系统的故障现象或数据,能迅速而准确地诊断出故障原因;2) 给出航空电子系统故障诊断过程的解释,以及诊断结果的处理建议;3) 根据诊断结果的处理建议,利用系统本身的软硬件资源,修复系统的故障;4) 根据地面控制管理站的指令要求,实施对系统健康状况的管理;5) 提出本健康管理专家系统对被测系统的可测试性需求;6) 用户界面要求人性化、友好,系统应具有开发性和通用性等。

根据用户(维护人员)的需求和系统的设计任务,通过需求分析,确定软件的功能要求。要求功能应具备较完善的对航空电子系统进行系统故障诊断和维修的能力,并可以利用其故障学习功能,在使用过程中不断添加新的故障诊断知识,完善故障诊断的知识库,增强诊断系统的故障诊断能力,进一步提高系统的故障诊断效率。

2.2 知识的获取和知识的表示

2.2.1 知识的获取

专家系统诊断的基本思路是对航空电子系统各组成部分原理、结构、工作过程和系统设计的检测、诊断、修复能力等详细了解的基础上,根据专家丰富的实践经验、专家分析问题和解决问题的思路,建立故障诊断的知识库、规则库和推理机,设计一个计算机程序,根据知识库提供的知识、规则库提供的规则及推理机提供的推理机制,才能进行故障诊断。知识的获取是专家系统研制过程中的一个难点,解决好知识的获取问题是开发专家系统的关键问题。航空电子系统故障诊断专家系统的知识获取一般包括以下内容:1) 航空电子系统的原理和专家系统的诊断方法。首先详细了解系统的工作原理,掌握该系统的整体结构和系统设计的检测、诊断、修复功能,分析系统各个分部件发生的故障特点,以及了解专家系统诊断的建立过程,有助于有针对性地获取所需知识,构造推理策略。2) 故障树。收集航空电子系统在内外场试验中出现的常见故障,归类整理这些故障,绘制故障树,同时进行故障模式和影响分析,为找出故障原因提供依据。3) 经验知识。广泛获取内外场维修专家的故障诊断的经验知识,这是专家系统故障诊断的主要依据,这些经验知识包括:各种故障现象、故障原因、各个部件的使用寿命对系统故障的影响等。

2.2.2 知识的表达和知识库的建立

知识的表达直接关系到专家系统诊断的推理效率和知识获取的效率。目前,专家系统中采用的知识表达方式有:语义网络表示法、框架表示法、产生式规则和谓词逻辑表示法。

语义网络表示法便于推理,可表达知识的静态特性和动态特性,但其缺点是对出现的新情况不易适应;框架表示法能明确表示知识的相关性和继承性,但不能保证推理的有效性,且知识的表达缺乏清晰的层次和结构。产生式规则表示法适合表达因果关系的知识,具有明显的优点,主要表现在知识的自然性、一致性、完备性和模块化,是目前专家系统中使用最广泛的知识表看法。

根据用户的需求和调研的综合分析结果,并结合我国目前的实际情况,航空电子系统故障诊断专家系统可采用产生式规则的知识表达方式,整个知识库由故障征兆库、故障原因库和规则库 3 个主要部分组成,分别存储故障征兆表、故障表和诊断规则表中的信息。这些知识库间可以相互转化,以适应不同的故障类型。一般还包括设备参数库、实时数据库、历史数据库、案例库、信号分析程序、征兆获取程序及知识获取程序等。

2.3 健康状态的管理模式

系统在运行过程中,利用本身的自检测功能和周期检测功能不断地检查系统的工作状况,预报系统的健康状况:健康即一切正常;亚健康即系统某些参数性能下降,但不影响使用;有故障指系统某些参数性能下降或系统工作不正常,影响使用。

发现系统亚健康或有故障时,必须进一步调用故障诊断专家系统,进行故障诊断,确定故障具体原因和部位,并采取相应措施,同时向行员和地面指挥站报告。

2.4 推理机的模型设计

2.4.1 基于规则的推理

进行故障诊断主要依靠对故障的分析和推理,推理机的模型设计有基于规则的推理、基于模糊模型的推理、基于案例的推理和综合推理等多种。

基于规则的推理方法和控制策略有很多种,按照推理的方向可以分为正向推理、反向推理和正向一反向混合推理,正向推理又称为数据驱动控制策略或前件推理,其基本思想是:从已知事实出发,正向使用规则,搜索规则的条件部分与已有的事实匹配的规则,将规则进行冲突消解后,启用规则进行推理,改变求解状态,反复执行直到得出结论;正向推理优点是比较直观,缺点是推理无明确目标,推理效率低。反向推理又称为目标驱动控制策略或后件推理,其基本思想是:首先提出某种假设,然后寻找支持该假设的证据,若所需证据能够找到,说明假设策划成立,否则说明原假设不正确,反向推理优点在于推理方向强,不必使用与推理结果无关的知识,缺点是假设过于盲目。上述两种推理方法都是基于规则的推理方法,均存在不足,可采用正向一反向混合推理方法以弥补上述两种推理方法的

不足。

基于规则的推理方法在进行问题求解时,系统即从知识库中寻找与之匹配的规则,若能找到完全匹配的条件,系统就会按照以前的求解思路去解决给定的问题;若找不到完全匹配的实例,就会找到一个类似的条件规则,并对其进行适当的修正,以满足当前的要求,同时将这个解存储到知识库中,若以后遇到同样的问题,系统就不会重复上述步骤,而是直接得到一个完全匹配的解。规则库搜索方法采用有限深度优先搜索策略,可以节省搜索工作量。

基于规则的方法对于诊断结论除了重复采用的规则外,无法进行更深一步的解释,通常只诊断单个故障,难以诊断多重故障。

2.4.2 基于模糊模型的推理

对于航空电子设备的故障诊断与维修,其特点是电路复杂、非线性强,而且引进的超大规模集成电路资料不全面,因此难以建立适宜的精确数学模型,为此,可利用模糊控制理论,建立模糊模型和模糊知识库。利用模糊模型和模糊知识库进行故障诊断,如果诊断实施成功,可以将其输入、输出部分作为一条规则或案例加入到综合知识库中。对于相对较为简单的规则知识,可以作为一条案例加入到案例库中。

2.4.3 基于案例的推理

基于案例的诊断推理一般包括案例的表示、组织、检索和学习等。故障案例的表示就是对故障尽可能进行详细的描述,包括故障原因、经过、特征、处理措施和效果等。故障案例的组织是在故障案例表示的基础上,根据故障案例的特征和检索需要,对故障案例进行整理和归类。案例的检索是根据一定的检索策略找到与待诊断故障相似的案例。案例的学习将决定是否将待诊断故障加到案例库中。

在进行问题求解时,系统即从案例库中寻找与之匹配的实例,若能找到完全匹配的实例,系统就会按照以前的求解思路去解决给定的问题;若找不到完全匹配的实例,系统就会找到一个类似的案例,并对其进行适当的修正,以满足当前的要求,同时将这个解存储到案例库中,若以后遇到同样的问题,系统就不会重复上述步骤,而是直接得到一个完全匹配的解,这就是基于案例系统自身的学习能力。案例推理技术经过多年的研究,取得了很大的成果,并在许多领域中得到广泛的应用。

一个诊断系统的案例越多,则其拥有的知识越丰富。但案例的积累应合理组织,不应是简单的堆积。

对故障诊断系统而言,各组成结构愈相似,案例愈具有价值。因此,案例可以采用结构分层分类组织的形式便于后面的学习与推理。

在一个基于案例的诊断系统中,如何高效、快速地完成案例的检索十分重要。案例的检测策略通常有3种:归纳推理策略、最近相邻策略和知识引导策略,而且每种检索方法都存在一些问题。

2.4.4 综合推理策略

专家系统故障诊断的方法主要有基于规则、模糊模型及案例的方法。这些方法各有优势,但均存在一定的局限性。因此,在实际诊断实施过程中需要充分利用各种诊断方法的优势,将其有机地结合,相互取长补短,从而达到提高诊断系统诊断精度及诊断效率的目的。

故障诊断推理通常由高层向低层进行,即首先由系统级开始,然后是部件级、功能模块级和元器件级。

专家系统的诊断策略为:对于同一层次的诊断,先考虑基于案例的诊断方法,若没有案例或诊断失败,再根据不同层次及信息获取方式和难易决定下步诊断策略。当在该层次信息获取难,但症状描述相对容易时,则采用基于规则的方法;若无规则可用或诊断失败,则考虑基于模糊模型方法进行诊断。当所有方法均告失败时,则将诊断结果作为一个新的案例。

2.4.5 诊断策略协调机构

诊断策略协调机构是专家系统故障诊断的关键部件,它起着承上启下的作用,使专家系统故障诊断各个部分有条不紊地工作,以充分发挥各部分的作用。协调机构由数据分类处理模块、诊断结果汇总模块和添加训练模块组成。

协调机构主要负责将现场实时数据进行分类,然后将数据进行预处理,并将处理后的数据送给基于模糊模型、规则和案例的推理模块,使各个诊断模块协调有序地工作,同时又把各个诊断模块的诊断结果进行汇总,分送到相应的显示模块进行显示,提高了故障诊断的效率。

协调机构利用模式识别原理对现场数据进行预处理(数据修补、数据去噪等),以保证送入各诊断模块的初始数据准确可靠,从而可大大提高系统故障诊断的正确率。专家系统在运行过程中,当规则模型知识不足时,协调机构负责新知识的添加,不断增强综合智能故障诊断专家系统的诊断功能。但当出现大量新的知识样本时,新知识添加要由人工来完成。

2.5 故障修复策略

专家系统的一个重要功能是要根据诊断结果的处理建议,利用系统本身的软硬件资源,采取不同的修复策略,修复系统的故障,恢复系统的使用功能。1) 利用系统本身的软硬件资源,修复系统的故障,恢复系统的全部使用功能;2) 利用系统本身的软硬件资源,隔离故障或修复系统的部分故障,恢复系统的部分使用

功能;3) 利用系统本身的结构特性和软硬件资源(例如热备份部件),进行系统重构,恢复系统的全部功能或部分重要使用功能;4) 根据地面站指令,利用系统的软硬件资源,修复系统的故障,恢复系统的使用功能。5) 若利用系统本身的软硬件资源,无法修复系统的故障,不能恢复系统的使用功能时,给出确切的故障指示。由使用和维护人员确定如何处理(如关机,根据指示的故障更换外场可更换部件LRU或内场可更换部件LRM或更换元器件等)。

2.6 设计环境的选取和系统界面

设计环境和系统界面的选取应根据用户的需要和使用的方便,专家系统应依靠合适的软硬件平台,采用面向对象的程序设计技术及先进的数据库技术。但是所设计的软硬件必须保证在方便使用的同时,又能方便与被检测系统进行信息交换。该技术最终影响到所设计的健康管理专家系统的使用性能。

2.7 可测试性设计技术

这里的可测试性是指被测系统的可测试性,系统的健康管理专家系统必须得到被测系统的软件、硬件技术上的支持。被测系统的可测试性也就是系统的健康管理专家系统的故障检测诊断能力。被测系统在设计时,必须要了解健康管理专家系统对它的所有需求。为了满足健康管理专家系统对它的可测试性要求,被测系统需要增加必要的硬件和软件。要研究测试性设计技术的优化,使增加的软件和硬件量最少,而达到的系统的可测试覆盖面最大。这不仅是经济性方面的要求,也是系统体积、重量和散热等方面的要求。

2.8 数据采集和记录、传输技术

2.8.1 数据采集和数据融合技术

健康管理检测航电系统各系统和部件工作状态,采集各种类型的数据信号,包括大电流信号、高电压信号、电源信号、数字信号、频率信号等,处理精度要求高,实时性强。并对所有采集到的可用数据进行综合分析和分类处理,运用先进的数据融合和数据挖掘技术进行故障的诊断和预测,作为预测与健康管理的决策依据。

2.8.2 数据记录和传输技术

数据记录和数据传输是健康管理系统研究中非常关键的技术,它负责记录飞机系统中各机载设备历史的和最新的工作状态及故障信息并传送到地面接收设备。随着电子技术的飞速发展,固态电子存储设备应运而生,固态记录技术也是研究中非常关键的技术。

2.9 地面维护数据库管理系统技术

地面维护数据库管理系统依据记录飞机上各个系统和部件的状态,运用基于人工智能的数据挖掘、数据

融合工具和先进的自学习算法以及决策支持技术提供先进的健康管理能力。管理这些系统和部件的生产厂商、出厂日期、产品寿命周期、维护的历史记录等有关信息,数据库管理系统同时对产品的质量信息、维护周期、工作寿命进行分析和预测,决策对飞机上的部件是否进行维护、返厂维修和做超期处理等。

3 结束语

航空电子系统只是飞机的一个重要的子系统,航空电子系统的健康管理专家系统也只是飞机的健康管理专家系统的一部分,它必须满足飞机健康管理专家系统的总体要求。完备的飞机健康管理专家系统有一部分软硬件(主要是软件)在飞机的各个电子设备中,由某个电子系统(如航空电子系统或独立的计算机系统)分工综合管理,另一部分是地面站设备。因此,飞机健康管理专家系统除了地面站设备外,其余部分都分别归属于飞机的各个分系统。在飞行过程中,空中和地面站设备通过无线电数据链进行通信,空中系统

向地面报告工作和故障情况(健康状况),地面设备指挥空中系统进行故障处理(当然,只有当空中系统对故障无法排解时)。飞机在地面时,可通过数据总线进行信息传输。显然,如果航空电子系统的健康管理专家系统设计得很好,那么,飞机的健康管理专家系统的设计也就不是难事了。

参考文献

- [1] 杨占才,王红,朱永波,等.飞机航电设备综合智能故障诊断专家系统研究[J].测控技术,2006,25(4):4-7.
- [2] 宁东方,章卫国,李斌,等.一种飞控系统健康管理专家系统的设备[J].测控技术,2007,26(6):76-78.
- [3] 王仲生,隆莹.飞行器远程故障诊断与健康监控[J].测控技术,2006,25(3):72-75.
- [4] 孙健,章卫国,宁东方.基于神经网络的飞控系统故障诊断[J].测控技术,2008,27(5):65-67.
- [5] 宋东,刘飞,吴信永.CBR故障诊断系统中的案例自修改方法研究及应用[J].测控技术,2008,27(5):81-83.

(上接第 24 页)

合不变矩作为特征时,时间由 $0.0295\text{ s} \rightarrow 0.0113\text{ s}$ 。同时可以得出,进行目标的分类识别时,训练样本数越多,识别的精度会更高,但也更耗时;组合不变矩虽然在运行时间上稍长于仿射不变矩,但是在识别率上要高于仿射不变矩。同时,对 FLDA 进行改进之后,即在分类前,先对所有样本特征进行主分量的提取,组合不变矩和仿射不变矩均提取前 2 个主分量来代替原始数据做分析。由于 PCA 在将高维向量转化的过程中,使得低维向量的各分量的方差最大,而且各个分类互不相关,可以达到最优的特征提取;同时 PCA 也解决了直接采用 FLDA 带来的大矩阵问题,因此采用 PCA 与 FLDA 相结合的算法在识别率上有一定的提高,在时间上有很大的改善,满足了识别的快速性。

本文的算法均是在 Pentium 主频 3.00 GHz ,内存 512 MB 的计算机,Matlab7.0 环境下仿真得出。若是将该算法移植到 DSP6000 系列图像处理平台的环境下进行仿真识别,根据 DSP 的高速数据处理的能力,训练识别的运行时间将有很大的提高,快速性也会得到更大的改善。

5 结论

本文提出了基于组合不变矩特征的空中目标识别方法,分别采用了 FLDA 和 PCA + FLDA 两种方法进行了目标的分类识别。该方法运用的前提条件是:在能获得到目标图像的情况下,对近距离的目标进行分类

识别;对距离较远,即弱小目标的情况下,该方法识别的效果不理想。同时,仿真实验比较了基于仿射不变矩和组合不变矩的两种特征的分类识别,在识别率和运行时间上做了定性和定量的分析。结果表明,采用组合不变矩的特征提取进行 PCA 与 FLDA 相结合的识别算法具有更高的识别率,而且识别速度上有很大的提高,满足识别的快速性的要求。

参考文献

- [1] 陈涛,栗毅,蒋咏梅,等.利用仿射几何特性提取图像中的仿射不变特征[J].中国图象图形学报,2007,12(9):1633-1641.
- [2] 欧彦江.图像不变矩特征及 NMI 特征研究[J].成都电子机械高等专科学校学报,2006(2):21-24.
- [3] 付波,周建中,彭兵,等.基于仿射不变矩的轴心轨迹自动识别方法[J].华中科技大学学报(自然科学版),2007,35(3):119-122.
- [4] FLUSSER J, SUK T. Pattern recognition by affine moment invariants[J]. Pattern Recognition, 1993, 26(1):167-174.
- [5] 袁强,张正兰.基于 Fisher 的人脸检测与识别[J].现代计算机,2007(5):50-52.
- [6] 王先基.基于统计学习的自动人脸识别算法研究[D].合肥:中国科学技术大学,2007.
- [7] BLANZ V, VETTER T. Face recognition based on fitting a 3D morphable model[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(9):1063-1074.
- [8] DRAPER B A, BACK K, BARTLETT M S, et al. Recognizing faces with PCA and ICA[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2003, 91(12):115-137.