

故障树专家系统在有效载荷状态诊断的应用

张薇,肖志刚,李博权

(中国科学院 国家空间科学中心,北京 100190)

摘要:故障树分析法(Fault Tree Analysis, FTA)是分析系统可靠性和安全性的一种重要方法,在各行各业故障诊断中得到了广泛的应用。通过将故障树分析法和基于规则的专家系统相结合,对于发现卫星故障并成功维修以确保在轨卫星应用任务的正常运行具有重要意义。文中建立了故障诊断框架,提出适合空间有效载荷故障知识获取及表示方法,可以极大地降低系统知识获取的难度,并提出载荷状态诊断的快速推理机制,实现了对实际任务中有效载荷状态故障的诊断。该诊断方法新颖,具有直观、非接触性、成本低、诊断速度快和正确性高的特点,能够极大地提高卫星运行控制工作的自动化程度、工作效率。

关键词:故障树;专家系统;有效载荷;模型

中图分类号:TP39

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2014)12-0028-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.12.007

Application of Fault Tree Expert System in Diagnosis about Payload Status

ZHANG Wei, XIAO Zhi-gang, LI Bo-quan

(National Space Science Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: Fault tree analysis is an important method for analyzing the reliability and security of the system, which is widely applied in various fault diagnosis industries. It is very important for finding satellite failures and maintenance to insure the satellite runs normally through combining the FTA with the expert system based on rules. In this paper, establish the fault diagnosis framework, propose a knowledge acquisition and representation method which is suitable for the space payload fault, it can greatly reduce the difficulty of knowledge acquisition. Also establish a fast inference mechanism that can quickly diagnose the payload state, which is featured in its visualization, low cost, accuracy, it can greatly improve the automation and efficiency of the satellite operation.

Key words: fault tree; expert system; payload; model

0 引言

故障诊断专家系统,是指计算机在采集被诊断对象的信息后,综合运用各种规则(专家经验),进行一系列的推理,必要时还可以随时调用各种应用程序,运行过程中向用户索取必要的信息后,可快速找到最终故障或最有可能的故障,再由用户来证实^[1]。故障诊断技术已成为当今各国研究热点之一,广泛应用到航空、航天、电力、机械、化工、船舶等领域中。

近年来,随着我国航天事业取得迅猛发展,在轨卫星数量不断增多,卫星在轨实时状态监视的工作日益繁重,这项工作具有工作时间长、技术难度大的特点同时又肩负着卫星平台上搭载的有效载荷状态判读的任

务,目前针对有效载荷故障诊断的研究很少,因此针对有效载荷的故障诊断展开研究对于发现卫星故障并成功维修以确保在轨卫星应用任务的正常运行具有重要意义。

1 实现技术研究

1.1 故障树分析法

故障树分析法(Fault Tree Analysis, FTA)是一种采用逻辑的方法,形象地分析系统安全性和可靠性的重要方法,具有直观、明了、思路清晰、逻辑性强等特点,因此在众多领域得到广泛的应用。故障树是一种特殊的倒立状逻辑因果关系图,它用逻辑门符号、事件

收稿日期:2013-12-29

修回日期:2014-04-03

网络出版时间:2014-09-11

基金项目:中国科学院战略性先导科技专项(XDA04080201)

作者简介:张薇(1981-),女,助理研究员,研究方向为软件测试;肖志刚,副研究员,研究方向为卫星运控技术。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20140911.1005.040.html>

符号和转移符号描述系统中各种事件之间的因果关系,在实际故障诊断过程中,把发现的设备故障作为基本出发点,根据系统间的因果联系进行逐级推理,从而找出导致故障的原因;同时,用相应逻辑符号将各级故障原因进行连接,从而形成一个树状结构的关系图^[2]。

故障树分析方法具有以下特点:

(1)是一种从系统到部件,再到零件的“下降形”分析方法。该方法从系统开始,通过由逻辑符号绘制出一个逐渐展开的树状分支图来分析故障事件的发生概率,同时也可以分析零件、部件、子系统故障对系统故障的影响,其中包括环境、人为因素等。

(2)故障树分析法对系统故障不但可以做定性的而且还可以做定量的分析;不仅可以分析由单一构件所引起的系统故障,而且也可以分析多个构件不同模式故障而产生的系统故障情况。

(3)主要是构造故障树的多余量相当繁重,难度也较大,对分析人员的要求也较高,因而限制了它的推广和普及。在构造故障树时要运用逻辑运算,在其未被一般分析人员充分掌握的情况下,很容易发生错误和失察^[3]。

1.1.1.1 故障树概念

顶事件:用“矩形”符号表示,是故障树分析中所关心的结果事件,位于故障树的顶端。

中间事件:用“矩形”符号表示,是位于顶事件和底事件之间的结果事件。

基本事件:通常用“圆形”符号表示,指未探明或已探明或发生原因的事件,如:人为操作失误、基本部件故障、环境因素等。

或门:代表一个或多个输入事件发生,即发生输出事件的情况。

与门:表现为逻辑积的关系,即表示当全部输入事件发生时,输出事件才发生的逻辑关系。

异或门:输入事件是互斥的,表示仅当某个输入事件发生时,特定的输出事件才发生。

1.1.1.2 故障树图元表示

图 1 为故障树符号表示。









顶事件	底事件	中间事件	基本事件
			
与门	或门	转移符号	异或门
			

图 1 故障树符号表示

1.2 专家系统

专家系统是一种设计用来模拟人类专家解决领域问题的计算机程序系统,其内部含有大量的专门知识和经验,能够利用某一领域一个或多个专家提供的知识和经验,应用人工智能技术和计算机技术,进行推理和判断,来处理该领域需要专家处理的复杂问题^[4-7]。该方法是故障诊断领域中研究最多、应用最广的一类智能诊断技术。按推理机制,专家系统可分为基于规则推理和基于模型推理的专家系统;按运行速度和工作方式可分为实时专家系统和非实时专家系统;按结构形式可分为功能分布式专家系统和集中式专家系统。一般而言,典型的专家系统主要由数据库、推理机、知识库和人机接口四部分组成,如图 2 所示。

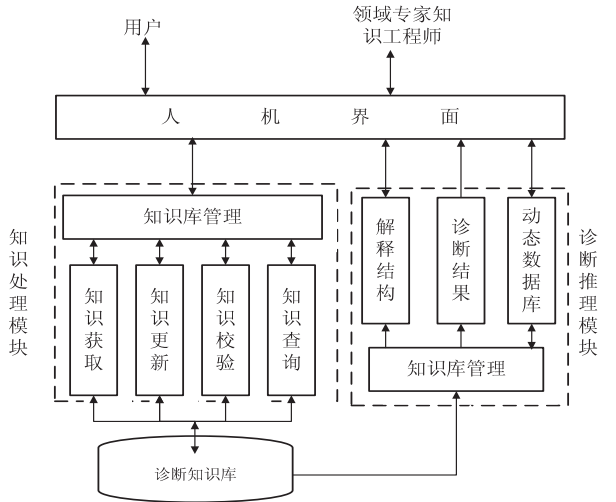


图 2 专家系统组成

(1)知识库:以一定形式存储从关于某个领域的专门知识、经验及书本知识、常识等。存放的知识可以是系统的工作环境,系统知识(反映系统的结构知识以及工作原理),设备故障特征值、推理规则、故障诊断算法等,反映系统的因果关系,用来进行故障推理。

(2)数据库:通常由静态数据库和动态数据库两部分构成。静态数据库存储的是相对稳定的参数,如设备的固有频率、设计参数等;动态数据库是设备运行中所检测到的状态参数,如设备的电压、电流、转速等。

(3)推理机:是专家系统的组织控制机构,是一组计算机程序,用于协调、控制专家系统工作。根据获取的信息综合运用各种规则,进行故障诊断,输出结果。

(4)人机接口:是人机信息的交接点,即人与专家系统交互的桥梁和窗口。

2 故障树诊断模型

基于故障树模型的故障诊断方法是一种基于模型的故障诊断方法,其知识表示方法通常有三种,一是基于规则的表示方法,二是面向对象的表示方法,三是框

架结构的表示方法^[8]。

2.1 基于框架结构的知识表示方法

(1) 规则的表示方法。

规则式表示方法也称作产生式表示方法,该方法用一系列符号的方式表现出相关领域专家实际问题时的逻辑思维过程,其规则表示的实质是一种因果关系,该表达方式具有以下特点:自然性、模块化、结构化、通用性等。

(2) 面向对象的表示方法。

面向对象的知识表示方法就是用面向对象中的类来表示相关知识,能够清晰反映各种复杂关系,具有很强的表达能力。具有以下优点:模块性、封装性、继承性、易维护性、多态性等。其表示方式如图 3 所示。

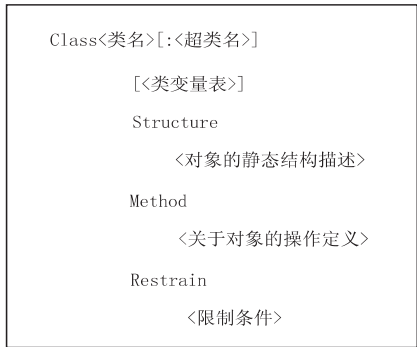


图 3 类描述形式

(3) 框架结构表示方法。

该表示方法基于框架理论,近年来在人工智能研究中应用较为广泛,其理论基础是:把框架作为知识表示的基本单位,其具体内容根据实际情况作相应的修改,最后得到一个特定的框架,从而完成诊断。

把故障树用框架结构表示,就是要把整个故障树用分层的树状框架系统结构来描述。图 4 是某传感器故障的故障树。

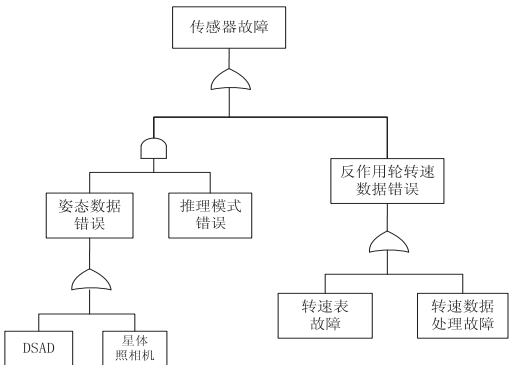


图 4 某传感器故障树

2.2 基于故障树的推理机制

推理机制是诊断专家系统的核心,其任务是根据检测到的某个有效载荷状态异常信息,按一定的推理策略进行推理分析,利用知识库的知识、逐步检查排除正常节点,最后确定故障类型并定位故障源,为用户解

决问题的过程^[9]。

文中采用正向推理策略,正向推理又称数据驱动推理,其推理基础是逻辑演绎的推理链,按照由条件推出结论的方向进行的推理方式,使用一组或者多组推理规则,从一组表示事实的命题出发,来证明命题的成立。其推理过程根据数据库中提供的一些已知事实,控制系统将这些数据与专家知识库中的知识进行匹配,触发新的知识,将得出的结论作为新的事实添加到数据库中。重复上述过程,用更新过的数据库中的事实再与专家知识库中其他知识进行匹配,将新得出的结论更新至数据库中,直到没有可匹配的新知识和不再有新的事实添加到数据库中为止。然后进行测试是否有解,有解则返回,无解则提示失败^[10]。

推理过程可用如下的算法描述:

- (1) 把用户提供的初始事实数据送入数据库中;
- (2) 检查数据库中是否包含问题的解,有则求解结束,否则执行下一步;
- (3) 将用户提供的事实与数据和专家知识库中的知识进行配对,若有,则转(4),否则转(6);
- (4) 将配对成功的所有知识构建成一个知识集;
- (5) 如果知识集非空,则按冲突消解策略利用一条规则进行推理,并将其推出的事实更新至数据库,然后转(2);如果知识集为空,则转(6);
- (6) 询问用户能否提供新的事实,如果能则将其添加至数据库,转(3);如果不能则表示问题求解失败,退出。

正向推理算法流程如图 5 所示。

3 需求分析

通常卫星工程系统由卫星系统、运载火箭系统、发射场系统、测控系统、地面支撑系统组成。其中,地面支撑系统由任务运行、地面接收、数据处理与管理三个分系统组成,如图 6 所示。任务运行分系统是地面支撑系统的重要组成部分,是各空间科学卫星的科学任务的综合运行与管理中心,主要任务之一就是对有效载荷在轨工作状态进行监视,特别是对有效载荷故障的判别、定位、处理等。因此可以将有效载荷专家及相关总体人员的专业知识、经验及处理故障的方法和思路继承下来,构建决策支持专家系统^[11],提高有效载荷状态监视的可靠性,降低风险。

3.1 故障预案

卫星任务执行期间,针对有效载荷可能出现的故障,及时、准确地提供故障对策,确保卫星运行安全。

3.2 有效载荷状态异常分析

通过载荷方及相关总体人员提供的参数信息、业务规则和约束条件,确保运控人员能够获取准确、恰

当、足够的信息来进行故障的推理判断和决策,能够为决策人员提供异常问题的分析和协查^[12]。

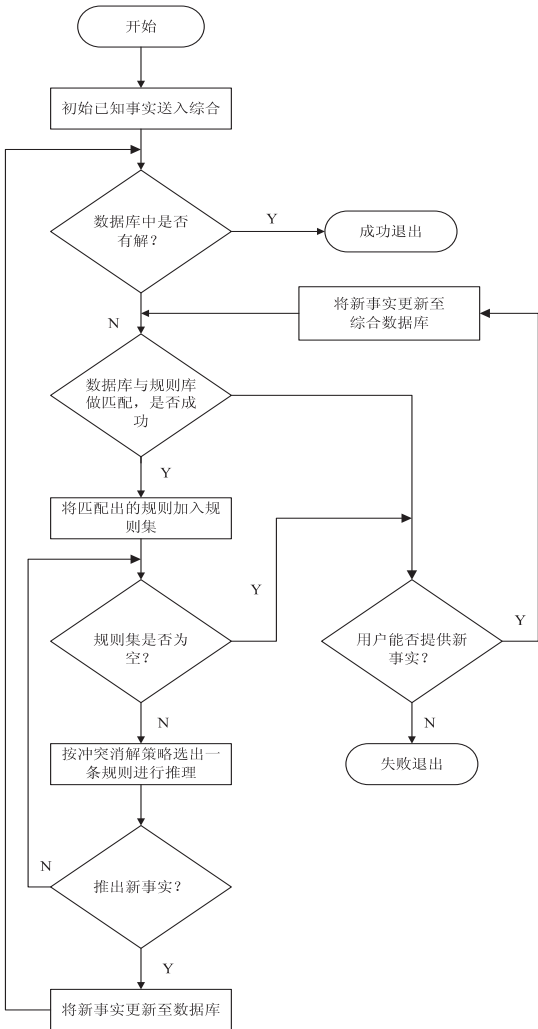


图 5 正向推理流程

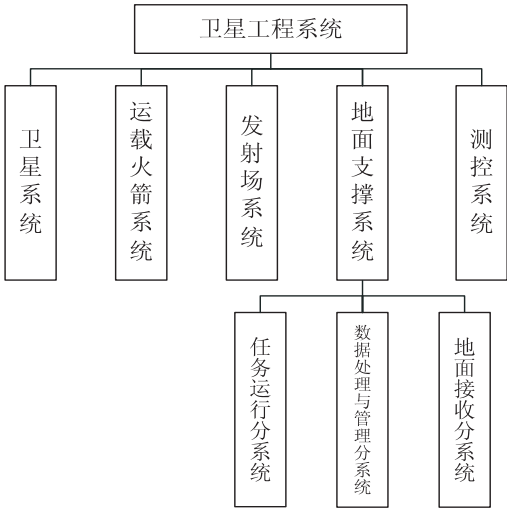


图 6 卫星系统构成

3.3 综合状态展示

卫星任务执行期间,针对当前数据,并结合历史数据,实现任务全生命周期的状态综合显示,为决策人员把握任务的全局状态提供信息支持。

4 设计

决策支持专家系统构成主要包括以下方面:遥测数据处理与分析,卫星综合状态展示,异常辅助分析,处理方案形成,数据管理与存储^[13],系统结构如图 7 所示。

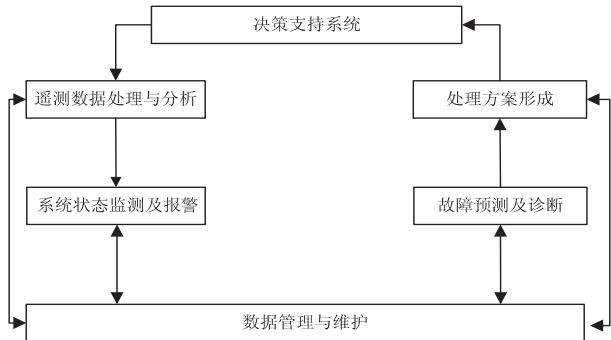


图 7 决策支持系统结构

4.1 遥测数据处理与分析

通过网络实时接收前端软件发送的原始遥测数据(含实时数据和回放数据),并将实时数据存储为遥测原始数据文件,根据卫星遥测下行数据格式,对原始遥测数据进行格式同步处理后,完成遥测参数的物理量转换处理,对处理后的遥测参数入库。

4.2 卫星综合状态展示

负责检索与卫星任务相关的基础数据,实现所有与卫星任务状态的综合显示,为卫星运控人员把握卫星平台及有效载荷状态提供信息支持。

4.3 异常辅助分析工具

能够给卫星运控人员提供异常问题的分析和检查,通过读取异常点,依据载荷方及有关总体人员提供的配置信息关联相关参数信息、业务规则和约束条件,提供统计分析工具,为用户获取正确、恰当、足够的信息来进行故障的推理判断和决策。

5 结束语

决策支持专家系统应用在卫星运行控制工作中,能及时检测和诊断故障,完成卫星平台及有效载荷的高效管理,维护卫星正常运行和应用,能够极大地提高卫星运行控制工作的自动化程度、工作效率。

参考文献:

[1] 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(22):135-137.
[2] 刘 江.基于故障树的通用航空器故障诊断专家系统研究[D].德阳:中国民航飞行学院,2011.
[3] 维齐利.故障树手册[M].北京:原子能出版社,1987.
[4] 高恒振.成像卫星综合任务规划专家决策支持技术研究[D].长沙:国防科学技术大学,2006.

行图像分割,得到的阈值为 66、117、166 和 233,较 Otsu 和最大模糊熵的阈值 128 和 52,文中算法取得了更好的分割效果。实验结果表明,文中的算法可以根据不同的图像,实现模糊隶属度函数窗宽和阈值的自动选取,实用性较强,可以推广应用到类似的多峰分布的图像中。



(a)某学校校景图



(b)图像(a)的分割结果图

图 4 某学校校景灰度图及其分割图像

5 结束语

文中将模糊熵的概念应用到图像分割中,基于信息论中,熵最大代表着传递的信息量最大,因此可以将取得最大熵的点作为阈值分割点,建立最大模糊熵多阈值分割方法。首先采用波峰波谷梯度检测法初步确定阈值,在确定波峰位置的基础上,利用波峰间距来控制模糊隶属度函数的窗宽大小,使其随着图像直方图的分布变化而变化。对于直方图多峰分布的图像,分段采用最大模糊熵阈值确定方法,实现图像的多阈值分割。此外,文中将所提出的算法应用在不同背景、不同光照强度下获取的图像中,并且与 Otsu 方法、最大熵方法、最大模糊熵阈值分割方法及模糊 C 均值聚类方法进行比较,实验结果充分表明了文中算法的有效

性和实用性。

参考文献:

- [1] Rajapakse J C, Giedd J N, Rapoport J L. Statistical approach to segmentation of single-channel cerebral MR images[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 1997, 16(2): 176-186.
- [2] Amaral T G, Cridstomo M M, de Almeida T. Image thresholding by minimisation of fuzzy compactness and linear index of fuzziness[C]//Proc of IEEE international fuzzy systems conference. Seoul, Korea; IEEE, 1999.
- [3] 景晓军,蔡安妮,孙景鳌.一种基于二维最大类间方差的图像分割算法[J]. 通信学报, 2001, 22(4): 71-76.
- [4] 唐新亭,张小峰,邹海林.图像分割的最大熵方法改进[J]. 计算机工程与应用, 2012, 48(1): 212-215.
- [5] 吴成茂.一种新信息熵定义及其在图像分割中的应用[J]. 西安邮电学院学报, 2009, 14(1): 72-79.
- [6] Gonzalez R C, Woods R E. Digital image processing[M]. [s. l.]: Addison-Wesley, 1993.
- [7] Shannon C E. A mathematical theory of communication[J]. Bell System Technical Journal, 1948, 27: 379-423.
- [8] 朱 炜,徐玉如,秦再白.基于 PSO 和模糊划分熵的水下图像分割[J]. 光学技术, 2007, 33(5): 754-758.
- [9] 宋欢欢,李 雷.基于模糊熵的两种图像增强技术[J]. 计算机技术与发展, 2013, 23(6): 67-70.
- [10] 丁 艳,金伟其,刘 伟.基于模糊率的自适应多阈值图像分割方法[J]. 兵工学报, 2009, 30(9): 1211-1216.
- [11] 房晓东.基于遗传算法的图像多阈值分割[J]. 电脑知识与技术, 2012, 29(8): 7097-7010.
- [12] 吴 薇.基于最大模糊熵原理的多阈值图像分割新算法[J]. 系统工程与电子技术, 2005, 27(2): 357-360.
- [13] 罗艳辉,邓飞其,李 彬.基于人工免疫的烟草异物图像多阈值分割[J]. 计算机仿真, 2009, 26(9): 190-193.
- [14] 徐琳俊,陈红卫.基于 Otsu 与模糊技术的图像分割方法[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(32): 194-197.
- [15] 王玉梅.基于最大模糊熵和灰度变换的靶场测量图像增强技术[J]. 战术导弹技术, 2010(4): 36-38.

(上接第 31 页)

- [5] 吴泉源,刘江宁.人工智能与专家系统[M].长沙:国防科技大学出版社,1995.
- [6] 蔡自兴, Durkin J, 龚 涛.高级专家系统:原理、设计及应用[M].北京:科学出版社,2005.
- [7] 张全寿,周建峰.专家系统建造原理及方法[M].北京:中国铁道出版社,1992.
- [8] 廖贵敏.基于故障树模型的知识表达方法综述[J]. 电脑与信息技术, 2000, 8(1): 6-8.
- [9] 王 帆,李绪志.故障树和证据推理结合的故障诊断技术[J]. 微计算机信息, 2007(25): 165-167.

- [10] 鲁 青.基于 FTA 的故障诊断专家系统的研究[D].济南:山东科技大学,2006.
- [11] Barua A, Sinha P, Khorasani K. On the fault diagnosis and failure analysis in the satellite attitude control subsystem[J]. Space OPS, 2004(7): 2658-2663.
- [12] Giarrantano J, Riley G. Expert system principles and programming[M]. [s. l.]: PWS Publishing Company, 1998.
- [13] Zhang K, Jiang B, Shi P. Adaptive observe-based fault diagnosis with application to satellite attitude control systems[J]. Journal of Aerospace Computing, Information, and Communication, 2007(11): 147-151.

故障树专家系统在有效载荷状态诊断的应用

作者：[张薇](#)，[肖志刚](#)，[李博权](#)，[ZHANG Wei](#)，[XIAO Zhi-gang](#)，[LI Bo-quan](#)
作者单位：[中国科学院 国家空间科学中心, 北京, 100190](#)
刊名：[计算机技术与发展](#)[ISTIC](#)
英文刊名：[Computer Technology and Development](#)
年，卷(期)：2014(12)

引用本文格式：[张薇](#).[肖志刚](#).[李博权](#).[ZHANG Wei](#).[XIAO Zhi-gang](#).[LI Bo-quan](#) [故障树专家系统在有效载荷状态诊断的应用](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2014(12)