

基于 UML 的航电设备故障诊断与预测系统设计

王久崇¹, 樊晓光², 毋建平¹

(1. 中国人民解放军 93868 部队, 宁夏 银川 750025; 2. 空军工程大学 航空航天工程学院, 西安 710038)

摘要: 由于面向过程的传统程序设计方法的缺点, 采用具有面向对象技术的统一建模语言 (UML) 进行航空电子设备的故障诊断与预测系统设计; 根据电子设备的特性, 在分析了本系统需求的基础上, 建立了该系统的 UML 模型, 设计并开发了此航空电子设备的故障诊断与预测系统软件; 利用软件性能测试调试过程中, 某航空电子设备电源的 +5V 输出电压数据序列状态趋势预测结果, 说明了该系统的有效性。

关键词: 航空电子; 故障诊断与预测; 面向对象; 统一建模语言

Design of Avionics Fault Diagnosis and Prediction System Based on UML

Wang Jiuchong¹, Fan Xiaoguang², Wu Jianping¹

(1. No. 93868 Unit of PLA, Yinchuan 750025, China;

2. Areonautics and Astronautics Engineering College, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China)

Abstract: For the disadvantage of the traditional procedure-oriented programmer method, the Unified Modeling Language which possesses object-oriented technology is adopted to design the avionics fault diagnosis and prediction system. On the identity of the electronic equipment, the UML model of this system is constituted, the avionics fault diagnosis and prediction system software is designed and empo-dered based on the analysis of this system requirements. Make use of the process of the software debugging and performance testing, the re-sult of state trend prediction for the data sequence of the avionics equipment +5V outputted voltage showed the validity of this system.

Key words: avionics; fault diagnosis and prediction; object-oriented; UML

0 引言

航空电子系统由于其复杂性、可靠性及电子产品本身的特点, 使得其较机械设备故障更难以诊断与预测。相比之下, 基于特征参数的智能故障诊断与预测方法易于实现, 逐渐成为研究热点^[1-2]。面向过程的软件设计方法, 由于其严格的步骤顺序性使得其存在复杂度高、容错性差、扩展性弱等缺点, 而面向对象技术为解决这一问题提供了一个很好的设计思路, 并且已取得了一些成就^[3-4], 但在软件设计过程中未能很好地处理推理方式和数据管理的联系统一性。统一建模语言 (Unified Modeling Language, UML) 使用面向对象概念进行软件系统建模已被国际标准化组织作为软件建模领域的国际标准^[5]。

本文提出的基于 UML 的航电设备故障诊断与预测系统, 用联系的观点将基于智能理论的推理方式与数据管理作为一个统一的整体进行研究, 即, 把数据和推理分别作为对象的属性和行为进行封装。由面向对象本身的特点可知, 该系统方法简单, 易于实现, 且具有较好的可修改性和可扩展性以及鲁棒性和容错性强等特点。

1 航空电子设备特性分析

现代电子设备与传统电子设备相比: 电路技术运用越来越多, 结构日趋复杂, 传统的测试技术无法实施; 新器件、新工艺应用越来越多, 使得电路复杂程度增加、可测性变差, 对电路的测试性设计提出更高的要求; 数字电路比例大, 电路结构

呈网状、电路信号数字化, 使得对信号检测和故障隔离的难度均增大; 可编程电路增多, 软硬件结合呈常态, 并常带有总线, 电路工作处于一种交叉、闭环工作状态, 使得传统的检测方法已不适用; 程控电路增多, 智能水平较高, 要求测试设备须具有智能诊断预测判断能力。

可见, 当代的电子设备高技术含量越来越多, 装备向综合化、系统化、智能化方向发展, 从而使电子设备越来越复杂。

2 故障诊断与预测系统方案设计

2.1 需求分析

航空电子设备的故障诊断与预测系统, 是建立在该设备特征状态数据的基础上, 该系统应具有以下主要功能:

- (1) 主要特征状态数据的采集和存储能力, 能够完成各个功能模块单元的输入输出、状态特征和环境信息数据的采集和存储, 已知故障模式的记录。
- (2) 设备健康状况特征数据的监测判断能力。
- (3) 设备的故障诊断能力, 判别故障的位置。
- (4) 设备的故障预测能力, 预报未来设备的健康状况和发展趋势, 判别未来故障模式。
- (5) 输出设备健康状况结论。

2.2 总体结构

系统结构框架如下图所示。利用采集到的各种数据, 通过智能理论实现故障诊断与预测, 为设备维护维修活动提供依据。

状态监测: 包括数据的获取、预处理和监测, 监测过程就是利用一些主要敏感数据的正常范围对设备的元部件的关键数据进行监视。

收稿日期:2012-11-12; 修回日期:2013-01-10。

基金项目:国家自然科学基金(61172083)。

作者简介:王久崇(1984-), 男, 硕士研究生, 主要从事故障诊断与预测、优化算法方向的研究。

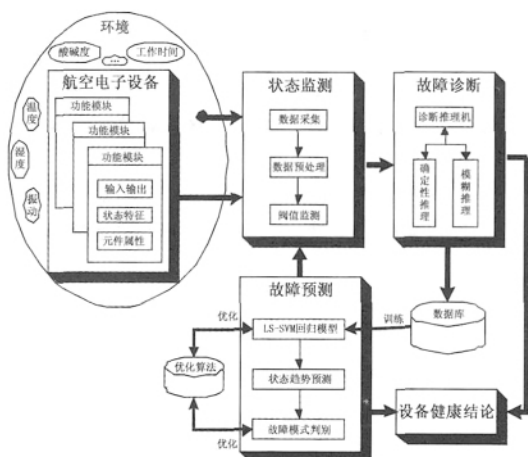


图1 故障诊断与预测系统结构

故障诊断：包括故障树的确定性推理和故障树的模糊推理来处理精确信息与模糊信息，实现故障诊断。具有方法直观、诊断速度快、知识库易动态修改和可靠性好等特点。

故障预测：由设备特征数据状态趋势预测和故障模式判别两大部分组成，实现故障预测和可信度计算功能。具有自适应性好、算法较优和实际应用可操作性强等特点。

数据库用于存放故障诊断和预测所需的航空电子设备的各种数据、基本的故障模式信息、故障树的推理规则、系统运算的中间和结果数据、备用用户查询的历史故障等信息。

优化算法用于对最小二乘支持向量机的参数和故障模式识别过程的优化，以提高预测的精度和效率。

3 系统的UML建模

UML定义了建立面向对象系统模型所需的概念和建模元素，并给出了其可视化表示，用于建立系统的分析模型和设计模型。

3.1 面向对象的基本思想

面向对象技术是一种运用对象、类、继承、封装、聚合、关联、重载、消息、多态性等概念来构造系统的软件开发方法^[6-7]。

面向对象方法从问题域中客观存在的事物出发来构造软件系统，用对象作为这些事物的抽象表示，并作为系统的基本构成单位。它用对象的属性表示事物的静态特征，用对象的方法表示事物的动态特征。对象的属性与方法结合为一体，成为一个独立的、不可分的实体，对外屏蔽其内部实现细节。通过对事物进行分类，把具有相同属性特征和相同方法的对象归为一类。类是这些对象的抽象描述，每个对象是其类的一个实例。通过在不同程度上运用抽象的原则可以得到较一般的类和较特殊的类。特殊类继承一般类的属性与服务，从而简化系统的构造过程。复杂的对象可以用简单的对象作为其构成部分，在面向对象中用组合或聚合表示。对象之间通过消息进行通信，以实现对象之间的动态联系，并通过关联表达对象之间的静态关系。

总之，类和对象是系统的基本构成单位。对象对应问题域中的事物，其属性与方法刻画了事物的静态特征和动态特征，它们之间的断承关系、聚合关系、消息和关联如实地表达了问题域中事物之间实际存在的各种关系。无论是系统的构成成分，还是通过这些成分之间的关系而体现的系统结构，都可以

直接地映射到问题域。

3.2 航电设备故障诊断与预测系统模型

基于UML软件建模分为3个阶段：需求阶段、静态阶段和动态阶段^[8]。

3.2.1 需求阶段模型

该阶段主要定义系统用户、明确系统功能，用UML的用例图描述。用例是对系统与其参与者交互时所能执行的一组动作序列的描述。

通过调研和文献阅读，奠定了故障诊断与预测系统的需求分析和总体设计的基础，明确了该系统的规模、功能要求和复杂程度，如图2所示。

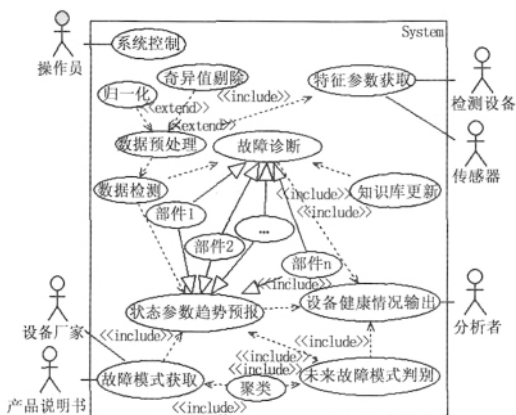


图2 系统用例图

3.2.2 静态模型

该阶段主要寻找正确的类、分析类的属性和操作以及类之间的关系，用UML的类图描述。静态建模就是建立系统的类模型。类模型描述了系统内部对象的特征、对象之间的关系以及对对象所属的每个类的属性和操作，全面描述系统的静态特征。

UML的静态建模中，类之间的关系有：一般—特殊关系，即在面向对象术语中称为继承关系，在UML术语中称作泛化关系；整体—部分关系，用于描述系统中各类对象之间的组合关系。

根据故障诊断与预测系统的实际需求，将电子设备中的每个被测实体封装一个独立的、异步的、并发的对象进行处理。每个对象定义了对象属性和对象方法：对象属性描述该实体的状态、组成和特性；对象方法描述该实体的行为特性，主要表现为对数据的一系列操作。

按照系统功能需求，首先定义了一个故障预测基类和一个诊断基类，分别包含预测和诊断所需的所有变量和功能函数，并结合该故障诊断与预测系统的功能特点将其实现过程封装为各个功能模块。各功能模块在继承这两个基类全部属性和操作的基础上，分别根据各自的特点，利用多态性的重载方法，重新定义适合于自身的变量和功能函数，用以完善整个故障诊断与预测的推理过程。在程序定义时，如果子类的定义与父类产生冲突时，以子类的定义为主。系统对象类的关系简图，如图3所示。

其中，对象（电子设备的被测实体）是数据采集类、故障诊断类和故障预测类的一个实现，同时也继承了三者的属性与操作。将对象的特征数据与其操作方法封装为一个整体，这样

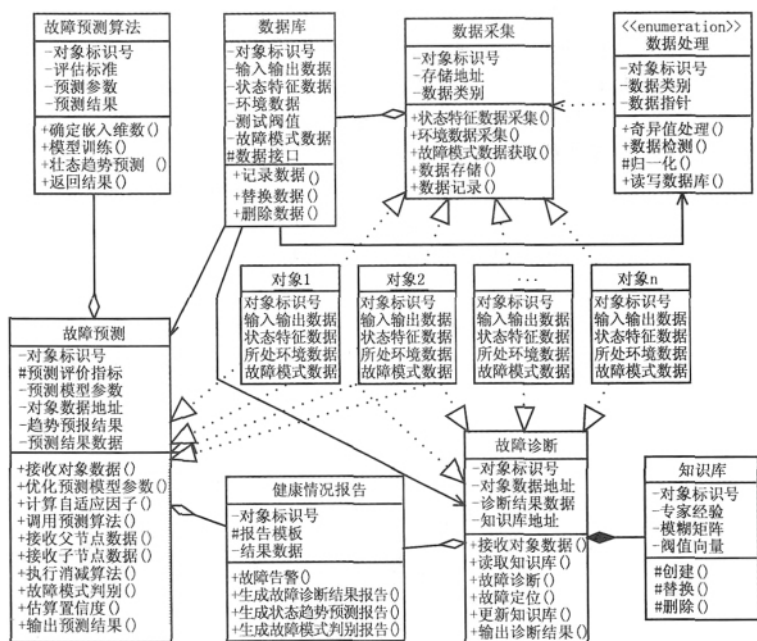


图3 系统对象类图

就将推理方式和数据管理方法有机地统一联系起来，使对象成为一些各司其职、互不干扰的独立单位，消息通信则为它们提供了惟一合法的动态联系途径，使它们的行为能够互相配合，构成一个有机的、运动的系统。

在程序实现上，整体一部分结构的聚合关系实现为“嵌套对象”方式：在整体对象的类中定义一个或多个属性，它的数据类型是部分对象的类。这样，当一个整体对象被创建时，它的部分对象也同时被创建。关联是两个或者多个类上的一个关系，它的每一个元素都是一组有序对，来自它所关联的所有类，采用“对象指针”的方式实现。

3.2.3 动态模型

该阶段主要分析对象的状态和转换、分析对象之间的交互、分析操作的活动过程，用UML的状态图、顺序图和活动图进行描述。状态图专注于描述对象内部的状态和状态之间的变迁，这种变迁需要事件的触发；活动图描述操作的行为，或描述用例和对象内部的工作过程，其依据对象状态的变化来捕获动作的结果。顺序图是在一个协作中对象之间为完成所要求的功能而进行的信息交换，表示的是时间顺序。由于篇幅所限，这里只给出顺序图，在一定程度上体现软件系统的工作流程。

4 系统软件设计及测试

4.1 软件组成结构

故障诊断与预测系统的软件结构及功能组成如图5所示，主要包括用户界面、系统任务调度管理、状态数据操作、故障知识操作、故障诊断推理、状态趋势预测和故障模式判别。

用户界面：包括系统界面和各功能性界面，用于实现人机交互。

系统任务调度管理：主要用于实现系统按照各个不同功能模块的独立封装，便于对各功能模块的属性操作。

状态数据操作：封装了对设备各种特征状态数据的操作动作，便于各功能模块的调用。

故障知识操作：封装了设备各种故障模式知识的操作动

作，实现对数据库中的设备故障模式数据的读写、更新等操作。

故障诊断推理：封装了系统故障诊断这一功能模块的基本动作。故障诊断是基于故障树的确定性推理和模糊推理实现的。

状态趋势预测：实现系统状态趋势预测这一功能的操作动作的封装。状态预测采用的是最小二乘支持向量机理论实现的。

故障模式判别：实现预测数据的故障模式识别功能操作的封装，与状态趋势预测模块，共同实现故障预测。故障模式判别是基于K-均值聚类算法实现的。

人工智能：是指系统软件实现故障诊断与预测所依赖的人工智能算法，主要包括故障树推理、最小二乘支持向量机以及一些智能优化算法。是系统软件实现基于特征状态数据的航空电子设备故障诊断与预测的核心。数据库：用于存储设备特征状态数据、运算中间值、诊断结果、预测结果，以及推理规则等信息。

4.2 测试结果分析

软件在使用前须进行性能的测试与调试，以某型机载综合数据采集器的电源模块的+5V输出电压数据序列进行状态趋势预测测试为例说明其有效性。软件调试界面及结果如图5所示。

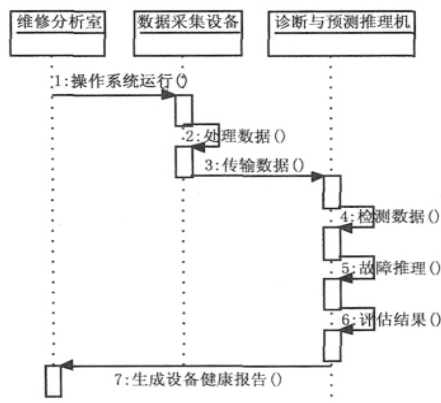


图4 系统基本顺序图

软件有效性测试时，以+5V输出电压的55个样本进行数据的趋势预测，训练测试结果如图6的图形显示区所示，说明本系统能够对数据序列状态趋势实现预测。采用最小二乘支持向量机的机器学习法的状态趋势预测，在进行样本的相空间构造时取嵌入维数为6，用前40个样本训练LS-SVM。预测测试用这55个样本序列的前6个样本作为输入预测出第1个预测值，然后将这个预测值置于上一次预测输入序列的最后一个位置，再取此序列的后6个数据作为输入进行下一次预测，如此重复循环，直到预测出第55个数据，再用原样本与预测值对比评价预测模式。系统预测出的第1个数据实际上对应着原序列的第7个样本，所以上图图形显示的预测值是从第7个数值开始的。

系统对采集到的数据进行监测，发现异常则通过故障树的确定性推理和模糊推理进行诊断，如果诊断无故障则进行LS-SVM状态趋势预测，再利用K-均值聚类算法进行故障模

(下转第1765页)

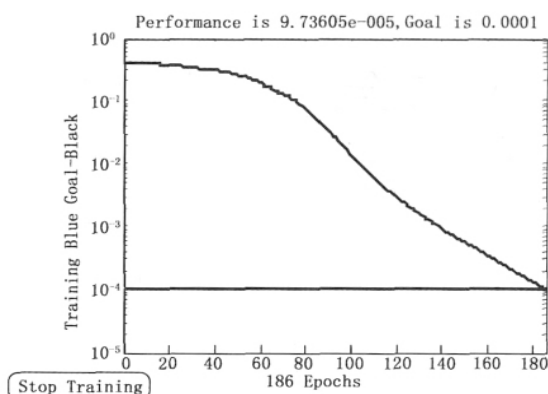


图5 网络训练误差曲线

的故障特征频率提取出来,通过与理论特征频率相比较,从而判断轴承的故障。同时,为了实现轴承故障的智能诊断,结合BP神经网络自适应、自学习、非线性等特点,将各分量的包络信号的能量值作为特征向量,训练网络,经过试验证明,成功的识别了轴承的故障。

参考文献:

- [1] 钟秉林,黄仁.机械故障诊断学[M].北京:机械工业出版社,2007.
- [2] 张彦强,乔文刚.利用共振解调技术对滚动轴承故障诊断[J].包钢科技,2010,36(4):46-48.

- [3] 张雄希,刘振兴.共振解调与小波降噪在电机故障诊断中的应用[J].电机与控制学报,2010,14(6):66-70.
- [4] Olhede S, Walden A T. The Hilbert spectrum via wavelet projections[J]. Proc R Soc Lond: A, 2004, 460: 955-975.
- [5] Cheng J S, Yu D J, Yang Y. Research on the intrinsic mode function (IMF) criterion in EMD method[J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2006, 20(4): 817-824.
- [6] Qin S R, Zhong Y M. A new algorithm of Hilbert-Huang transform[J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2006, 20(8): 1941-1952.
- [7] 程军圣,张亢,杨宇.局部均值分解方法在调制信号处理中的应用[J].振动、测试与诊断,2010,30(4):362-366.
- [8] Chen Baojia, Chen Xuefeng, He Zhengjia, et al. Mechanical Fault Diagnosis Based on Local Mean Decomposition Method[A]. International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation[C]. Changsha, China, 2009.
- [9] 刘卫兵,李志农,蒋静,等.局域均值分解方法在机械故障诊断中的应用[J].机床与液压,2011,39(1):128-131.
- [10] Smith J S. The local mean decomposition and its application to EEG perception data[J]. Journal of the Royal Society Interface, 2005, 2(5): 443-454.
- [11] Dr. Kenneth A. Loparo. Bearing Data Center[EB/OL]. Case Western Reserve University. <http://csegroups.case.edu/bearingdatacenter/pages/download-data-file>.
- [12] 胡耀斌,厉善元,胡良斌.基于神经网络的滚动轴承故障诊断方法的研究[J].机械设计与制造,2012,(2):187-189.

(上接第1736页)

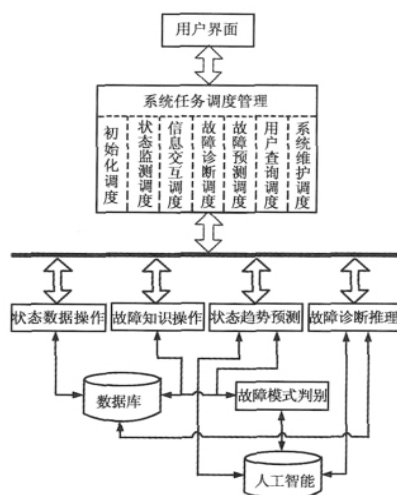


图5 系统软件结构框架

式判别,实现故障预测。如果在数据监测中未发现异常则直接进行预测环节。不再赘述。

5 结论

通过对航空电子设备特性分析及故障诊断与预测系统的需求分析,设计了该系统的总体结构,并利用统一建模语言(UML)建立了系统各个阶段的面向对象模型,为系统软件开发奠定了基础。最后通过对系统软件的测试性调试,论证该故障诊断与预测系统软件的有效性。下一步工作重点将是进一步完善系统功能,优化软件程序,设计更方便快捷的人机环境。

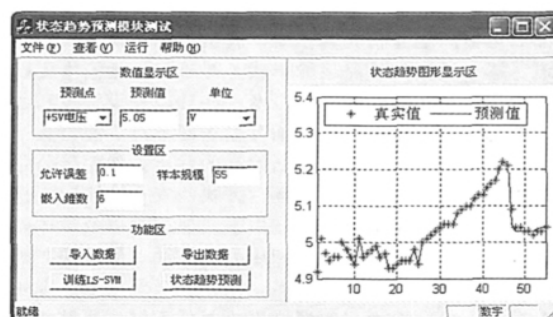


图6 状态趋势预测测试调试界面

参考文献:

- [1] 方甲永.复杂航空电子设备故障诊断与综合预测研究[D].西安:空军工程大学,2011.
- [2] 荆献勇.基于智能理论的电子设备故障预测方法研究[D].西安:空军工程大学,2010.
- [3] 孙寒星,黄洁,赵拥军.雷达辐射源识别专家系统中的推理机设计[J].现代雷达,2005,27(1):10-13.
- [4] 闫锐兵,高颖,王修亮,等.水下目标识别的知识表示及推理[J].计算机仿真,2011,28(1):194-197.
- [5] 林宏,曾一.基于UML的面向对象软件测试框架[J].重庆大学学报,2003,26(8):43-47.
- [6] 邵维忠,杨芙清.面向对象的系统分析(第2版)[M].北京:清华大学出版社,2006.
- [7] 魏培智,闫杰,王久崇,等.基于面向对象的故障预测推理系统设计[J].计算机测量与控制,2012,20(10):2609-2610.
- [8] 邵维忠,杨芙清.面向对象的系统设计(第2版)[M].北京:清华大学出版社,2007.