

# ATML 在综合运载器健康管理中的应用

张莉<sup>1,2</sup>, 袁海文<sup>1</sup>, 王秋生<sup>1</sup>

(1. 北京航空航天大学自动化科学与电气工程学院, 北京 100083; 2. 陕西师范大学计算机科学学院, 西安 710062)

**摘要:** 综合运载器健康管理(IVHM)技术是提高飞机、航天飞行器安全性、可靠性及可维护性并有效降低成本的重要途径。针对 IVHM 系统的高互操作性以及复杂数据交换特点, 提出采用自动测试标记语言(ATML)对航空机载设备进行形式化和规范化描述, 有利于实现系统的高度集成以及可扩展性, 结合航空电源故障诊断与预测系统的实例, 论述了 ATML 在综合运载器健康管理中的应用。

**关键词:** 综合运载器健康管理; 数据交换; 自动测试标记语言

## Application of ATML in Integrated Vehicle Health Management System

ZHANG Li<sup>1,2</sup>, YUAN Hai-wen<sup>1</sup>, WANG Qiu-sheng<sup>1</sup>

(1. School of Automation Science and Electrical Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083;

2. College of Computer Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062)

**[Abstract]** The technology of Integrated Vehicle Health Management(IVHM) is an important approach to improve the security, reliability and maintainability of plane and spacecraft, and to reduce their cost significantly. In terms of interoperability and exchanging of complicated data for IVHM system, a method using ATML to describe the information of devices and conditions for the aircraft onboard machine is proposed. The formalized and standard description is advantageous to implement integration and expansibility of IVHM system. By using the example of aircraft electric power diagnosis and prognostic system, it demonstrates the application of ATML in IVHM system.

**[Key words]** Integrated Vehicle Health Management(IVHM); data exchange; Automated Test Markup Language(ATML)

### 1 概述

随着现代工业和国防设备自动化程度的不断提高, 航空、航天等高新技术领域对运载器(飞机或航天飞行器)的状态预测和故障诊断的要求日益加大。在以计算机技术为代表的信息技术的发展下, 运载器故障诊断系统已从单一的各个分系统的状态检测、故障诊断向集状态检测、故障诊断、预测、健康管理等功能为一体的综合运载器健康管理(Integrated Vehicle Health Management, IVHM)系统发展<sup>[1]</sup>。在 IVHM 分层体系结构中, 不同的处理层对数据有不同的侧重点和处理需求, 由于以往的运载器设备数据模型都是针对某些特定处理需求进行构建的, 不能完全表达运载器设备的所有信息, 因此需要建立面向多类型需求的数据库, 这些数据库的信息组织结构往往是异构的, 不利于信息的集成, 同时数据表示的差异成为数据应用的瓶颈, 导致不能有效地进行数据挖掘, 获取有用的诊断和预测信息。为了解决上述问题, 本文提出采用自动测试标记语言(Automated Test Markup Language, ATML)技术对航空机载设备形式化和规范化描述的解决方案, 并将其应用到航空电源诊断与预测系统中。实践结果表明该方法大大提高了不同应用程序间的数据交换速度, 减少了信息冗余。该实例为综合运载器健康管理实现信息共享和集成、提高系统的可用度提供了技术支持。

### 2 综合运载器健康管理系统的

运载器健康管理概念出现于 20 世纪 70 年代, 它定义为一些活动的集合<sup>[2]</sup>, 这些健康管理活动可以分为 4 个阶段, 图 1 所示为健康管理活动生命周期模型。

(1) 状态检测。利用诊断及预测知识进行监测与故障

隔离。

(2) 健康评估。在对故障进行必要的处理时对故障的模式及影响进行分析, 尽量降低故障的影响率, 从而保证任务的有效性。

(3) 修复。替换发生故障的部件或把它恢复到正常状态。

(4) 验证。确定故障部件已被修复并保证没有潜在的负面影响。

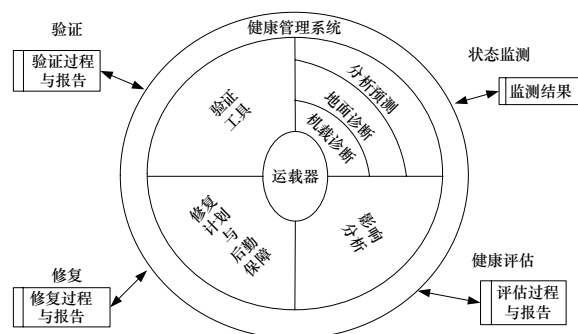


图1 健康管理活动生命周期模型

从图 1 可看出, 综合运载器健康管理将这些健康管理活动集成为一体, 实现以信息为依据的运行和维修, 通过获取、处理和综合整个系统(包括运载器、子系统、部件、传

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(60504023)

**作者简介:** 张莉(1969—), 女, 博士研究生, 主研方向: 控制理论, 控制工程, 计算机仿真; 袁海文, 教授、博士生导师; 王秋生, 副教授、博士

**收稿日期:** 2007-06-30

**E-mail:** zhangli@snnu.edu.cn

传感器和地面保障系统)的健康信息,为不同任务执行者提供信息和辅助决策<sup>[3]</sup>,当运载器发生异常时,使其恢复到正常状态并对系统安全和所执行任务的影响达到最小,以此降低风险,避免发生不可预料的危险事故。

从信息处理和交互角度,综合运载器健康管理系统分成6个信息层<sup>[4]</sup>,如图2所示。

(1)信号处理层将来自传感器或控制系统的数据转换成IVHM系统所要求的形式。

(2)状态监测层完成对材料状况以及部件或子系统特性的测试并给出相应报告。

(3)健康评估层实现故障诊断并报告所评估的部件或子系统的健康状况。

(4)预测层实现对系统中关键部件剩余可用寿命的估计。

(5)决策支持层实现后勤保障信息的管理以及对IVHM系统性能和有效性的评价。

(6)表示层是IVHM系统与用户的接口,该接口应面向多用户,包括运载器操作员、维修人员、系统维护人员、中高层管理人员等。

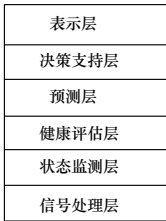


图2 IVHM参考体系结构

与一般的故障诊断系统不同,IVHM系统更侧重于健康信息的管理。它通过收集运行中的历史数据为健康评估、预测提供重要依据,因此,IVHM是由数据收集和信息管理元素组成的层次化分布式信息系统,各层、各子系统之间不仅需要故障诊断信息的交换,还要从异构的运载器设备中提取有用的历史信息进行健康评估和预测。因此,制定标准的信息集成规范和适宜的表达机制尤为必要,为信息共享、交换和集成提供有效的数据描述方式,使IVHM系统中参与协同检测、诊断、评估、预测等子系统之间可以无障碍地理解数据的语义。采用基于ATML技术实现对运载器设备的描述,能够有效地解决IVHM系统的互操作以及设备描述文件之间接口的统一问题。

3 自动测试标记语言 ATML

可扩展标记语言(Extensible Markup Language, XML)以其良好的数据存储格式和很强的可扩展性成为异构平台下不同应用程序间进行数据交换的主要方式。近年来,在美国海军航空兵部队和自动测试设备(Automatic Test Equipment, ATE)工业部门的共同努力下,制定了基于XML的测试信息数据交换标准ATML,其目的是通过建立一种开放式的标准解决自动测试系统中测试信息的共享、交换、互操作问题。

ATML体系标准如图3所示<sup>[5]</sup>,该标准采用基于XML模式的描述方式定义了9个可复用的ATML组件接口,从测试资源和测试项目两大方面表达自动测试系统中所需的所有接口信息,其中,Common接口定义了所有组件接口的公共类型和属性组;其他8个组件接口分别定义了测试结果、测试程序、设备及测试工作站的功能、技术指标及规范、待测设备的规格、需求、诊断及维护信息,使测试结果的报告、测

试的描述、设备的描述、测试的结构布局、测试工作站以及待测件的数据等信息标准化。

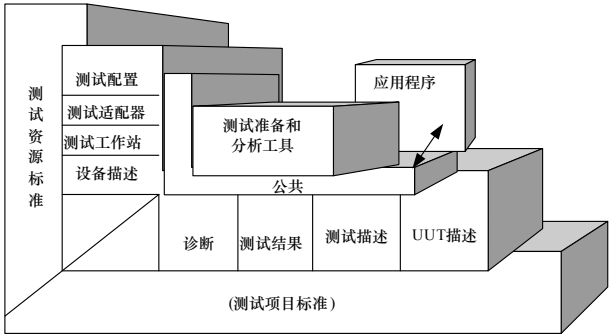


图3 ATML体系标准

由于使用了XML标准描述ATE及测试数据,ATML在定义测试系统信息接口时有很大的灵活性,可以处理复杂的数据结构。在IVHM系统中,采用ATML标准描述测试、诊断、预测和决策信息,可实现分布式开放环境中从测试、诊断到预测信息的无缝交互,便于测试信息和诊断知识的共享和移植,真正体现IVHM的高度集成性、综合性和高效率。

4 ATML技术在运载器健康管理中的应用

4.1 基于ATML的系统结构

飞机电源系统是飞机机载设备的重要组成部分之一,随着机载用电设备的日益增多,对其可靠性、可维护性和可测试性的要求也越来越高,因此,对飞机电源系统进行实时状态监测和准确故障诊断是IVHM系统的重要内容。本文以某型号变速恒频飞机电源实验台为验证对象,根据IVHM参考体系结构设计了以ATML为数据交换基础的飞机电源故障诊断与预测系统,其结构如图4所示。

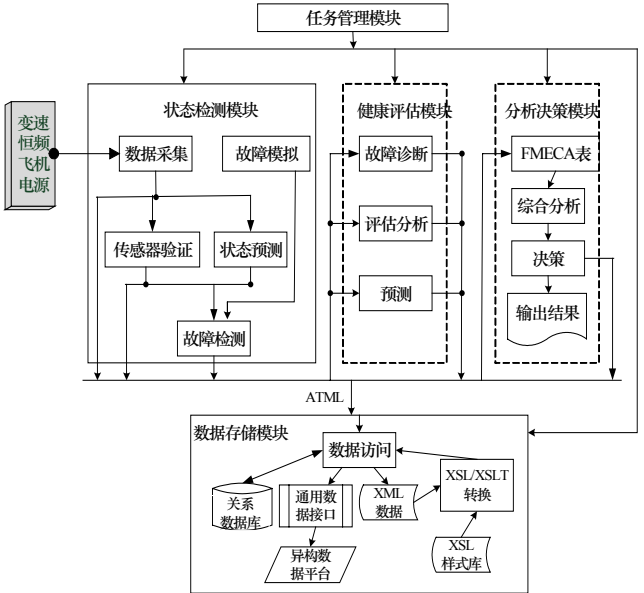


图4 基于ATML的系统结构

由图4可以看出,该系统由状态检测、健康评估、分析决策和数据存储模块组成,采用ATML对数据进行统一描述和存储,实现了各模块信息的高度集成,它具有以下优势:

(1)不同来源的数据易于集成,减少了各模块间信息交换和处理的时间,并具有较强的扩展性和灵活性。

(2)各类信息都被ATML唯一标识,并采用标准的方式进行搜索,便于信息的提取和快速搜索。

(3)信息处理各取所需。统一存储的 XML 文件包含设备运行历史信息、故障信息、诊断结论、定期评估的健康信息、决策分析结果以及后勤保障维修信息,可以将同一个 XML 文件变成多个文件并加载不同的 XSL 文件,以不同的显示方式送到不同的用户,充分体现数据接收方式的多样性。例如,对故障诊断人员只需传送相应设备故障状态信息和运行历史信息;对维修人员只需传送故障诊断结论;对高层管理人员只需传送健康评估报告和决策分析结果。

#### 4.2 基于 ATML 的飞机电源测试信息数据模型

XML 解决方案中的模式文件描述了 XML 文档的数据逻辑结构,它定义了文档可以包含的元素以及这些元素之间的关系。鉴于设备信息、测试信息模型的复杂性和对数据类型的严格要求,ATML 标准采用 XML Schema 对自动测试系统中设备信息、测试信息的数据逻辑结构进行了统一定义,使其可以面向不同的应用程序并具有很好的扩展性。在飞机电源故障诊断与预测系统中,根据 ATML Schema 对数据的描述,通过对该型号电源系统典型电气故障数据的分析给出了电源供电参数测试信息的模式文件设计层次图,见图 5。

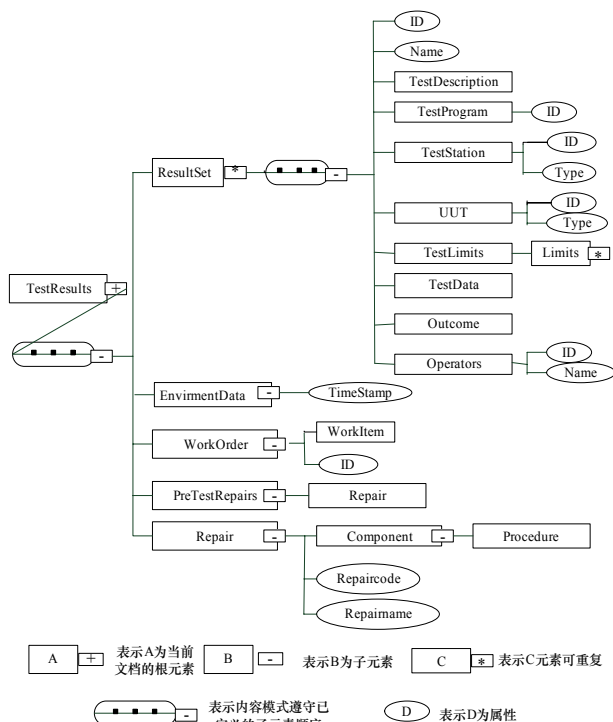


图 5 电源供电参数测试信息的模式文件设计层次

图 5 给出了对被测对象进行测试后得到的所有测试结果的描述。其中,TestResults 是根元素;EnvirmentData 描述了与测试有关的外部环境信息;WorkOrder 描述测试工作流程信息;PreTestRepairs 描述了在测试之前的维修信息;Repair 描述维修信息,包括维修部件、维修处理过程信息等;ResultSet 是对一个特定的 UUT 进行测试结果的描述,例如在对飞机电源进行故障诊断时,需要监测电压、电流、转速等信号,一个 ResultSet 元素就是对一个信号测试结果的描述,包括 TestProgram(测试程序)、Test Station(测试工作站)、TestData(测试值)、TestLimit(正常范围)、Outcome(通过/失败结果)、Operates(测试操作员)等。ResultSet 子元素可以有多个,每一个子元素对应不同信号测试的结果。

根据上述模式文件设计层次图,定义了描述电源供电参

数测试信息的 Schema,由于篇幅原因下面只给出了模式文件的部分内容:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?> ...
<xs:import
namespace="http://www.ieee.org/ATML/2007/Common"
schemaLocation="Common.xsd" />
- <xs:annotation> <xs:documentation xml:lang="en">电源供电
参数测试数据结果...
<xs:element name="TestResults">...
- <xs:element name="TestResult" >
- <xs:complexType>
- <xs:complexContent>
<xs:attribute name="ID" type="c:NonBlankString"
use="required" /> ...
<xs:element name="ResultSet" type="TestGroup"> ...
- <xs:element name="TestDescription" type="c:ItemDescription
Reference" minOccurs="0"> ...
<xs:simpleType name="OutcomeValue">
- <xs:restriction base="xs:string">
<xs:enumeration value="Passed" /> ...
</xs:simpleType>...
</xs:schema>
```

采用上述测试信息模式文档的结构,可以完整地描述对飞机电源进行故障诊断与预测所需的测试参数。实践应用表明,在该系统中采用 ATML 技术对基于 CAN 总线的数据采集子系统获得的基础数据进行标准化描述,实现了信息的有效共享。另外,针对系统故障诊断中存在的异构形式知识,采用 ATML 进行集成,把异构形式知识表示为 XML 格式,可以达到集成多种知识表示形式的目的,使得知识库的维护和知识文件的传递更加方便。

#### 5 结束语

本文提出的采用基于 XML 技术的 ATML 语言对航空机载设备信息和状态信息进行形式化和规范化描述的解决方案,可以将 IVHM 系统中各类信息资源纳入统一的逻辑表述范畴,独立于异构设备和所采用的具体技术,可以形成真正开放的、高度集成的分布式系统。开发实例证明了采用 ATML 技术对设备测试信息和诊断知识进行规范化描述有效降低了各子系统之间异构数据交换的难度,提高了信息集成的效率。

#### 参考文献

- [1] 龙 兵,孙振明,姜兴渭. 航天器集成健康管理系统研究[J]. 航天控制, 2003, 21(2): 56-61.
- [2] Aaseng, Gordon B. Blueprint for an Integrated Vehicle Health Management System[C]//Proc. of the 20th Digital Avionics Systems Conference. Orlando, USA: ALR International, 2001.
- [3] 李行善,高占宝. 航空航天中的综合运载器健康管理[J]. 电气时代, 2003, 11(1): 84-85.
- [4] Keller K, Wiegand D. An Architecture to Implement Integrated Vehicle Health Management Systems[C]//Proc. of IEEE Systems Readiness Technology Conference. Piscataway, USA: IEEE Press, 2001: 2-15.
- [5] IEEE Standards Coordinating Committee on Test and Diagnosis for Electric Systems. IEEE Std P1671TM-2006 IEEE Trial-Use Standard for Automatic Test Markup Language (ATML) for Exchanging Automatic Test Equipment and Test Information via XML[S]. 2006.