

文章编号: 1673-193X(2011)-10-0112-07

# 基于 SOA 的航空发动机健康管理系统设计

黄艳芳<sup>1 2</sup>, 王建荣<sup>3</sup>, 吴瑞金<sup>2</sup>, 颜景龙<sup>4</sup>

(1. 北京理工大学机电学院, 北京 100081)

(2. 陆军航空兵学院, 北京 101121)

(3. 装备指挥技术学院, 北京 101416)

(4. 中国兵器工业集团系统总体部, 北京 100089)

**摘要:**为了解决航空发动机健康管理过程中存在的效率低、费用高、资源相对缺乏等问题,实现航空发动机全生命周期的健康管理,将面向服务的架构(SOA)引入到航空发动机健康管理领域中,提出基于SOA的航空发动机健康管理系统的架构模型,实现不同软件平台的资源共享、降低系统间的耦合性、增加系统的扩展性和伸缩性,缩短了开发时间。结合某航空发动机企业的具体网络环境,设计实现了基于SOA的系统集成方法,给出了详细的工作流程,验证了该体系的有效性,指出SOA在航空发动机健康管理系統开发与应用中的重要价值。

**关键词:**航空发动机; SOA; 面向服务的体系结构; 健康管理; 系统集成

中图分类号: X924.4

文献标识码: A

## Design of aeroengine health management system based on SOA

HUANG Yan-fang<sup>1 2</sup>, WANG Jian-rong<sup>3</sup>, WU Rui-jin<sup>2</sup>, YAN Jing-long<sup>4</sup>

(1. Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

(2. Institute of Army Aviation, Beijing 101121, China)

(3. the Academy of Equipment Command & Technology, Beijing 101416, China)

(4. North China System Engineering Institute, Beijing 100089, China)

**Abstract:** In order to resolve the existing problems such as low efficiency, high cost and lack of technical resources in the process of aeroengine health management, it is indispensable to realize lifecycle-oriented health management for aeroengine. In this work, service-oriented architecture (SOA) was introduced into the area of aeroengine health management and a SOA-based architectural model for aeroengine health management system was constructed, which realized the resources sharing among different software platforms, reduced the couplings between systems, increased the system extensibility and scalability, so that developing period was reduced. Combining the network environment of an aeroengine enterprise, a SOA-based system integration method was designed and implemented; the specific workflow was described, which validated the effectiveness of the architecture. SOA has an important value on the development and application of aeroengine health management system.

**Key words:** aeroengine; service-oriented architecture; health management; system integration

收稿日期: 2011-07-25

作者简介: 黄艳芳, 博士。

## 1 引言

随着对航空发动机性能、可靠性、适航性和维护性要求的不断提高,新的发动机研制、试验、使用、维护等生命周期中的健康管理活动亦在日益增加。因此有必要从航空发动机生命周期的角度出发,对其生命周期各阶段的健康状况进行监测、管理和维护<sup>[1]</sup>。国内目前尚无专门针对航空发动机生命周期的健康管理系统,航空发动机健康管理方面的信息化主要存在以下几个方面的不足:(1)缺乏先进的健康管理理念指导,专业化管理无法达到要求。(2)企业内部各种专业软件、管理软件集成困难,形成信息孤岛。(3)航空发动机生命周期不同阶段的信息化程度差异较大,灵活性、适用性差。(4)职能所驱动,而非流程驱动;主要面向功能实现与集成,而非提供客户所需要的全面服务。

因此,航空发动机健康管理系统的开发不仅仅是一套系统的实施和部署,更是制造企业对研发流程的拓展和对航空发动机生命周期健康管理流程的规范和优化。开发航空发动机健康管理系统旨在结合企业现有的信息化管理软件,整合各项业务流程,形成完善的航空发动机健康管理方法与机制。

SOA 是一种新型的企业级系统集成模式框架,它允许开发人员集成异构系统,不再面向定制出来的业务接口,而是面向公共服务<sup>[2-4]</sup>。本文通过 SOA 这一新型异构系统集成模式,搭建企业服务总线实现各个系统间信息的通讯集成,使网络化实时在线监测诊断系统、离线监测系统、专家诊断系统、健康评估系统、决策支持系统、企业资产管理系统等实现了有机结合,通过信息共享,消除信息孤岛。

航空发动机健康管理系统以航空发动机为纽带,以发动机的生命周期为主线,为企业及客户之间搭建了一座桥梁,实现对航空发动机生命周期的全面健康管理与服务。平台的研制实现了发动机健康管理策略模式与现代装备诊断工程技术的有机结合,对装备管理领域的理论创新具有一定的意义。

## 2 面向服务的架构(SOA)

SOA 是一种架构模型,在 1996 年由 Gartner 公

司首次提出<sup>[5]</sup>,它将应用程序不同功能单元(服务)通过定义良好的契约和策略联系起来,具有松耦合性、互操作性、开发迅捷、异构平台资源共享等明显优势<sup>[6]</sup>。面向服务的体系架构中有以下 3 个基本角色:服务提供者、服务请求者和服务注册中心,它们之间的相互关系如图 1 所示<sup>[7]</sup>。

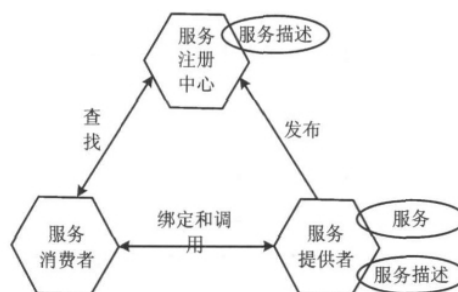


图 1 SOA 中不同角色之间的协作关系

服务是逻辑实体,被一个或多个发布出来的接口所定义(或契约)。服务提供者是实现服务细节的软件实体,是一个可通过网络寻址的实体,它接受来自使用者的请求。将服务及接口契约的细节发布到服务注册中心,供服务消费者发现和访问。服务消费者是调用服务提供者的软件实体。也称为客户端,它可以是应用程序或者其他服务。作为服务的注册机构,服务注册中心为服务消费者提供服务的索引和查找,以查询服务接口描述和服务地址,进而访问该服务。

## 3 基于 SOA 的航空发动机健康管理系统设计与集成

### 3.1 系统的网络拓扑结构

根据背景企业需求,结合实际网络以及健康管理的组织机构,将航空发动机健康管理系统的体系结构与系统运行环境相结合,构建了如图 2 所示的系统网络拓扑结构。

图中制造企业局域网是健康管理服务的主站点,健康管理服务中心的服务器端就设在这里。另外,企业原有的 PDM、CAD、CAM、CAPP 等系统面向发动机健康管理的设计、制造、工艺等过程,为设计知识生成维护知识提供了产出根源。某研究所台架试车系统是一个相对独立的航空发动机试车过程状态监测系统,能进行试车过程的状态监测、配置、回

放、存储和分析。试车监测系统主要服务于发动机的研制和改型,通过网关或路由直接与制造企业局域网相连,成为航空发动机状态监测数据的重要供给站。以飞行单位A、B、C为代表的局域网是航空发动机的主要使用者和维护者,发动机的使用、诊断、维护与修理过程主要发生在这里。飞行单位局域网是发动机健康管理系统的客户端,主要包括飞行指挥塔台、修理厂、飞行现场(包括机载监测诊断

和现场监测诊断终端)、机务大队质控室(包括局部站点诊断工程师、飞参分析终端、油液分析终端)、装备部、研究部、航材等部门的不同客户端用户,这些终端经由飞行单位局域网,通过互联网与制造企业内的健康管理系统服务器端进行通信,从中获得相应的诊断维护支持。其它联盟企业、院校、企业驻外人员等也可通过互联网或无线网络访问位于制造企业内部的健康管理服务中心。

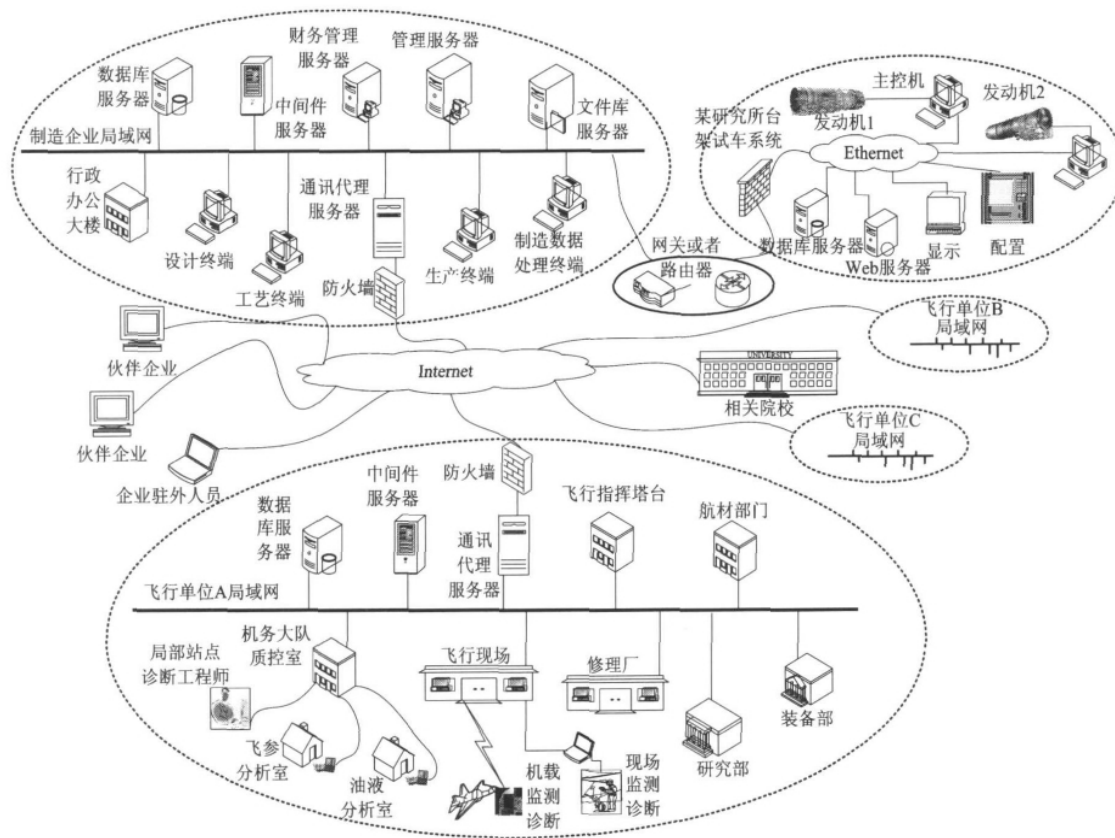


图2 航空发动机健康管理系统网络拓扑图

### 3.2 基于SOA的航空发动机健康管理系统总体方案设计

基于SOA的航空发动机健康管理系统总体方案如图3所示。

该方案由下而上分别是数据层、基础业务服务层、业务服务总线、业务处理层和表现层,说明如下。

#### 3.2.1 数据层

主要包括各类数据库、知识库、模型库以及方法库等。

#### 3.2.2 基础业务服务层

该层中包含诸多细粒度的基础服务,如数据库访问、权限验证、文档管理、特征提取、常用算法等。这些服务可以是包装为服务的组件,也可以是单个服务,并最终全部整合发布到业务服务总线上。

#### 3.2.3 业务服务总线层

结合发动机健康管理系统的业务逻辑,整合基础业务服务层上的各细粒度服务,形成了权限管理、数据访问、发动机健康管理、远程培训等4条业务总线。

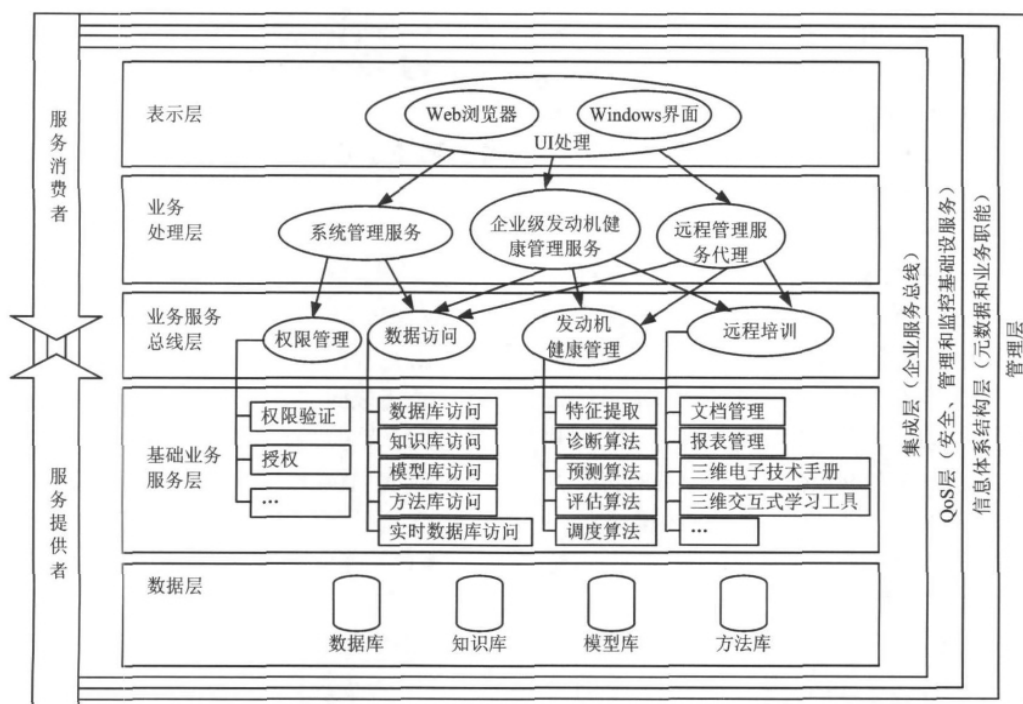


图3 基于SOA的航空发动机健康管理系统总体方案设计

### 3.2.4 业务处理层

该层根据表示层中客户端的消息请求,通过调用业务服务总线上的不同服务完成特定的业务流程,并最终返回结果给客户端。

### 3.2.5 表示层

该层首先通过用户界面(UI)处理模块,该模块主要作用是管理一些固定化的UI逻辑,并根据各种状态选择前端的用户界面视图。

基于SOA的航空发动机健康管理系统方案采用SOA作为集成技术基础,以数据仓库为系统数据模型,这种平台结构可提高系统的稳定性和可扩展性,使航空发动机健康管理平台成为企业应用中不断扩充和发展的IT资产。

## 3.3 基于SOA的系统集成方法

基于SOA的航空发动机健康管理系统实施过程中主要包括遗留程序集成和系统功能集成。

### 3.3.1 基于SOA的遗留程序集成

遗留程序作为企业和用户的旧资产,很有可能正在运行关键的业务流程,如果能得到重复使用,将大大节省开销。将应用程序逻辑放进SOA提供的包装内,由SOA相关技术(如Web Service)将应用程序相应的接口以服务契约的形式暴露出来,并发

布为服务,如图4<sup>[8]</sup>。集成封装过程就是适配器的设计过程,对于不同形式的程序,封装的方式也有所不同,例如,如某飞行单位原有的飞行参数处理软件和油液分析软件都是用C语言编写的单机版程序,

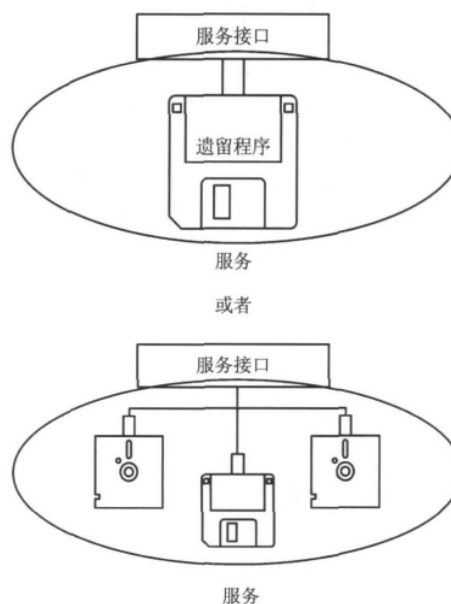


图4 基于SOA的遗留程序封装

给发动机数据处理工作带来了很大的便利。实施 SOA 系统过程中,可用微软的 SOAP2.0 工具包将其 COM 组件外置为 Web 服务,实现把这两个遗留程序集成到航空发动机的健康管理系统中。

### 3.3.2 基于 SOA 的系统功能集成

基于 SOA 的系统功能模块集成如图 5 所示。操作/注册人员通过公共通信总线中的 HTTP、SOAP、FTP 和 JMS 等通信协议实现与系统管理服务、发动机健康管理服务、EAM、OA 等系统服务的交互。服务管理与注册实现服务的查找、注册和路由。安全控制通过验证和身份识别达到对系统权限的整体控制。应用信息交换模块实现数据的转换和控制。SOA 架构的平台提供的是一种松耦合交换过程,在发送方和接收方完全异构、完全不同的情况下,能够将发送方的数据内容转化为接收方需要的格式和内容,并通过接收方识别的访问协议,顺利完成异构系统之间的交换过程。最后在集成系统的公共应用层,实现如特征提取、诊断算法、预测算法、评估算法、调度算法、远程培训

估算法、调度算法等后台控制技术,完成航空发动机健康管理系统的功能集成。

## 4 系统工作流程

从上述总体方案可知,整个系统的目的是通过对航空发动机健康状况的监控,实现其生命周期内各阶段健康管理信息的获取、组织管理与创新应用,完成信息在健康管理服务中心与远程飞行单位、院校、访问者之间的流动,并通过远程系统为远程客户端提供持续的监测、诊断、预测、评估、决策等健康管理服务,实现航空发动机健康管理服务工作的组织、计划、协调、控制一体化和综合性管理。

系统工作流程如图 6 所示。

(1) 状态监测子系统收集航空发动机生命周期各阶段的健康状态数据,其中,发动机台架试车监测系统采用虚拟仪表的方式对发动机的工作状态进行实时监测,一些表征发动机运行状态的数据,如振动值、转速、温度、压力和流量等被实时记录下来,经过清理、平滑等处理后可用于发动机的状态监测、诊断和评估。便携式智能巡检系统主要在外场采集并上传巡检数据。油液/飞参分析系统则由分布在飞行单位的油液分析室和飞参分析室分别上传经过预处理的油液分析数据和飞参数据。另外,在发动机的设计生产阶段,制造企业的 PDM/MES/EAM 等系统也采集生成工况数据、工艺数据、知识库、方法库等信息,为诊断、评估和决策提供必要的数据源。

(2) 经过 SOA 数据存取统一服务层的调用接口,为用户提供诊断、评估和决策等健康管理服务。

(3) 模糊故障诊断专家系统由人机交互界面、推理机、知识库等模块组成。当发动机运行状态出现异常时,系统经由 SOA 数据存取统一服务层进行状态特征提取,并根据预设的程序执行相应的计算,得到故障征兆事实,存储在集成数据库,同时通知推理机执行推理。通过得到的故障征兆搜索知识库,从中找到知识库中与之匹配的故障征兆,然后提取出事实库、规则库中所有有关的信息后进入推理机进行故障的推理,先经过正向推理得到故障的类型,然后经过反向推理得到故障的详细信息包括故障的原因、故障的现象和故障的消除措施等,最后通过人机交互界面,把推理结果展示给操作人员。

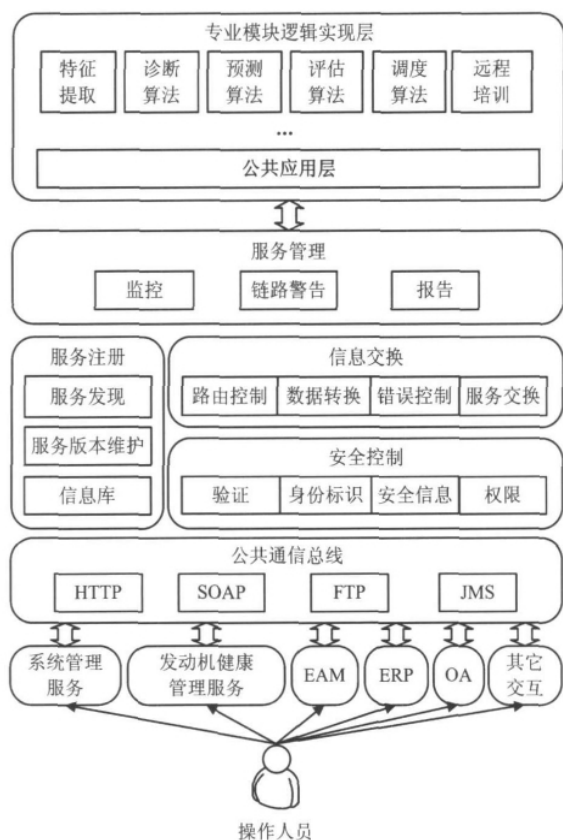


图5 基于 SOA 的系统功能模块集成

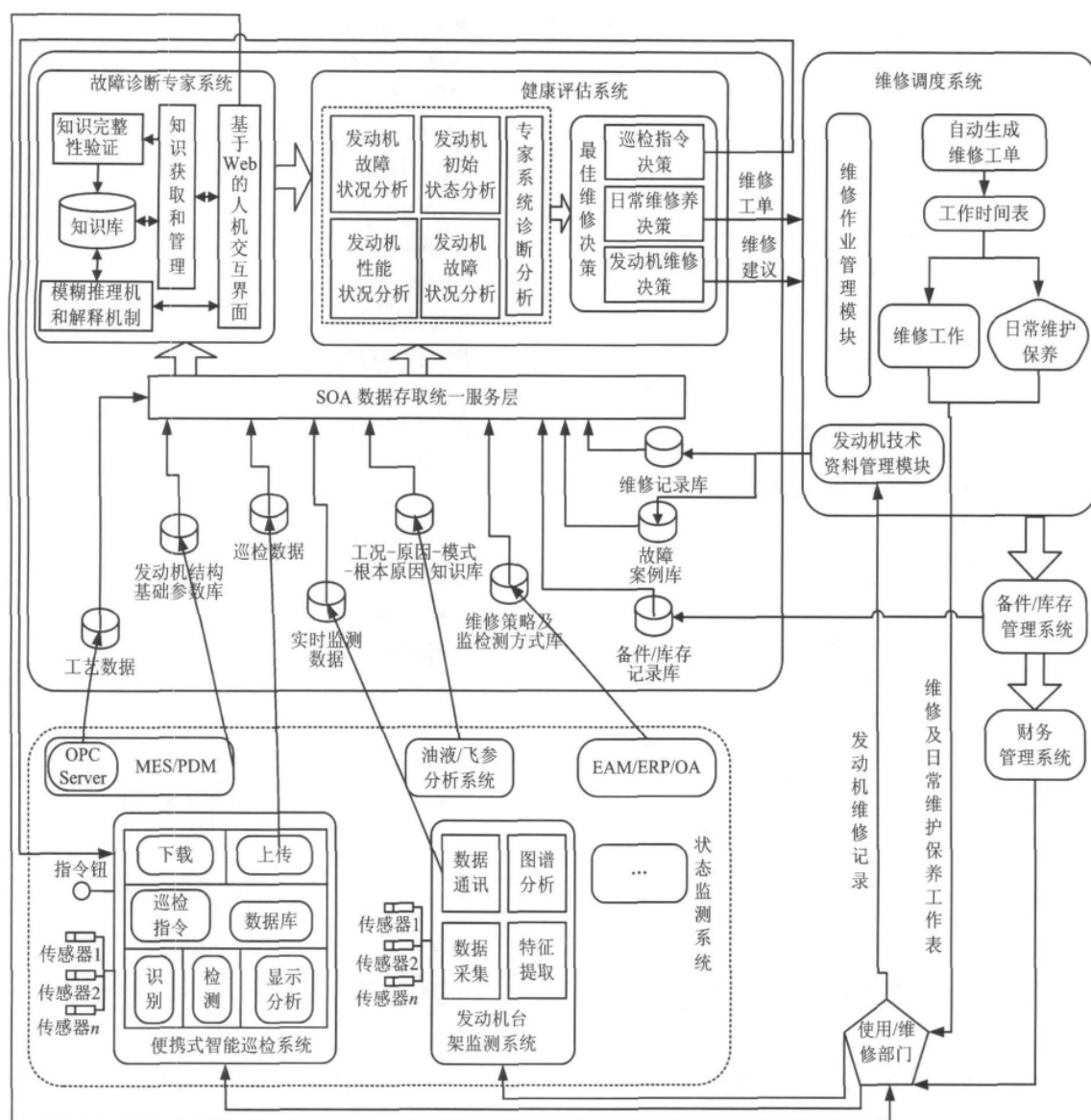


图6 基于SOA的航空发动机健康管理系统流程

(4) 健康评估服务则根据状态监测和故障诊断的结果,从性能状况、时间状况、初始状况、故障状况等四大方面结合专家评判设计了相应分权值计算组件,然后利用健康评估模型对航空发动机进行定量与定性相结合的综合健康状况排序。

(5) 根据健康评估的结果,结合决策者对各种因素的综合分析,调用相关的维修调度算法组件,确定最佳的维修方案,并把结果发送给使用与维修部门,为使用与维修保障工作提供决策依据。同时,维修调度活动也与维修部门的备件/库存管理、财务管

理等系统发生交互作用。

## 5 结束语

结合航空发动机健康管理系统的实际需求及SOA的技术特点,提出了基于SOA的航空发动机健康管理系统总体方案,设计了基于SOA的系统集成方法,描述了具体的工作流程。该系统能实现服务功能和健康管理等信息的快速传递,形成面向发动机全生命周期的健康管理服务动态平台,具有广

阔的应用前景。但实现真正意义上的基于 SOA 的远程分布式航空发动机健康管理系统,还需要做很多工作,尤其是安全性问题、部署、异构平台的解耦等问题。

### 参考文献

- [1] Wang J, Yu T, Wang W. Integrating Analytic Hierarchy Process and Genetic Algorithm for Aircraft Engine Maintenance Scheduling Problem[M]. Advances in Soft Computing, Proceedings of the 6th CIRP-Sponsored International Conference on Digital Enterprise Technology. Springer Berlin / Heidelberg, 2010: 897-915
- [2] 龚立,刘高峰,刘忠. SOA 下军用仿真系统集成研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2010(6): 1121-1123
- GONG Li, LIU Gao-feng, LIU Zhong. Research of SOA Based Integration of Military Visualization Simulation[J]. Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science & Engineering), 2010(6): 1121-1123
- [3] 舒振,马建威,罗雪山. 基于 SOA 的新型指挥控制系统体系框架及开发方法[J]. 兵工自动化, 2010(8): 49-52
- SHU Zhen, MA Jian-wei, LUO Xue-shan. Systematic Frame and Development Method of New Command and Control System Based on SOA [J]. Ordnance Industry Automation, 2010(8): 49-52
- [4] 杨斌,张卫冬,伍章明,等. 基于 SOA 的设备远程监测与故障诊断系统体系结构研究[J]. 振动与冲击, 2011(3): 85-90
- YANG Bin, ZHANG, Wei-dong, WU Zhang-ming, et al. Architecture of remote monitoring and diagnosis system based on service-oriented architecture (SOA) [J]. Journal of Vibration and Shock, 2011(3): 85-90
- [5] 朱义,陈进,刘雨,等. 基于 SOA 的设备智能维护系统架构设计及实现[J]. 计算机应用与软件, 2009(6): 10-12
- ZHU Yi, CHEN Jin, LIU Yu, et al. Design and realization of machinery intelligent maintenance system architecture based on SOA [J]. Computer Applications and Software, 2009(6): 10-12
- [6] Zhang Y, Chen J. A delegation solution for universal identity management in SOA [J]. IEEE Transactions on Services Computing, 2011 4(1): 70-81
- [7] Endrei M, Ang J, Arsanjani A, et al. Patterns: Service-Oriented Architecture and Web Services [M]. 1st. IBM Redbooks, 2004
- [8] 李毅. 基于 SOA 的设备状态监测与故障诊断系统的研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2008.

## 国家安全生产检测技术中心简介

中国安全生产科学研究院安全生产检测技术中心(国家安全生产检测技术中心)于2002年12月通过国家计量认证和实验室认可,是国内第一家按ISO/IEC: 17025通过国家计量认证和实验室认可的检测检验机构。目前具有北京市卫生局建设项目职业病危害评价以及职业病危害因素检测与评价资质、卫生部甲级职业卫生技术服务机构资质、国家安全生产检测检验机构甲级资质,是国家安全生产监督管理总局授权的全国特种劳动防护用品安全标志检验和进口劳动防护用品安全标志检验的国家级检测机构。

安全生产检测技术中心下设多个专业检测实验室,拥有价值5000余万元的先进仪器设备千余台(套),已先后为数百家中外企业提供了劳动防护用品检测检验、职业卫生检测与评价的技术服务。中心的技术水平、仪器设备和检测数据的处理能力。已达到或接近国际先进水平,在国内处于领先地位,同时在防护用品的防护性、安全性和舒适型评价、作业场所职业病危害因素现状与控制评价方面,具有丰富的经验和水平。

中心在完成检测工作的同时还参与了大量的科研工作和国家标准的制修订工作;同时是国家安全生产监督管理总局指定的安全生产检测检验资质认定技术服务机构,承担资质认定技术审查和专家评审等工作。