

# Research on Cooperative Integration of Aircraft Maintenance and Troubleshooting Information

Hui Wang, Yan Su, Chenxuan Gu

Civil Aviation, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing Jiangsu  
Email: wanghuinuaa@163.com

Received: Oct. 1<sup>st</sup>, 2017; accepted: Oct. 13<sup>th</sup>, 2017; published: Oct. 19<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

Considering the characteristics of multi-source, distributed and heterogeneous information of aircraft maintenance and troubleshooting, the multi-source and heterogeneous aircraft maintenance and troubleshooting information collaborative technology integration route is proposed. It can improve the efficiency of aircraft maintenance and troubleshooting. In view of the advantages of ontology in solving semantic heterogeneous problems, the aircraft maintenance and troubleshooting ontology information modeling method is given. In order to construct the ontology information model of aircraft maintenance and troubleshooting information quickly and effectively, an information model cooperative generation algorithm based on ant colony is established. And the feasibility and validity of the above method are verified by the maintenance and troubleshooting information integration of one air supply system.

## Keywords

Information Integration, Maintenance and Troubleshooting, Ant Colony Algorithm, Ontology

---

# 基于本体与蚁群的飞机维修排故信息协同集成方法研究

王 辉, 苏 艳, 顾晨轩

南京航空航天大学民航学院, 江苏 南京  
Email: wanghuinuaa@163.com

收稿日期: 2017年10月1日; 录用日期: 2017年10月13日; 发布日期: 2017年10月19日

## 摘要

为了提高飞机维修排故效率,针对飞机维修排故信息多源性、分布式和异构的特点,鉴于本体在解决语义异构问题上的优势,研究提出了基于本体的多源异构飞机维修排故信息协同集成技术路线,给出了飞机维修排故本体信息建模方法。为了快速有效地构建飞机维修排故本体信息模型,建立了基于蚁群的本体信息模型协同生成算法。并以某型飞机气源系统维修排故信息集成为例验证了上述方法的可行性与有效性。

## 关键词

信息集成, 维修排故, 蚁群算法, 本体

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

在航空业,飞机的维修排故效率对航空公司的安全与利润有着至关重要的影响。目前,机务人员主要通过查阅维修手册并结合排故记录及维修经验来进行维修排故。但是由于维修排故信息的来源广泛,包括文本文件、Excel 文件、XML、关系数据库等,以不同的存储方式分散存储于不同的媒介中,组织结构也各不相同[1],如何进行维修排故信息的集成与管理成为当前的一个研究热点。

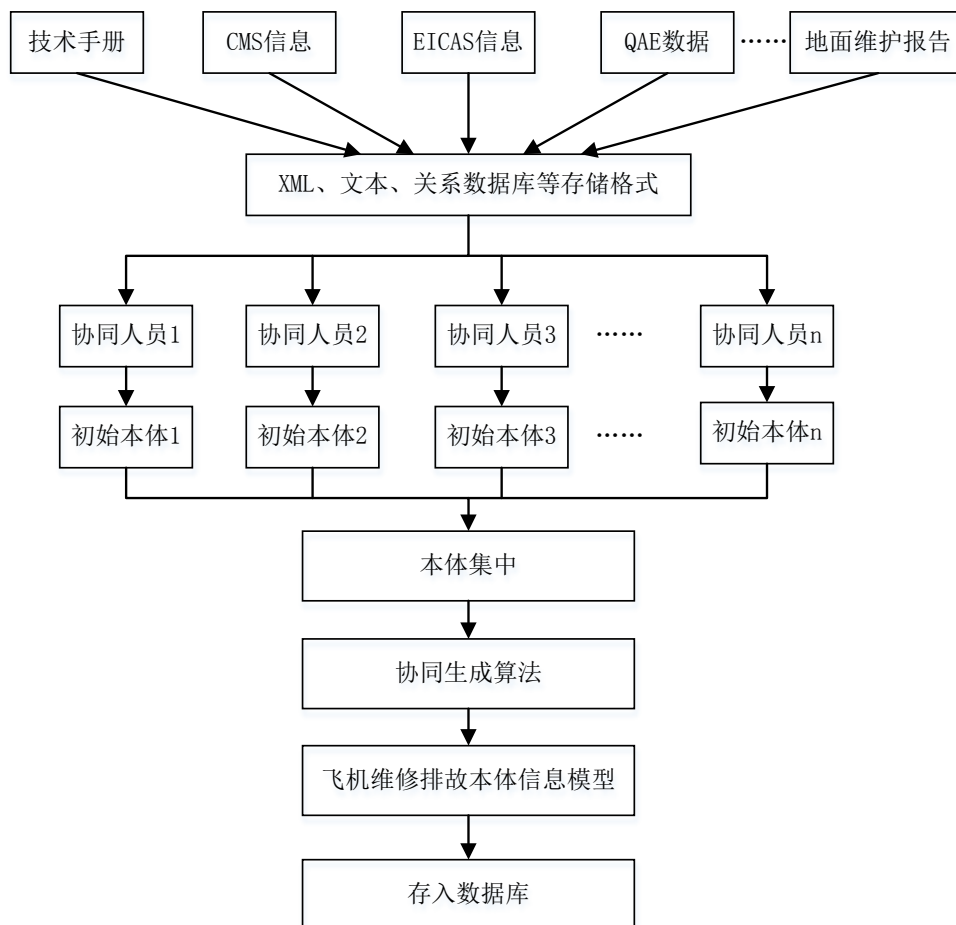
美空军 Armstrong 实验室在 80 年代末期开展了集成化维修信息系统(IMIS)的研究[2],试图开发一种适用于外场维修的综合维修信息系统。在此基础上,国内也进行了相关研究,文献[3]对维修信息集成系统的原理和组织结构进行了研究,但缺乏具体实现方法。文献[4]、文献[5]对装备的维修信息集成方法进行了研究,并针对具体案例给出了实现方法。但是这些信息集成方法并不能解决语义结构不同的信息集成问题。本体能准确描述概念含义及其之间关联,能够通过逻辑推理获得概念之间的关系,具有很强的表达概念语义和获取知识的能力,因此有人提出将本体论用于解决信息集成中的语义异构问题。文献[6]利用本体建立了飞机的系统模型,用于飞机舵面的故障诊断。文献[7]和[8]对复杂装备的维修和故障案例进行了本体建模。文献[9]依据飞机维修领域知识的特点,利用本体论知识构建了飞机故障本体。

现有研究大都由单人完成本体构建。对于多源性、分布式和异构性的飞机维修排故信息,如果仅仅由单人手工构建维修排故信息本体,工作量大,更新困难,且会遗漏重要映射关系。本文为提高飞机维修排故效率,鉴于本体在语义信息集成上的优势,提出了一种基于本体的飞机维修排故信息协同集成方法,并研究相应的协同生成算法,以高效准确地实现飞机维修排故信息集成。

## 2. 飞机维修排故信息协同集成技术路线

飞机的维修排故信息主要来源于各类技术手册、CMS 维护信息、EICAS 信息、航后机组报告、QAR 数据、地面维护报告等。这些信息往往以独立的形式保存于不同的存储介质中,使得维修排故信息的利用率低下,不能发挥应有的作用。为提高维修排故信息利用率,研究维修排故信息协同集成方法。

维修排故信息协同集成的主要基本思想是,用本体解决多源异构维修排故信息的集成建模问题,用协同生成算法解决本体构建工作量大和更新困难的问题。总体技术路线如图 1 所示。



**Figure 1.** General technical route  
**图 1.** 总体技术路线

飞机维修排故信息协同集成分为两个核心部分，第一部分为飞机维修排故本体信息建模，给出基于本体的飞机维修排故信息建模方法，包括本体集成方法、组织结构和描述语言，协同人员通过对飞机维修排故信息进行分析，构建出初始本体，并进行本体集中；第二部分为本体协同生成算法，针对本体的协同构建，给出快速准确的优化算法，通过该算法，对集中本体进行优化，生成最终的飞机维修排故本体信息模型。其中，飞机维修排故本体信息建模是基础，协同生成算法是关键技术。

### 3. 维修排故本体信息建模方法

要实现维修排故信息的协同集成，本体信息建模是基础，直接影响到信息集成的结构完备性和语义准确性。本体是一种能在知识和语义层次上对信息进行集成描述的概念模型建模工具。研究表明，本体能够准确高效地解决多源性、分布式和异构信息的集成问题，提高信息之间的互操作性，促进信息共享与重用[10]。

目前比较成熟的本体构建方法有：TOVE 法、METHONTOLOGY 法、骨架法、KACTUS 工程法和七步法，其中七步法最适合领域本体的构建[11]。七步法是由斯坦福大学医学院开发，其中七个步骤分别是：① 确定本体的专业领域和范围；② 考虑复用现有本体的可能性；③ 枚举本体中的重要术语；④ 定义分类；⑤ 定义类的属性；⑥ 定义刻面；⑦ 创建实例。

描述本体的语言经过多年的发展，已经诞生了多种，目前较为流行的有两种，即 RDF 语言和 OWL 语言。其中，资源描述框架(Resource Description Framework, RDF)可以扩展或包含到其他表达本体语言中

[11], 具有较好的通用性, 因此本文将选取 RDF 语言建立本体。RDF 模型的基础构件是一个主体(subject)——谓语(predicate)——客体(object)的三元组, 称为声明。传统的 RDF 声明只有两个状态: 存在或者不存在。但是在实际的本体生成过程中, RDF 声明得到认同是一个过程。所以本文中在原 RDF 三元组的基础上, 加上另一个属性: 认可度(Recognition degree), 认可度表示不同协同人员对同意 RDF 声明的认可程度, 认可度  $r$  的取值在 0 到 1 之间。本文将声明描述为  $(s, p, o)$ , 例如, 对于声明“任务号是维修任务的一部分”, 可以这样表达: (Task num, part of, Maintenance task)。

维修排故信息本体协同建模步骤如下:

**第一步:** 构建维修排故信息初始本体。

初始本体(Initial ontology, IO)是由参与协同工作的每个用户所构建的原始本体的三元组及其认可度的集合。初始本体的构建将采用七步法。

构建的初始本体(Initial ontology, IO)则可由式 1 表示。

$$IO = \{(s_1, p_1, o_1, r_1), (s_2, p_2, o_2, r_2), \dots, (s_i, p_i, o_i, r_i), \dots, (s_n, p_n, o_n, r_n)\} \quad (1)$$

其中,  $1 \leq i \leq n$ 。  $n$  表示生成的本体 RDF 模型中声明的数量,  $s_i$  表示主体,  $p_i$  表示谓语,  $o_i$  表示客体,  $r_i$  表示认可度, 这里将初始的认可度都设为 0。

**第二步:** 生成维修排故信息过渡本体

过渡本体(Transition ontology, TO)是  $m$  个用户生成的初始本体  $IO$  中所有三元组的集合。由式 2 表示。

$$TO = \bigcup_{k=1}^m IO_k \quad (2)$$

其中,  $IO_k$  表示第  $k$  个用户生成的初始本体。需要注意的是, 在过渡本体的生成中要保留相同的三元组。比如

$$IO_1 = \{(s_1, p_1, o_1, r_1), (s_2, p_2, o_2, r_2), (s_3, p_3, o_3, r_3)\}, IO_2 = \{(s_3, p_3, o_3, r_3), (s_4, p_4, o_4, r_4)\}$$

那么,

$$TO = \{(s_1, p_1, o_1, r_1), (s_2, p_2, o_2, r_2), (s_3, p_3, o_3, r_3), (s_3, p_3, o_3, r_3), (s_4, p_4, o_4, r_4)\}$$

并计算  $TO$  中  $s$  和  $o$  相同,  $p$  不同的声明的个数  $u$ , 以及  $s$ 、 $p$  和  $o$  都相同的声明的个数  $v$ 。

**第三步:** 生成维修排故信息最终本体

最终本体(Final ontology, FO)是经算法优化后生成的本体, 是  $TO$  中符合算法条件的子集的集合。

#### 4. 基于蚁群信息素的本体协同生成算法

由于飞机维修排故的信息量庞大, 关系结构复杂, 信息更新快, 传统的本体构建方法不能快速准确地构建飞机维修排故信息本体。研究表明, 协同本体构建方法对解决大型信息本体构建的巨量性、复杂性和更新难度大的问题效果显著[12]。飞机的维修排故涉及到飞机的安全问题, 飞机维修排故信息的集成必须保证准确性, 而现有的协同本体构建方法并不能确保所建本体的质量, 缺少相应的优化生成算法。蚁群算法作为启发式群智能优化算法[13], 被广泛引用于解决旅行商问题、多目标优化问题、集合覆盖等问题, 具有较强的鲁棒性。现有的研究表明, 蚁群算法在解决复杂优化问题上具有很大的优势[14]。蚁群算法中最为核心的部分是信息素, 信息素指导蚂蚁的行为。当蚁群遇到一个没有走过的路口时, 会随机选择一条路径, 并释放出与路径长短有关的信息素, 如果路径越长, 则释放的信息素越少。后面的蚂蚁在经过相同路口时, 会选择信息素较大的路径, 而其他路径上的信息素会慢慢减少直至消失, 最终整个蚁群找到最优的路径。本文根据蚁群算法中信息素的思想, 以飞机维修排故信息初始本体为基础, 建立了基于蚁群信息素的本体协同生成算法。

本文中在基本蚁群算法的基础上, 结合维修排故本体信息建模的特点, 引入局部信息素更新策略, 提出了适用于本体协同生成的协同信息素。协同信息素  $\tau$  表示的是相同  $s$  和  $r$  的不同谓词  $p$  的比率变化, 协同信息素可以由公式 3 计算得到。

$$\begin{aligned} \tau(0) &= \rho(0 \leq \rho \leq 1) \\ \tau(k+1) &= (1-\rho) \cdot \tau(k) + \rho \cdot \eta \end{aligned} \quad (3)$$

$$\eta = \begin{cases} \frac{v_k}{u_k}, & \text{若第 } k \text{ 个声明与其他声明有相同的 } s \text{ 与 } o \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

其中,  $\tau_0$  表示初始信息素,  $\tau_k$  表示第  $k$  个声明的信息素,  $\rho$  表示信息素的挥发系数, 为了防止信息的无限度积累, 挥发系数  $\rho$  的取值范围为  $[0,1]$ 。

在计算得出认可度  $r$  值后, 设置阈值  $\varepsilon$ , 当  $r > \varepsilon$  时, 声明  $(s, p, o)$  才会被选中到最终本体中。阈值  $\varepsilon$  的取值范围为  $(0.5,1)$ , 当阈值  $\varepsilon$  越大时, 生成的最终本体将会越准确。对于  $s$  和  $o$  相同,  $p$  不同的声明, 如果有多个声明的认可度值满足  $r > \varepsilon$ , 将选取认可度值较大的声明。最终本体中只保留  $s, p$  和  $o$ , 不保留认可度  $r$ 。

算法的流程如图 2 所示。

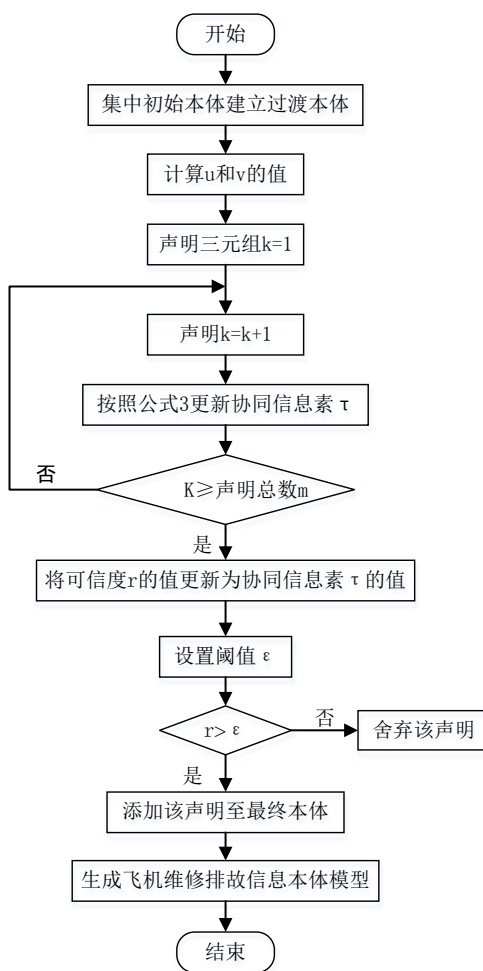


Figure 2. Algorithm flowchart  
图 2. 算法流程图

## 5. 实例验证

本文以某型飞机气源系统为例，验证上述基于本体与蚁群的飞机维修排故信息协同集成方法的正确性，气源系统作为飞机环控系统的一部分，主要作用是对来自发动机、APU 或者地面高压气源的引气分配进行控制和监视[15]。本文中将对某型飞机气源系统的 FIM 手册(简称 AS-FIM)和 AMM 手册(简称 AS-AMM)进行分析，在此基础上建立维修排故本体信息模型。为了应用 RDF 语言建立飞机气源系统的维修排故本体信息模型，对其维修排故手册信息进行概念描述及层次划分，结果如表 1 所示。

在上述分析的基础上，采用 protégé 软件进行维修排故信息本体建模，该软件是由斯坦福大学医学院情报研究组开发的，采用 java 编写，支持 RDF 语言，而且支持数据库存储。

我们通过收集建 30 位用户建立的维修排故初始本体，将其转化为 RDF 结构，并运用蚁群算法进行最终维修排故本体生成，最终的本体基本结构如图 3 所示。

在维修排故信息本体模型中，准确充分的映射关系是本体模型支持维修排故信息推理的基础。气源系统维修排故信息本体的关系如图 4 所示，本体关系由表 2 进行具体说明。

所建的维修排故信息本体模型能通过本体之间关系结构进行推理查询。其主要依靠定义函数的性质，能在维修排故查询过程中传递语义，十分准确高效。而对于技术手册则需要将相关联的部分按照类划分层次并输出，这样能使技术手册按照子类包含于父类、同类并列的形式进行数据重用。比如在实际的气源系统维修排故过程中，机务人员想所搜索与故障隔离程序相关的信息，就可以输入关键词“procedure”

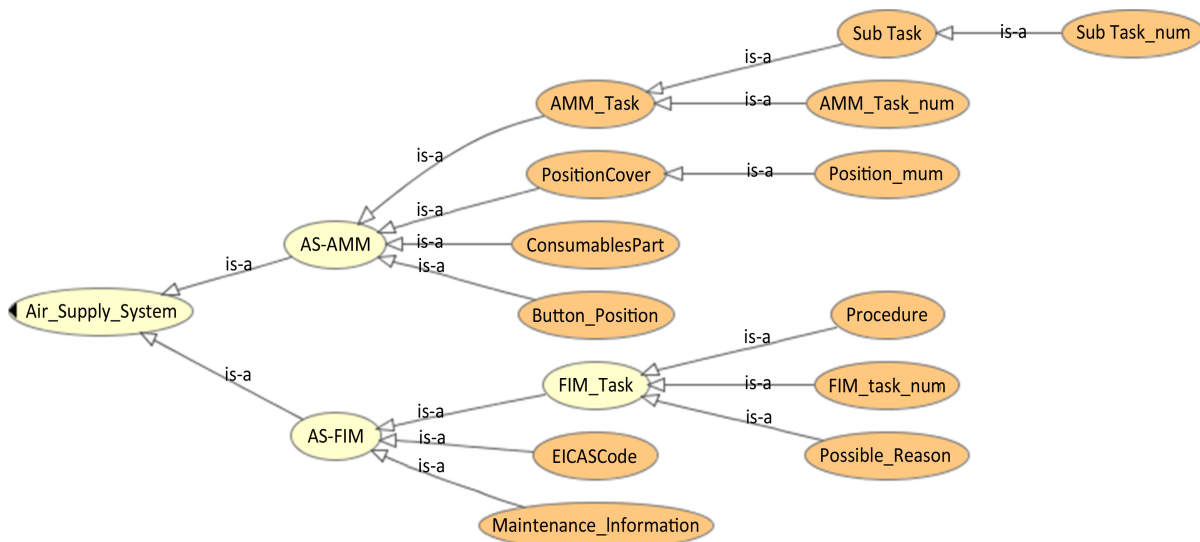
**Table 1.** Concept description and hierarchical division of air supply system maintenance and troubleshooting information  
**表 1.** 气源系统维修排故信息概念描述及层次划分

知识域	类	子类	意义
AS-FIM	FIM task	FIM task num	故障隔离手册任务号
		Possible reason	可能的原因
		Procedure	故障隔离程序
	EICAS code		EICAS 故障代码
	Maintenance Information		维修信息
AS-AMM	AMM task	AMM task num	维修手册主任务号
		Sub task	子任务
	Button position		按钮位置
	Consumables/Part		消耗品零件
	Position/Cover	Position num	位置号

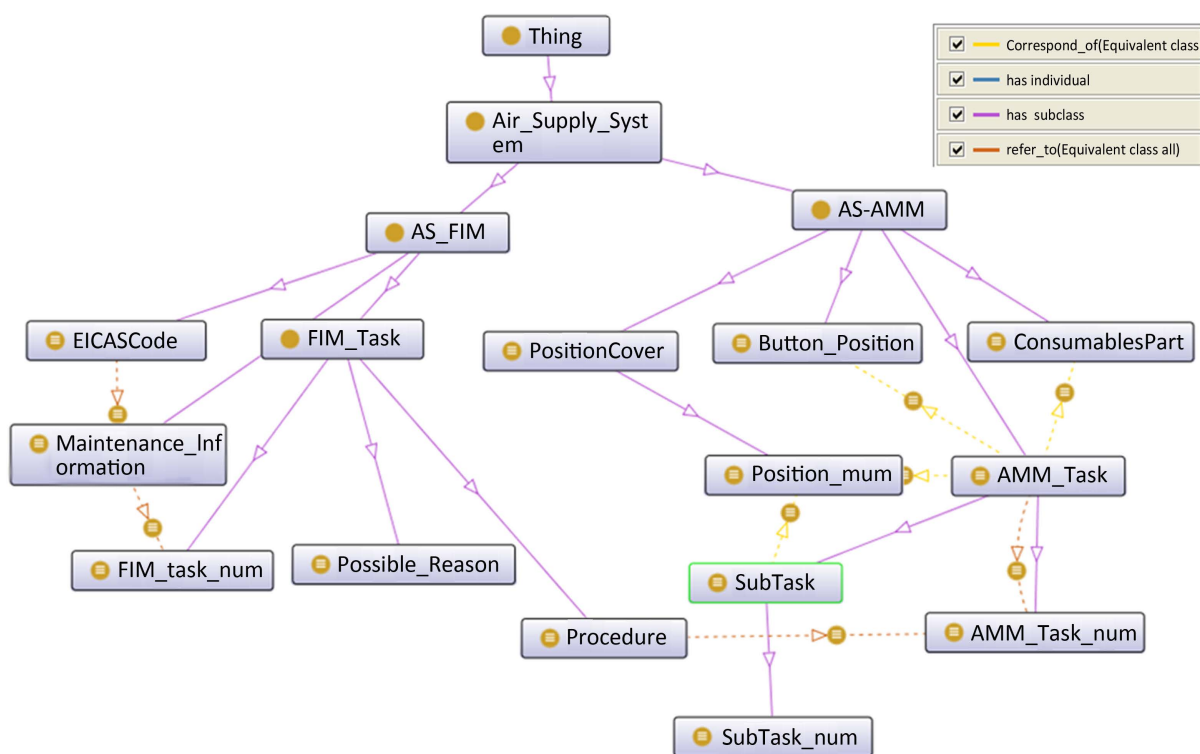
**Table 2.** Relationship description of air supply system maintenance and troubleshooting information ontology  
**表 2.** 气源系统维修排故信息本体关系说明

关联	基数约束	含义	示例
Is a	1:n	子类关系(上图中未显示)	Position/Cover → AMM
Part of	1:n	手册包含部分(继承属性)	Task num → task
Correspond to	1:1	各部分间的对应关系	EICAS → maintenance infor
Refer of	1:1	各部分参考引用关系(单向性)	Procedure → task num
Expand of	1:n	对各任务的详说明部分	Procedure → reason





**Figure 3.** Basic structure of air supply system maintenance and troubleshooting information ontology model  
**图 3.** 气源系统维修排故信息本体模型基本结构

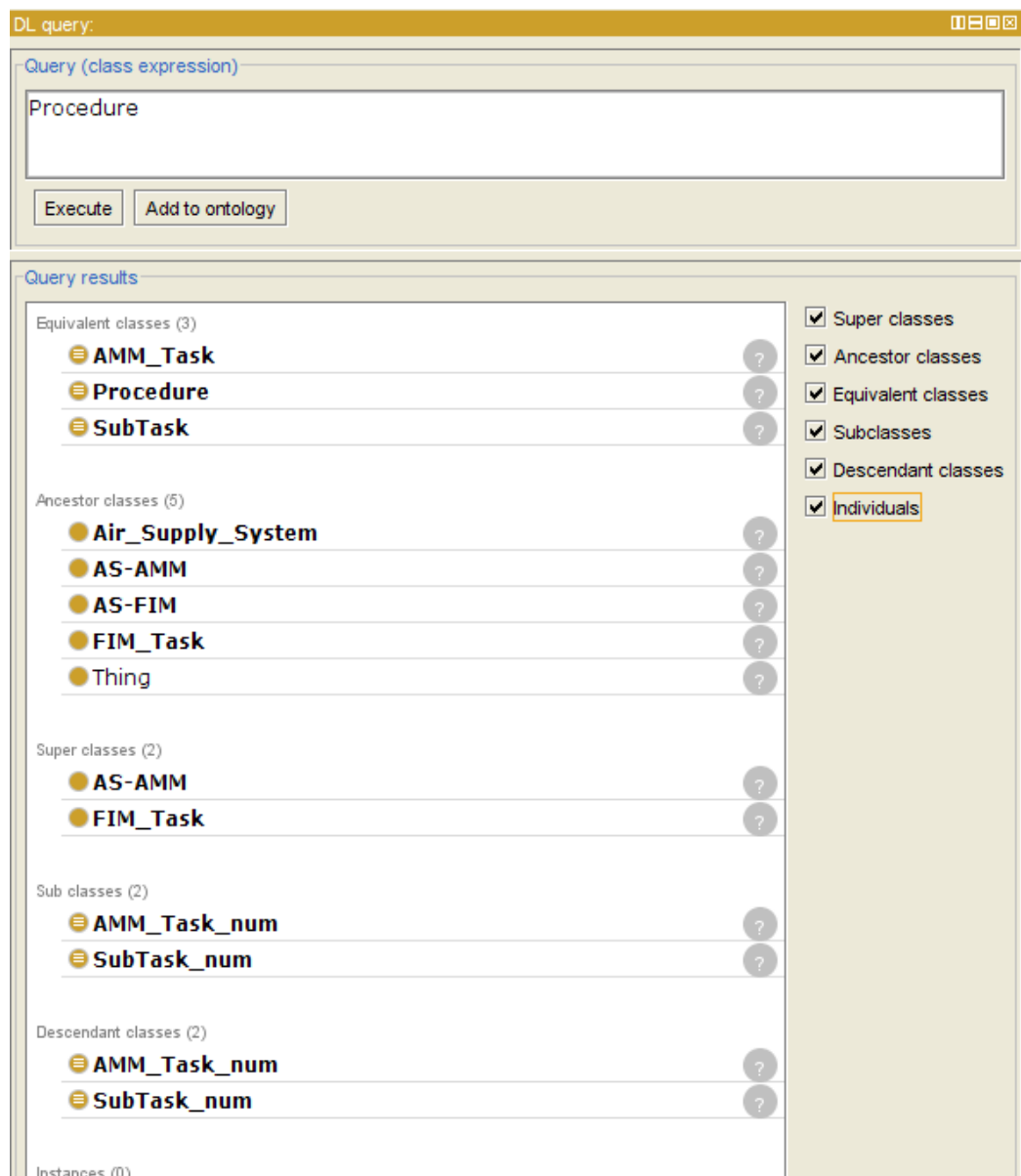


**Figure 4.** Relation chart of air supply system maintenance and troubleshooting information ontology  
**图 4.** 气源系统维修排故信息本体关系图

作为条件,可以推送出与“procedure”有关的父类(super classes)、同类(Equivalent classes)、子类(Sub classes)、子孙类(Descendant classes)、祖先类(Ancessor classes)和个体(Individual)信息。信息推送结果如图 5 所示。

## 6. 总结

本文提出了飞机维修排故本体信息协同集成方法,在基于本体的飞机维修排故信息集成的基础上,



**Figure 5.** Information push of air supply system maintenance and troubleshooting information ontology  
**图 5.** 气源系统维修排故本体模型信息推送

利用蚁群算法中信息素的思想，给出了基于蚁群信息素的飞机维修排故本体信息模型协同集成算法。与传统的飞机维修排故信息集成方法相比，本文中提出的方法能够高效地解决分布于不同存储介质的多源异构的飞机维修排故信息集成问题，集成信息模型具有更丰富的语义知识与更清晰的关系结构。在实际的维修排故过程中，机务人员可以通过维修排故信息本体集成模型，更快更准确地查找与故障相关的手册信息和维修案例等，提高维修排故效率。

### 参考文献 (References)

- [1] 王金泉, 倪凯. 基于搜索引擎技术的飞机维修信息管理[J]. 航空维修与工程, 2007(4): 46-48.
- [2] Link, W.R. (1987) Intergrated Maintenance Information System (IMIS)—A Maintenance Information Delivery Concept.



- [3] 吴松林, 韩景侗. 基于集成维修信息的数据融合及应用[J]. 空军工程大学学报·自然科学版, 2001, 4(4): 4-7.
- [4] 李永杰, 肖斌, 汪厚祥. 装备维修保障信息共享与集成应用的实现[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版), 2011, 33(3): 443-446.
- [5] 黎汉军, 孙清磊, 阳斌. 舰船维修信息集成管理与数据运用[J]. 船舶工程, 2015(5): 82-85.
- [6] 袁侃, 胡寿松. 基于本体的飞机舵面结构故障诊断方法[J]. 系统工程理论与实践, 2012(8): 1826-1830.
- [7] 卞朝晖. 基于本体的大型复杂设备维修案例知识管理[J]. 鄂州大学学报, 2015(6): 26-29.
- [8] 柯倩云, 李青, 孙勇. 基于本体的故障案例信息抽取方法研究[J]. 北京航空航天大学学报, 2015(6): 1080-1086.
- [9] 周扬, 李青. 飞机故障知识的本体建模及语义检索[J]. 计算机工程与应用, 2011(16): 12-15+31.
- [10] 吴昊, 邢桂芬. 基于本体的信息集成技术研究[J]. 计算机应用, 2005, 25(2): 456-458.
- [11] Grigoris, A., Groth, P., van Harmelen, F. and Hoekstra, R. A Semantic Web Primer. 第3版. 胡伟, 程龚, 黄智生, 译. 北京: 机械工业出版社, 2014.
- [12] 张媛, 孙新. SOBM 中社会化本体协同开发机制研究[J]. 计算机科学, 2007(11A): 115-116+134.
- [13] 苏艳, 吕北生, 廖文和, 郭宇. 基于功能蚁树的定制客户动态聚类[J]. 机械科学与技术, 2008, 27(5): 607-613.
- [14] 杨剑峰. 蚁群算法及其应用研究[D]: [博士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2007.
- [15] 凌益琴, 苏艳. 一种扩展染色模糊故障 Petri 网的故障分析方法[J]. 兵器装备工程学报, 2016, 12(12): 130-134.

#### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2161-8801, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [csa@hanspub.org](mailto:csa@hanspub.org)