

# 基于本体和 SWRL 的飞机线束协同研制 知识集成框架及实现

## Knowledge Integration Framework and Its Realization of Aircraft Harness Collaborative Development Based on Ontology and SWRL

北京航空航天大学机械工程及自动化学院 王媛 李青

**[摘要]** 以我国军用飞机线束研制为背景,应用本体技术针对设计与制造的协同方法展开研究。针对飞机线束工程更改频繁的特点,以及不同机型对相同工艺知识共享的需求,总结了研制过程中一致性校验知识、元器件适配知识和制造工艺知识,采用本体模型、SWRL 规则工艺知识表达和描述,通过基于规则和约束的本体推理、本体映射等知识管理方法的研究,实现了设计和工艺之间的产品数据一致性验证以及知识集成方法,提高了产品并行研制效率。

**关键词:** 协同研制 本体推理 本体映射 SWRL

**[ABSTRACT]** Harness design and process play an important role in its manufacturing and even aircraft assembling. Collaboration between design and process department is required in harness manufacturing, so ontology-based cooperation method is researched based on the ground of military aircrafts development. Aiming at frequent engineering change of harness and process knowledge sharing among different aircraft type, consistency inspection, components adaption and manufacture process are summarized. Knowledge management methods including ontology modeling, SWRL rules, ontology mapping and reasoning are applied to realize the consistency description and product data integration between design and process, the efficiency and accuracy of concurrent development are improved.

**Keywords:** Collaborative development Ontology reasoning Ontology mapping SWRL

当前,随着信息技术的广泛应用和各种先进制造模式的发展,复杂产品的数字化协同研制模式是航空企业的必然选择。并行协同模式<sup>[1]</sup>下,工艺和生产活动在设计信息不完备的情况下既已开始,并随时向设计部门提出反馈意见,各类信息在整个研制过程中相互联系、相互促进。以飞机线束的协同研制为例,为加快生产准备速度,缩短设

计更改周期,要求设计与工艺部门相互配合,工艺人员在示意图设计阶段便参与线束材料选型、制造标准、数据格式的制定工作,将部分工艺性审查提前到设计阶段,做到及早发现缺陷,提高工艺准备能力。

某航空企业 CAPP 系统为线束的协同研制开发了数据管理模块,采用前台调用存储过程的方式对设计数据进行工艺性审查,然而飞机线束的设计具有更改频繁的特点,如果接线逻辑发生变化或出现新的工艺规则,定义存储过程的代码将要做出相应的变化,导致专业编程人员维护工艺知识库的工作量增大。另外,该企业中不同机型的多种线束设计软件并存,某型飞机采用的线束设计软件已使用近 30 年,而新型飞机研制则更换为更专业化的线束设计软件,两个系统在线束的数据结构定义、接线逻辑表达方式等方面均存在巨大差异,但两种型号飞机线束数据工艺设计方法和加工技术却相同,这种情况给工艺人员带来了困扰。如何用同一系统或方法对飞机线束设计数据进行工艺处理,以达到工艺知识的共享和重用,更合理、高效地利用工艺资源,是企业关心的问题。

为实现飞机线束更智能、更灵活的工艺处理要求和不同机型间工艺知识共享的需求,需要解决知识的表示形式和异构数据集成两个关键问题。本体作为共享概念模型的明确的形式化规范说明不仅可支持异构系统互操作,而且具有面向对象的特点和强大的语义描述能力,便于实现领域知识复用<sup>[2]</sup>。本文将知识管理的方法应用到飞机线束的协同研制中,研究了基于本体的异构数据集成技术,并尝试将 OWL 与 SWRL 用于线束工艺审查推理,为线束数据的校验工作提供智能辅助支持。

## 1 集成框架

在分析飞机线束协同设计与制造流程和企业数据异构环境的基础上,本文设计了基于本体的飞机线束知识表示及集成推理系统框架,如图 1 所示:以线束的划线、端接、装配、测试以及材料定额编制等工艺为研究和应用背景,通过分析飞机线束相关概念和接线关系,建立飞机线

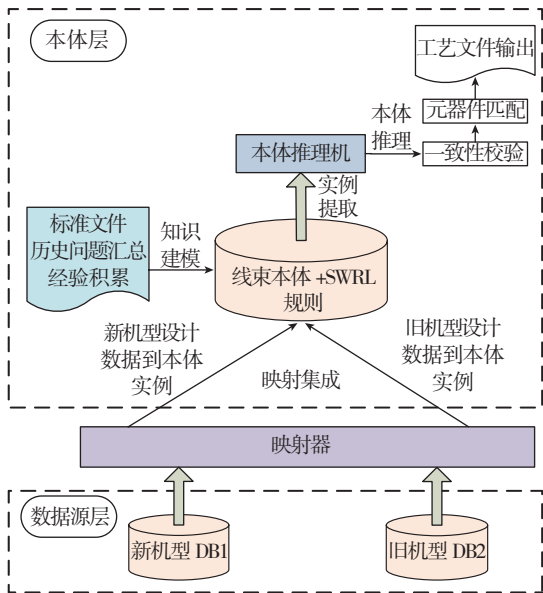


图1 飞机线束知识集成框架  
Fig.1 Knowledge integration framework of aircraft harness

束本体,并以此为依据,依据飞机线束工艺处理方法建立了飞机线束工艺校验的推理规则,同时整合到飞机线束本体中;采用本体映射技术将线束设计数据按型号映射成为线束本体实例;最后构建基于本体及规则的飞机线束协同研制知识集成系统,实现源数据读入-本体映射-本体推理-结果输出的一整套系统功能。

## 2 基于本体的数据集成

### 2.1 飞机线束本体建模

飞机线束数据主要描述线束的连接关系、屏蔽处理以及元器件信息,一方面,飞机线束具有数据量大、处理繁琐的特点;另一方面,尽管线束的规模、内容互有差异,但具有基本相同的设计、工艺、制造和检验方法,这一特点为飞机线束研制知识的获取和应用提供了基础。

由万维网联盟(World Wide Web, W3C)组织倡导的本体概念是一种明确的、形式化的规范描述,为共享概念模型提供了良好的知识表述支持及强大的语义方法<sup>[3]</sup>。采用本体对航空线束知识进行建模,能够为领域知识及规则提供描述框架及规范,构建易于扩展的术语词典,实现知识的统一描述和组织。

参照面向对象建模方法,本体模型定义可由概念 $T$ 、概念属性集 $A_c$ 、关系 $R_c$ 、关系属性集 $A_r$ 、概念层次 $H$ 和约束断言 $X$ 的6元组构成,即本体可表示为 $\{C, A_c, R_c, A_r, H, X\}$ 。对于领域产品知识管理,知识本体化的关键在于明确概念的定义、属性及层次关系,下文给出飞机线束本体主要类的形式化描述。

导线 $O_w$ 可表示为3元组: $O_w=\{I_w, Awg, Clr\}$ ,其中 $I_w$

为导线编号,  $Awg$  为导线规格,  $Clr$  为导线颜色。

导线是构成电线、电缆的基本元素,导线规格反映导线的直径大小,颜色起到在多芯线中区分导线的作用,线束中所有导线以编号进行区分,导线编号唯一。

元器件 $O_m$ 可表示为2元组: $O_m=\{M_n, Spec\}$ ,其中 $M_n$ 为元器件牌号,  $Spec$  为元器件规格,元器件包括后附件、电连接器、锡焊环等子类。

接触偶 $O_{pm}$ 可表示为2元组: $O_{pm}=\{M_p, T_p\}$ ,其中 $M_p$ 为接触偶代号,  $T_p$  为接触偶类型。

根据线束组成结构及制作过程可获得电连接器、死接头、焊锡环、导线、单芯线、多芯线和屏蔽线、接触偶、导线、壳体、标套、引出线等名称概念,以及接线、印字、压接、套标签、焊接、导通等动词概念。各种概念间存在大量约束规则及匹配规则,建立了如图2所示的本体结构。

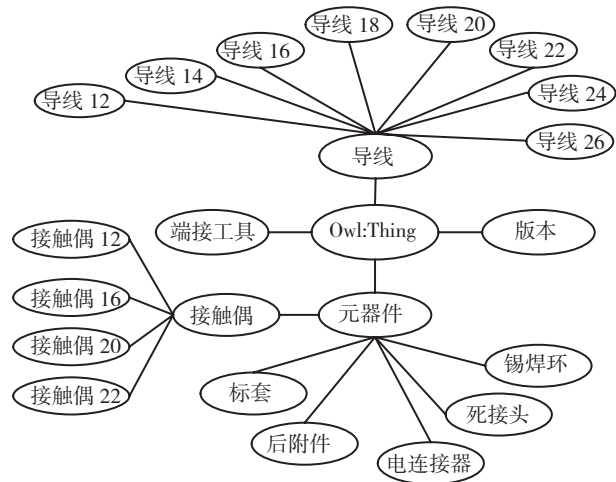


图2 飞机线束本体主要概念  
Fig.2 Main concepts of aircraft harness ontology

为了让计算机可理解,必须用形式化的方法对本体进行编码。采用W3C推荐的描述语言OWL,应用由斯坦福大学开发的一个免费开源的本体编码工具Protégé,此开发工具可以显式、形式化地将概念模型进行编码,本体开发界面如图3所示。

### 2.2 基于本体映射的飞机线束数据集成

本文定义飞机线束本体为共享的全局本体,最初它只是一个由概念、属性、关系、公理等构成的知识模型,而飞机线束数据存储在相关的企业应用系统之中,需要将这些数据按照飞机线束本体模型的结构化规范定义集成到飞机线束本体知识库中,以供本体推理使用。因此,需要建立关系数据库的数据模型和本体概念间的映射关系<sup>[4]</sup>。本文以某机型的线束设计数据为研究对象,研究并实现了基于本体的异构数据集成方法。

已有研究表明,关系数据库中的实体表对应本体中的

类,数据库中的关系对应本体中的对象属性,数据库中的字段对应本体中的属性,数据库中的记录对应本体中的实例<sup>[5]</sup>。本文建立的飞机线束本体是一个轻量化的本体,本体中类及属性并不多,但类之间的关系比较复杂。设计单位的数据模型比较复杂,很难找出一张表完全对应一个本体类,而且本体中概念之间的关系在数据库中很难找到映射对象。在关系模型中,用二维表表示实体,用列表示实体属性,实体之间联系无法显式表示出来,而是通过主键和外键的方式隐式表达的。本文利用人工构建映射加编程实现的方法,在透彻理解线束本体概念和数据模型的情况下,将线束本体的每个类及其属性所对应的数据表和字段集结起来用一张新表存放,使表与类、字段与属性完全一一对应,结合 Protégé 官网提供的 API,利用 Java 编程的方法,将表中数据导入飞机线束本体,得到飞机线束本体实例。

基于 Eclipse 开发平台和展现中间件 Dorado,本文开发了飞机线束知识集成原型系统,系统能完成飞机线束数据展示和本体实例集成等功能,本体实例转换成功的提示信息如图 4 所示。

### 3 基于 SWRL 规则的飞机线束工艺知识表示

飞机线束具有结构相似、规则性强的特点,本文将多种标准和规范转化为知识形式表示。线束工艺设计过程中涉及的知识可分为来源于标准文件的范围约束知识、来源于历史问题汇总的逻辑约束知识和基于经验积累获取的生产优化知识,相关知识为构建航空产品本体的实例、公理和函数奠定了良好的基础。

SWRL 是符合 W3C 规范的一种规则描述语言,它以网络本体语言(Web Ontology Language, OWL)的子语言 OWL DL 与 OWL Lite 为基础,并能利用已有本体中的类、属性和实例,从而补充 OWL 在规则描述以及推理方面的不足<sup>[6]</sup>。

对本体概念提取工艺校验规则所涉及的具体推理元素,并根据元素组建推理规则。下文将根据一致性校验规则和元器件适配规则进行举例说明。根据对接触偶一致性校验知识的抽取,发现具有以下一致性校验规则:

(1) 规格一致性检验: 导线规格应在所连接的接触偶适配规格范围内;

(2) 型谱一致性检验: 接线表中每个端子的针孔号必须在其对应的型谱中存在。

本文在飞机线束本体 SWRL 规则中主要使用两个限

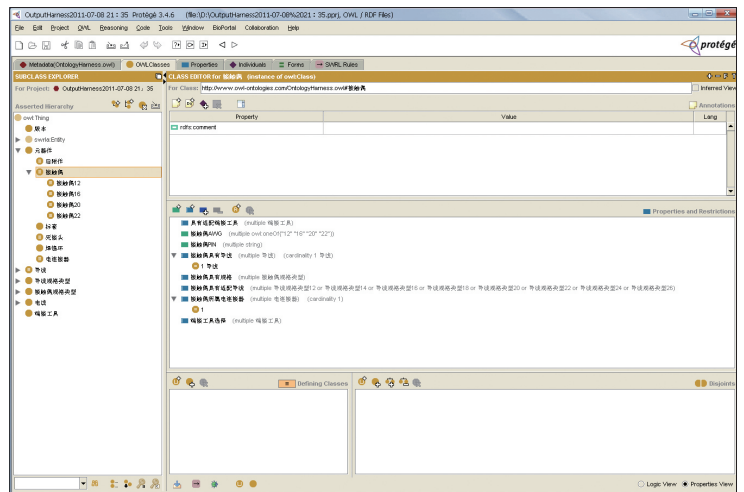


图3 飞机线束本体开发界面

Fig.3 Developing interface of aircraft harness ontology

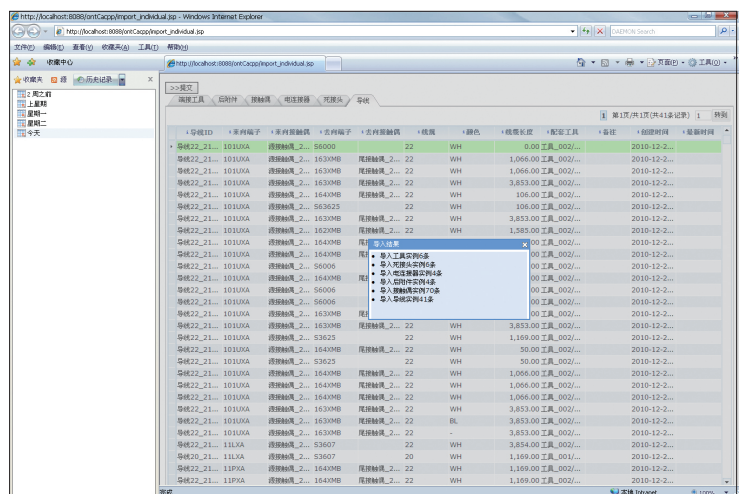


图4 本体实例转换成功提示

Fig.4 Prompt after harness example successfully imported

制式。 $C(?x)$ :  $x$  可以是变量或飞机线束本体的实例;  $C$  是类。该模式说明  $C$  类的一个实例,如导线( $?x$ );  $P(?x, ?y)$ :  $x$ 、 $y$  可以是变量、飞机线束本体的实例或数值;  $P$  是本体的属性。该模式说明具有  $P$  属性  $y$ , 如导线具有规格( $?x$ , 导线规格类型 12)。

用 SWRL 语言描述的一致性校验规则如下所述:

Rule 1: 导线( $?x$ )  $\wedge$  导线具有规格( $?x$ , 导线规格类型 12)  $\rightarrow$  导线具有适配接触偶( $?x$ , 接触偶规格类型 12);

Rule 2: 接触偶( $?x$ ) 接触偶具有规格( $?x$ , 接触偶规格类型)  $\rightarrow$  接触偶具有适配导线( $?x$ , 导线规格类型 12) 接触偶具有适配导线( $?x$ , 导线规格类型 14);

Rule 3: 电连接器( $?x$ ) 电连接器具有接触偶( $?x$ ,  $?y$ ) 电连接器型谱( $?y, ?z$ ) 接触偶 PIN( $?y, ?a$ )  $\rightarrow$  sqwrl:selectDistinct( $?x, ?z, ?y, ?a$ )。

本文的 SWRL 规则是利用 SWRL<sup>[7]</sup> 编辑器完成的,如

图5所示, SWRL编辑器运行于Protégé OWL Plugin中, 用户可以创建、修改和读写 SWRL 规则。传统的线束数据校验方式是通过编程实现的, 一旦工艺规则发生了变化, 需要专业的编程人员修改代码, 既耗时又不方便。上述 SWRL 规则所包含的元素是线束本体中定义的类、属性与实例, 可见, SWRL 通过本体中已定义的概念和概念之间的关系推理出结果。飞机线束设计、制造过程中涉及的主要概念基本不变, 这就意味着线束本体包含的类基本不变, 所以当工艺性审查规则发生变化时, 只需要相应修改本体概念间的关系和 SWRL 规则即可。而这些修改都可以由工艺或设计人员在 Protégé 中完成。Protégé 简单易用, 具有划分清晰的功能模块和友好灵活的用户界面, 操作人员只需理解业务知识而无需掌握后台编码, 相比于传统方法, 基于本体的线束工艺知识表示和语义推理具有更好的扩展性和灵活性。

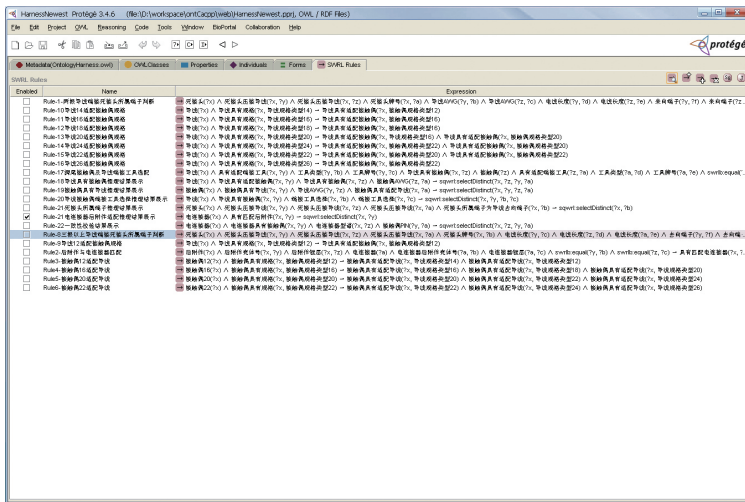


图5 SWRL编辑器 Fig.5 SWRL editor

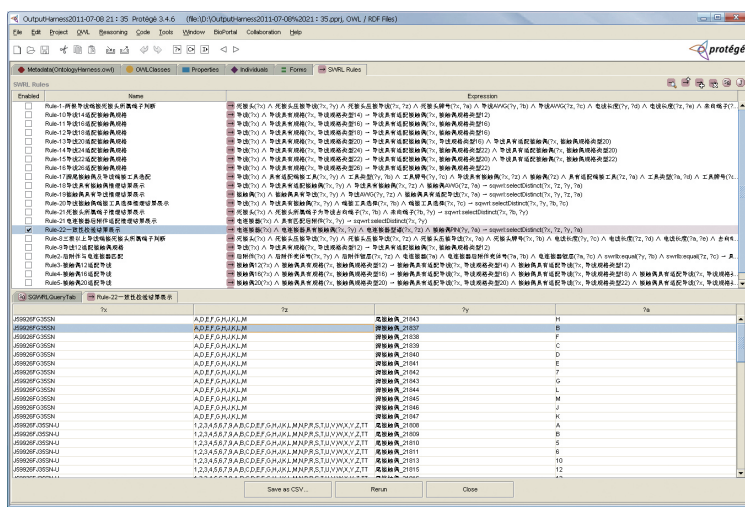


图6 接触偶一致性校验示例

Fig.6 Conformity verification example of contacting pairs

4 基于规则的推理与实现

本文运用 SWRL 语言描述的语义规则来表达飞机线束工艺知识, 针对集成的本体实例, 利用本体推理机进行推理, 实现飞机线束设计数据的智能化校验, 帮助使用人员进行工艺辅助设计。

在本体查询和推理过程中必须有推理引擎<sup>[8]</sup>的支持, 由于 Jess 在已有规则推理引擎中推理速度最快、推理效率最高, 本文采用 Jess 作为本体推理引擎。

通过一个实例显示整个推理过程及推理效果, 如图6所示, 运用规则 Rule3, Jess 自动加载所有相关的接触偶实例和电连接器实例, 其中不符合工艺规则的实例有源接触偶 \_21837, 其 PIN 号为“B”, 但其所属电连接器 J59926FG35SN 的型谱为“A, D, E, F, G, H, J, K, L, M”, 不包含“B”, 不符合接线一致性; 同样的情况还有源接触偶 \_21839、源接触偶 \_21842 和尾接触偶 \_21832 等。

5 结束语

依据本文提出的方法对线束数据智能化工艺校验的应用实践表明, 将本体表示、语义推理、知识集成等知识管理的技术和方法应用于飞机线束协同研制的工作中, 可以为参与协同的设计、工艺以及制造人员提供一致性产品数据描述, 有效促进飞机线束工艺知识的积累和共享应用。当设计发生更改时, 通过更改 SWRL 规则能高效地对线束数据重新进行工艺性校验。

参考文献

[1] 张立, 陈刚, 王玉柱, 等. 基于本体的功能建模框架及协同设计环境研究. 计算机集成制造系统, 2007, 13(3): 456-464.
[2] Noy N F, McGuinness D L. Ontology development 101: A guide to creating your first ontology. Stanford knowledge systems laboratory technical report KSLI-011-05 and Stanford medical informatics technical report SMII-2001-0880, 2001.
[3] Jones D, Bench-Capon T, Visser P. Methodologies for ontology development. Citeseer, 1998.
[4] 郭鑫. 基于本体的异构数据集成技术研究与实现[D]. 北京: 中国航天第二研究院, 2008.
[5] 张晓明, 胡长军, 李华显. 从关系数据库到本体映射研究综述. 小型微型计算机系统, 2009(7): 1366-1373.
[6] 范轶. 基于本体推理的心电图辅助诊断系统研究[D]. 长春: 吉林大学, 2010.
[7] 王欢. 基于本体和 SWRL 的空间关系推理的设计与实现[D]. 西安: 陕西师范大学, 2007.
[8] 徐斌, 曹存根, 张再跃. 基于本体和规则的扬弹机故障诊断研究. 火炮发射与控制学报, 2012(2): 63-66.

(责编 亿霖)