

面向知识工程的产品信息模型^{*}

江伟光 武建伟 潘双夏 郭峰

【摘要】 针对传统的产品信息模型(PIM)不能满足产品设计过程中对知识的需求,提出了基于知识工程(KBE)的产品信息模型。该模型采用基于KBE的知识表达框架,支持混合知识表达,采用面向对象的方法建模,基于属性、约束、操作对知识分类和表达,并在此基础上使用UML建立了PIM主框架,描述了PIM中的分类机制和组合机制。基于此模型建立了减震器的专家系统,将工程设计知识融于产品信息模型中,为专家系统提供了产品生命周期内的信息集成和知识支持。

关键词: 产品信息模型 知识表达 知识工程 面向对象方法

中图分类号: TH122 **文献标识码:** A

Product Information Model Oriented to KBE

Jiang Weiguang Wu Jianwei Pan Shuangxia Guo Feng
(Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract

To meet the requirements for knowledge in product design process, a product information model based on KBE was presented. Using knowledge representation framework based on KBE, the model was established by object-oriented method and supported mixed knowledge representation. With classification and representation of knowledge based on attribute, constraint and operation, a PIM main framework which described classification and composition mechanism was modeled by UML. Shock absorber expert system was established based on this model to merge engineering knowledge and support information integration of product lifecycle.

Key words Product information model, Knowledge representation, KBE, Object-oriented method

引言

产品生命周期知识和信息集成、管理和开发过程中,需要不同环境下的设计合作者共同管理、协同开发,传统的产品信息模型对产品生命周期信息交换和共享的支持不足,大多是基于数据的交换和基于语法的信息集成,主要用来表达产品的结构信息和几何信息,不能满足产品生命周期知识表达和共享的要求^[1]。一方面知识和信息需要语义级上的交换和共享,不仅要使信息具有一致的表达,还要保

证设计者或智能系统(信息的使用者)具有一致的理解。另一方面,企业需要以往项目的设计经验能够得以继承、重用,各阶段各层次的开发人员的知识经验能够得以捕获、存储、积累并在新产品开发中传递、重用和创新^[2],以加快产品的开发效率,降低产品成本,提高产品质量。

因此,产品信息建模需要知识工程的支持^[3]。本文研究面向知识的产品信息建模,提出基于知识工程的知识表达框架,在产品信息模型中融入工程设计知识,支持混合知识表达,使得知识能够服务于

收稿日期:2007-04-25

^{*} 浙江省重大科技攻关项目(项目编号:2004C11029)

江伟光 浙江大学机械设计研究所 博士生, 310027 杭州市

武建伟 浙江大学机械设计研究所 讲师 博士

潘双夏 浙江大学机械设计研究所 教授 博士生导师

郭峰 浙江大学机械设计研究所 博士生

产品开发的各个阶段和设计细节中,并用面向对象的方法通过 UML 建模表达产品信息模型(PIM)主框架。

1 基于 KBE 的混合式知识表达框架

知识工程(knowledge based engineering, 简称 KBE)以知识为处理对象,主要为专家系统、人工智能提供知识表达、知识获取和知识重用的技术和方法^[4]。传统的产品信息模型局限于几何知识和部分控制数据的表达,不能满足当今产品开发对全生命周期信息的需求,如概念设计阶段的功能、行为、结构知识无法在全生命周期内获取和重用,产品信息管理和开发需要知识的支持,将 KBE 技术与产品信息建模技术相结合,使得信息模型支持知识表达,可以有效地实现产品信息的知识级管理和重用,促进知识和工具的集成,提高产品开发效率。

关于知识表达国内外学者已经进行了很多研究,可分为基于关系、逻辑、规则、框架、语义网络、本体、面向对象等表达方法。不同的表达方法各具特点,在不同的应用环境需要选择适合的表达方法。本文提出一种基于 KBE 的产品知识表达框架,采用面向对象的方法建模,支持混合知识表达,如图 1 所示。采用关系数据库来存储知识;采用语义 Web 来进行知识交换和传输,支持分布式环境下异构系统的知识共享和表达;使用面向对象的方法进行信息建模,支持产生式规则来表达设计规则,描述逻辑来表达逻辑知识,它通过对象模型和关系模式映射来存储和提取数据,通过使能工具来实现知识重用和知识提取,通过与语义 Web 相互映射来进行知识交换和共享。

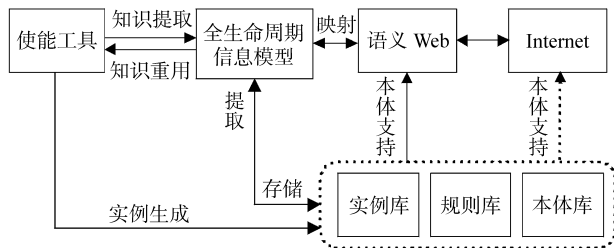


图 1 基于 KBE 的知识表达框架

Fig. 1 Framework of knowledge representation based on KBE

在管理和储存大容量信息时,采用关系模式来表达知识并用关系数据库管理知识具有明显的优势,便于存储和进行查询添加等频繁的操作,技术成熟且效率高。产品生命周期信息繁多,种类繁多,采用关系数据库来存储非常适合,如图中的本体库、规则库、实例库都可以采用关系数据库来存储。语义 Web 是本体在 Web 上的一种应用,可以跨平台,作

为异构系统的信息交换和知识共享标准^[5]。本体是一种概念化的描述,语义 Web 基于本体可以表达语义,可作为一种计算机可理解的中性文件;基于描述逻辑语言(DL)具有表达逻辑知识的优点,支持逻辑推理;其语法上遵循 XML 以及 XML Schema,并利用 XML 名字空间机制提供一种通用方法定义元数据(包括关系属性),从而对信息资源进行语义上的描述,通过 XML 作为传输标准实现了跨系统、跨平台,为 Web 环境下的协同设计提供了基础,实现分布式环境下和异构软件环境下的协同设计。

面向对象的知识表达方法可以将多种单一的知识表示方法(规则、框架、逻辑等)按照面向对象的设计原则组合成一种混合知识表达形式,满足产品模型中不同知识的表达需求。通过属性、约束和操作来建立面向对象的产品生命周期信息模型,并集成知识的表达和运用,如图 2 所示。属性(Atb)、约束(Cons)、产品(P)、特征(F)、模型(M)等都作为对象,封装了其特性、领域知识和操作以及内聚对象之间的关系。通过抽象和继承表达了对对象的通用性和差异性,通过多态实现了继承对象以相同的接口完成自身不同的行为。属性和约束描述了元数据及其关系,操作描述了对象的行为。信息建模的过程可以看作属性和约束表达基础上的操作序列,产品设计过程则可以看作约束网络下属性的完善过程。

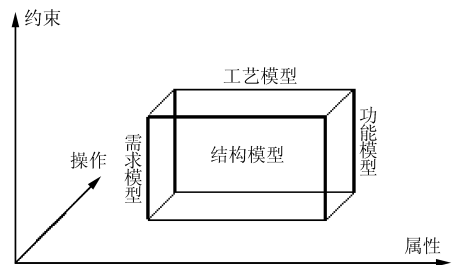


图 2 PIM 的三维表达

Fig. 2 3-D representation of PIM

2 面向知识的产品信息模型

2.1 产品知识分类

(1) 产品开发不同阶段用来描述产品、部件、零件的参数信息,如产品的基本信息、功能属性、零部件的主参数、工艺参数等,主要为一些几何参数和陈述性知识。

(2) 用来描述产品开发过程中参数和属性、零部件对象之间的关系,如装配关系、几何约束、结构约束等。主要为一些几何关系、规则和逻辑知识。

(3) 支持产品开发和产品设计过程中产生的一些技术文件,主要为结构化文档和图纸。

(4) 支持产品开发管理的相关信息,如项目信

息、人员信息、权限信息等。

2.2 产品知识表达

下面结合减震器实例来说明上述知识的表达和存储,并用面向对象方法来统一表达和建模。面向对象产品信息建模主要基于分类和组合2种抽象机制,可以分为2个不同的层次:类型和实例。类型是一组相似实例的抽象,实例是类型的赋值和具体化。属性构成了知识和信息的分类基础;组合则可以看成是产品、部件、零件等对象之间的一种关联和约束。属性和约束描述了知识的元数据及其关系,操作描述类型与实例的建立过程和转换过程。

(1)对应第1类知识和部分第4类知识,主要是一些参数信息,用来静态描述产品的某个侧面,可以用属性来表达。定义属性 Atb 为五元组,由属性标识 ID、属性名 Name、属性表达类型 Type、属性值 Value 和属性分类 Class 组成,形式化表达为:

$$Atb(ID, Name, Type, Value, Class)$$

属性的表达类型 Type 可分为数值型、字符串型和集合型3类。数值型具体又可分为布尔型、整型、浮点型等,用来表达一些几何数据;字符串型用来表达一些陈述性的参数;集合型又可分为数组和动态列表,用来表达一些离散数据和字符串集合。

属性分类 Class 用来表示产品生命周期中属性所属类别,根据产品开发过程中对全生命周期信息需求,可分为工程属性和管理属性。工程属性又可分为需求属性、功能原理属性、结构属性、工艺属性、装配属性等;管理属性又可分为项目属性、任务属性、安全属性、人员属性等。

用面向对象中的继承机制来支持知识的分层和粒度表达,如功能属性继承了 Atb 的一般表达,并扩展自身的特殊表达,增加了输入和输出流信息。形式化表达为:

$$Function: Atb(Istream, Ostream)$$

属性的存储分为两部分,分别存储在属性定义表和属性值表中,属性定义表是产品定义阶段某类产品或零部件的属性集合,属性值表是在产品实例化阶段给定义的属性赋值的集合,对于同一属性,不同的产品可以各自分别赋值。

(2)第2类知识比较复杂,用来描述对象之间的关系,在面向对象的产品信息模型中用约束来表达多种知识。定义约束 Cons 为五元组,由约束标识 ID、约束名 Name、约束表达类型 Type、约束表达 Expression 和约束分类 Class 组成。

$$Cons(ID, Name, Type, Expression, Class)$$

约束表达类型 Type 可分为:算术类知识(Formula)、规则类知识(Rule)、逻辑类知识(Logic),可

用分类关系表示,如图3所示。

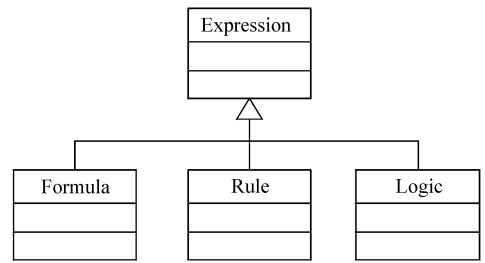


图3 约束表达类型

Fig.3 Classification of constraints representation

算术类知识用数学公式来表达,主要用来处理几何约束的数值运算,这在产品详细设计中很常见,通过操作符 =, <, >, Sqrt 等算术操作,通过编译后可自动运算,准确方便。下面是减震器专家系统中一个典型的属性公式表达,编码规则为“V+对象类ID+属性ID”:

V2267_399(GG型压限位块A系列减震器.与贮液筒配合的外径d) = V2265_399(GG型压限位块A系列减震器.Lmax) - V2266_399(GG型压限位块A系列减震器.Lmin)

公式可以直接用字符串的形式作为关系表的字段存取在知识库中,使用时通过编码规则解析其对象ID和属性ID,从实例库中提取属性值来进行实例化。

规则类知识可用产生式规则来表达,产生式规则格式统一,条理清楚,可以用来表达公式不能表达的非数值型知识,对于事实知识和规则知识都有很好的控制机制,特别适合结构复杂并有决策要求的制造、工艺类知识的表达。其一般表达为:

$$IF \langle \text{条件集} \rangle \quad THEN \langle \text{结论集} \rangle$$

规则采用关系模式存放在规则库中,规则的关系模式可描述为:

$$Rule(RuleID, Data, Flag, Relation, Priority)$$

一条规则可能有多个条件和多个结论,因此一条规则需要分成多条记录来存储,每条记录存储一个条件或一个结论。RuleID是规则的标识;Data指的是一个条件或一个结论的内容;Flag是标识位,用来标识是条件还是结论;Relation用来表示各条件或各结论之间的与、或、异或关系;Priority用来表示各条件或各结论的优先性,可用一组序列号来表示。

产生式规则对于一些规则和决策类知识表达具有优势,对于一些接近自然语言的逻辑类知识和模糊知识,使用描述逻辑来表达更为合适。描述逻辑的重要特征是有很强的表达能力和可判定性,它能保证推理算法总能停止,并返回正确的结果,便于建立基于知识的推理。

例如减震器活塞杆的一个加工要求 K 用属性集表示为: {材料类型(45#), 精度(5, 7), 粗糙度(1.6, 6)}, 其加工方法可逻辑表达为

活塞杆 \cap K \rightarrow 粗车 \cap 半精车 \cap 精车

其中“ \cap ”表示逻辑“与”, “ \rightarrow ”表示知识的推理过程。这种知识也可以用字符串的形式存储于关系数据库中, 使用时通过语法规则来解析其语义。

约束分类 Class 用来表示全生命周期中约束所属类别, 便于分类管理。可分为几何约束、结构约束、装配约束、性能约束等, 用户可以根据需要建立各种分类, 以便在不同模型中灵活应用和重组。

对于第 3 类知识, 可以将结构化的文档存储在数据库中, 也可以以文件夹的形式来管理, 通过在数据库用一个关系模式来存储产品和它们之间的引用关系来集成这些知识。

(3) 定义操作为四元组, 包括操作标识 ID、操作名 Name、操作函数 Function、操作分类 Class, 描述为:

Opt(ID, Name, Function, Class)

操作可分为添加、删除、读取、存储等元操作, 其他操作可以看作元操作的组合。操作在实际建模中一般固化为对象的成员函数, 通过继承和重载可以用相同的接口完成对象的不同行为, 如对以上 3 种不同表达类型的约束, 都有进行存储的操作, 但由于不同类型的约束在知识库中的表达结构不同, 所以操作函数的行为方式也不同, 但却具有相同的调用方式。根据作用对象的不同, 操作可分为对象类的操作和对象实例的操作: 模型的建立过程可以看作是约束控制下对象类操作的组合序列; 实例的生成过程则可以看作对象实例的操作序列, 以进行属性值和约束的逐步完善。如图 4, 描述了操作、属性、约束、对象之间的关系, 它们的组合、分类共同组成了产品信息模型。操作可以作用在属性、约束、对象之上; 约束根据作用对象的不同可以分为 4 类: ① 同一对象属性之间的约束, 如图 4 中约束 1。② 不同对象属性之间的约束, 如图 4 中约束 2。③ 属性和对象之间的约束, 多为一种映射关系, 如图 4 中约束 3。④ 对象和对象之间的约束关系, 如图 4 中约束 4。

2.3 PIM 主框架的面向对象表达

前述的产品知识分类与表达为 PIM 提供了知识表达和集成的基础。PIM 中各对象通过对属性、约束、操作的重组建立各个对象模型。属性和约束将知识表达集成于产品信息模型中, 操作为知识的获取、存储和运用提供可调用的接口和方法。下面用 UML 来进行 PIM 的面向对象建模。可以从纵

横两个方向来描述, 它们相互关联组合成 PIM 以及各个子模型。纵向描述的是产品的组成结构, 体现了产品信息模型中的组合机制, 如图 5 所示。横向描述的是产品生命周期不同阶段和过程信息的表达与转换, 体现了产品信息模型中的分类机制, 如图 6 所示。

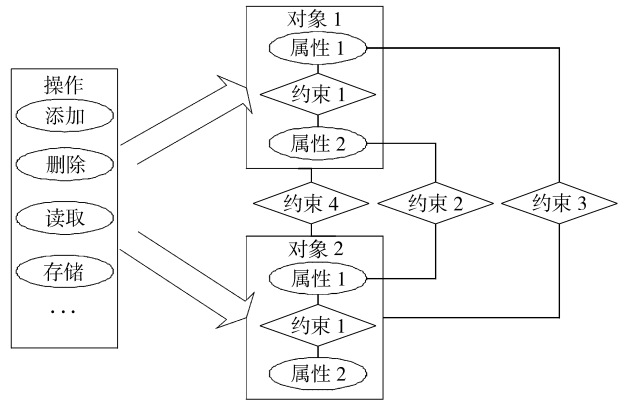


图 4 操作、属性、约束关系框图

Fig. 4 Relation of operation, attribute and constraint

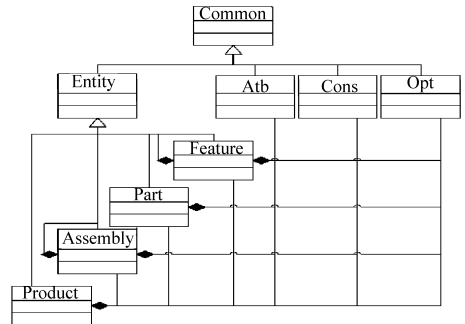


图 5 PIM 中的组合机制

Fig. 5 Composition mechanism of PIM

图 5 中 Common 为公共基类, 定义了所有对象共有的公共属性和公共操作, 如 ID、名称和存储操作等, 所有其他对象都继承于它, 这保证了所有对象都能基于公共类统一操作。特征 (Feature)、零件 (Part)、装配体 (Assembly)、产品 (Product) 都由实体 (Entity) 派生, 由图中可以看出它们之间的内聚关系, 其中 Feature 和 Assembly 具有自身内聚的特点。同时所有不同级别的实体对象都内聚了属性 (Atb)、约束 (Cons) 和操作 (Opt)。图中显示了产品的组成结构, 在产品生命周期不同阶段, 具有不同的结构表达。如功能原理阶段表现为功能结构树; 设计阶段表现为产品设计结构; 制造装配阶段表现为产品工艺结构。同时不同阶段各实体需要进行不同的信息描述, 表现为结构树上不同节点的信息表达, 这些节点可以是产品, 也可以是部件、零件和特征, 对应产品生命周期一系列不同阶段如功能、设计、装配等信息, 通过属性、约束和操作的分类表达来实现, 如图 6 所示。

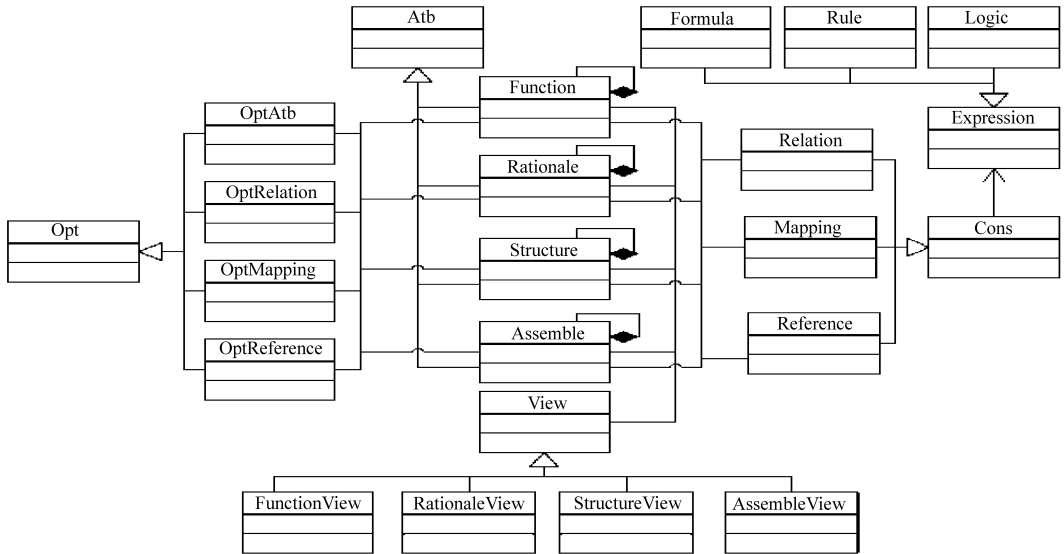


图 6 PIM 中的分类机制

Fig. 6 Classification mechanism of PIM

图 6 中属性 (Atb) 由继承机制派生了功能 (Function)、原理 (Rationale)、结构 (Structure)、装配 (Assemble)，面向对象系统具有很强的扩展性，还可以根据产品生命周期信息需要扩展新的模块。Express 类的引入为产品信息模型提供了知识表达的基础。约束 (Cons) 被分成 3 种基本的约束关系：关联 (Relation)、映射 (Mapping) 和引用 (Reference)。如装配关系就可以看作关联的一种，在装配模型中通过继承 Relation 来实现，用前述的第 2 类知识来表达；功能、原理、结构模型之间相互映射，可以用一种映射关系来表达，如前面例子中活塞杆的加工方法就可以看作结构模型到工艺模型之间的一种映射知识；产品和各过程、各部门产生的文档之间是一种引用关系，如前述的第 3 种知识。操作也相应细分：对属性的操作 (OptAtb)，包括添加属性、删除属性、属性的存储与读取等；对关联的操作 (OptRelation)，包括建立关联、删除关联等；对映射的操作 (OptMapping)，包括对象之间建立映射关系、映射的存储、对引用的操作 (OptRelation)，包括建立引用关系等。通过对这些操作的组合来建立和访问信息模型。这些属性、约束和操作的分类用统一的方式描述了各个阶段产品信息的元数据，通过视图类 (View) 可以集成和访问所有全生命周期的信息，各个子模型抽取这些元数据来进行重组，通过子模型视图 (FunctionView、RationaleView、StructureView、AssembleView) 来访问，实现信息的一致与共享。

3 应用及系统实现

基于以上研究，建立了面向知识的减震器专家系统，如图 7 所示，通过 PLM 系统为专家系统提供

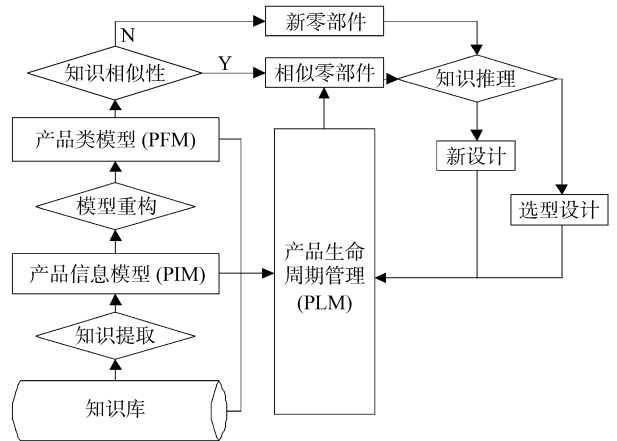


图 7 面向知识的专家系统结构图

Fig. 7 Structure of expert system oriented to knowledge

信息知识的存储和访问，专家系统通过重组知识信息建立产品类模型，产品类模型是一组相似产品信息的集合，按照上述面向对象的方法来表述，从 PLM 中获取或新建立产品类模型中节点的属性，即零件、部件、产品的属性，在专家系统中为产品类模型建立属性约束和产品设计中的知识规则；由产品类模型生成产品实例，根据知识相似性即判断属性和约束相似性从 PLM 系统中搜索相似的产品或零部件以便重用或进行选型设计，对于需要新设计的零部件则在知识规则的约束下与用户交互设计。如图 8 所示，左侧下层窗口为产品组成结构，对应每个节点可打开新窗口进行零部件的设计，图中为减震器油封导向的设计，由属性区、检索区和规则约束区组成。最终生成的产品实例存储到 PLM 系统中，并由 PLM 系统统一管理。系统采用 SQL SERVER 数据库，基于 C/S 架构的方法，与 PLM 系统紧密集成，取得了良好的应用效果。

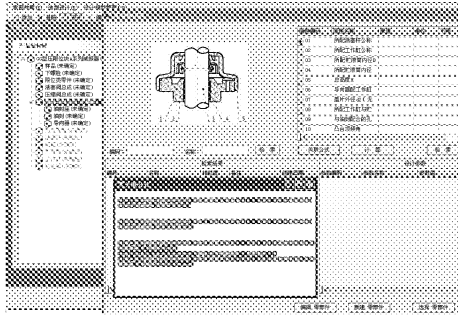


图8 减震器专家系统界面

Fig. 8 Interface of shock absorber expert system

4 结束语

从产品信息建模时需要知识表达的需求出发,提出了混合式知识表达框架,采用关系模式来表达知识的存储,用语义 Web 来进行知识交换和传输,用面向对象的方法基于属性、约束、操作建模,支持算术知识、规则知识、逻辑知识的表达,使用 UML 建模工具建立了 PIM 产品组成和信息表达主框架,并用减震器设计专家系统的实例来说明将知识工程和产品信息建模融合来解决产品设计开发问题的可行性。

参 考 文 献

- 1 Yuh-Jen Chen, Yuh-Min Chen, Chin-Bin Wang. Developing a multi-layer reference design retrieval technology for knowledge management in engineering design[J]. *Expert Systems with Application*, 2005, 29(4):839~866.
- 2 Sudarsan R, Fenves S J, Sriram R D, et al. A product information modeling framework for product lifecycle management [J]. *Computer-Aided Design*, 2005, 37(13): 1 399~1 411.
- 3 郭鸣,李善平,董金祥,等. 基于本体论及语义 Web 的产品信息模型研究[J]. *浙江大学学报:工学版*, 2004,38(1): 22~28.
- 4 李治,金先龙,贾怀玉,等. 产品设计知识的表示与重用技术[J]. *上海交通大学学报*,2006,40(7):1 183~1 186.
- 5 Pulido J R G, Ruiz M A G, Herrera R. Ontology languages for the semantic web: a never completely updated review[J]. *Knowledge-Based Systems*, 2006, 19(7): 489~497.

(上接第 148 页)

- 4 鲁开讲,牛禄峰,刘亚茹,等. 3-RPS 并联机构奇异位形及工作空间研究[J]. *农业机械学报*,2007,38(5):143~146.
Lu Kaijiang, Niu Lufeng, Liu Yaru, et al. Research on singular configuration and workspace of 3-RPS parallel mechanism [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*,2007,38(5):143~146. (in Chinese)
- 5 郭宗和,孙术华,郝秀清,等. 3-PUU 三维平动并联机器人的位置分析及其仿真[J]. *中国机械工程*,2006,17(17): 1 787~1 789.
Guo Zonghe, Sun Shuhua, Hao Xiuqing, et al. Position analysis and simulation of 3-PUU translational parallel manipulator [J]. *China Mechanical Engineering*,2006,17(17):1 787~1 789. (in Chinese)
- 6 杨廷力. 机器人机构拓扑结构学[M]. 北京:机械工业出版社,2004.
- 7 黄真,孔令富,方跃法. 并联机器人机构学理论及控制[M]. 北京:机械工业出版社,1997.
- 8 Chen W J, Zhao M Y, Chen S H, et al. A novel 4-DOF parallel manipulator and its kinematic modeling[C]//*Proc IEEE Conf. on Rob. Aut.*,2001:3 350~3 355.