

文章编号:1000-582X(2010)05-055-07

产品本体筛检方法及其在变型设计中的应用

阎春平,周青华,范辉先,刘飞

(重庆大学机械传动国家重点实验室,重庆400044)

摘要:提出了一种应用于产品变型设计中的本体筛检方法,该方法以完整的产品资源本体视图为基础,将产品的功能需求、结构特征等转化为需求约束,设计人员根据需求约束对产品资源本体进行筛检。针对不同的筛检层次和筛检对象,给出了模式匹配、实例匹配与人工决策相结合、实例推理自动匹配等筛检规则。这种人机结合的半自动筛检方法提高了产品变型设计方案的准确性,增加了设计过程的柔性和效率。开发了一套针对建筑门窗产品的变型设计支持系统,证明所述方法的可行性和有效性。

关键词:变型设计;本体;本体筛检;实例推理;产品资源视图

中图分类号:TP391.72

文献标志码:A

Product ontology screening and its application in variant design

YAN Chun-ping, ZHOU Qing-hua, FAN Hui-xian, LIU Fei

(State Key Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China)

Abstract: A product ontology screening method which can be used in variant design is proposed. With the support of complete ontology view of product resources, the product functional requirement and structural characteristics are converted to demand constraints, which are used to screen product ontology. For different screening hierarchies and objects, different screening rules such as pattern matching, case matching combined with manual decision and auto matching on the basis of case-based reasoning are adopted. The semi-automatic screening method with human-computer cooperation has impressive effectiveness on the improvements of the accuracy of design schemes and the flexibility and efficiency of design process. Finally, a variant design supporting system for building door and window is developed, which proves the feasibility and effectiveness of the method.

Key words: variant design; ontology; ontology screening; case-based reasoning; product resources view

变型设计是指在保持原理不变和结构相似或相同的情况下,适应功能或需求的不同,对已有的成熟产品的部分结构或者设计参数作适当的调整来满足客户的需求,从而实现产品的快速设计^[1-3]。面对市场多样化、个性化的需求,产品的变型设计成为企业缩短产品设计周期,提高产品质量,降低成本的重要

手段^[4-5]。变型设计方法及理论也由此受到广泛关注,如文献[6]针对客户需求差异化越来越大,提出一种基于产品平台的变型设计方法,以实现产品设计信息的重用,提高设计效率;文献[7]提出了面向实例推理的产品设计本体模型,并利用本体技术建立基于实例推理的产品设计实例本体和产品设计实

收稿日期:2009-12-03

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50975299);“十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAF01A27)

作者简介:阎春平(1973-),男,重庆大学副教授,博士,主要从事网络化制造与制造系统工程、企业信息化等方向的研究,
(E-mail)yep@cqu.edu.cn。

例本体模型,依据实例推理的产品设计给出了基于本体的产品设计实例检索机制;文献[8]将模块化技术和基于实例推理技术引入到产品变型设计中,提出了基于模块化产品实例的变型设计技术;文献[9]提出了面向大批量定制的配置产品变型设计理论和方法。

目前针对变型设计的研究大多基于所提出的一些推理方法来实现相应的变型设计。这些推理方法比较趋于完全自动,但产品在设计、建模等过程中蕴含了大量行业知识,这些知识复杂多样、形式灵活,多以经验的形式分散存在,使得完全自动化、单一的推理机制在进行产品的变型设计时演化能力不足,较难形成有效的变型方案,同时推理机制在各个设计层次之间难以互通信息,缺乏有效的反馈和协调机制,使得设计过程缺乏柔性,并导致不合理方案增多,尤其不能适应设计要求的变更需要。

笔者提出了一种应用于产品变型设计中的本体筛检方法,该方法以产品领域内完整产品资源本体为基础,从产品需求分析开始,每个层次应用相应的人机结合的筛检方法,同时结合相应变型设计过程,得到最合适的临时产品本体以及产品需求,传递给下一层次。由此通过层层筛检及筛检过程中的变型设计,得到目标产品本体,最终完成对产品的变型设计。这种人机结合的半自动化方法结合了人的能动性与计算机的高效性,提高了产品的变型设计方案的准确性,同时各个设计层次之间可以相互沟通,增加了设计过程的柔性,使得设计方案的修改更加容易。

1 本体筛检原理与方法

1.1 本体筛检原理

本体作为知识的一种良好载体,有很好的表达方式以及层次结构^[10-13]。本体筛检的前提就是以本

体为基础建立产品资源本体视图,产品资源本体视图是产品领域内统一的结构和功能视图,此视图对已有的产品资源进行规范化的组织,描述了领域内所有的概念以及相互之间的层次关系、结构关系和约束关系。

与一般的单一、自动的推理机制不同,本体筛检是将市场需求、功能定义、结构特征、成本等作为约束条件,依据相应的推理规则,基于已有的产品资源本体进行筛检,去掉不符合条件或者无关的概念,结合按实际需求利用变型设计加入的新的属性,形成阶段产品本体,并以此作为下一级筛检的起点,同时对筛检形成产品本体方案进行论证,如果不符合约束规则就返回筛检过程或上级筛检过程重新筛检,如此层层筛检、循环往复,最终形成所设计产品的本体。

1.2 本体筛检流程

如图 1 所示,销售人员等前期设计人员根据客户需求信息、市场信息等通过功能分解形成产品基本性能指标,对产品资源本体进行产品层的筛检,剔除不属于本产品的概念本体,同时将新的需求加入筛检后的本体,形成产品资源本体(G);负责该产品的工程师通过概念分解形成产品功能指标,对产品资源本体(G)进行功能筛检,剔除不符合功能指标的概念本体,结合变型设计产生的新的功能本体,形成产品资源本体(S);之后根据产品的复杂程度进行任务分解,结构设计人员对产品资源本体(S)进行结构筛检,结合变型设计产生的新的本体,形成产品资源本体(F);最后由工艺人员等根据原材料供应信息以及成本因素等对产品资源本体(F)进行工艺筛检,选择合适的材料等;对于最后形成的产品本体如果不是最终的产品,则送由项目负责人对产品本体进行再一次的筛检,如此循环迭代,最终得到所需要的产品。

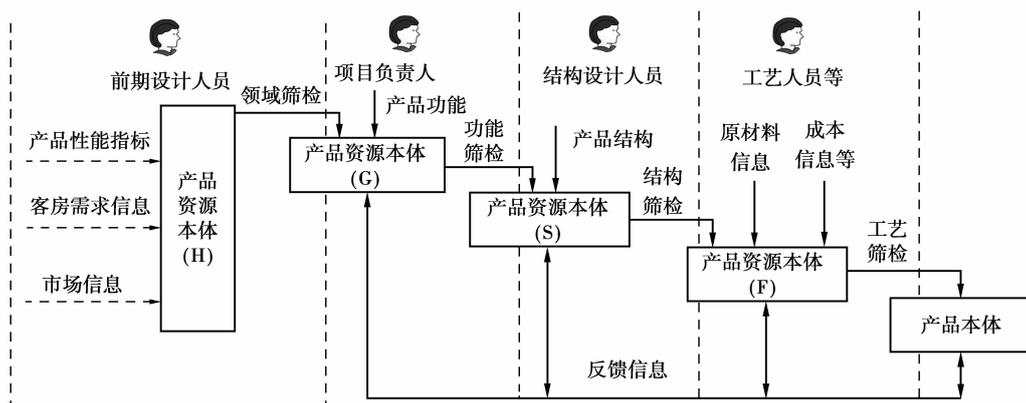


图 1 本体筛检流程

应用本体筛检的变型设计方法并不是简单对已有产品的筛检、重组,它实现了如下功能:

1)产品资源的有效管理。该方法是与产品资源模型紧密联系的,产品资源模型是实现本体筛检的基础,同时设计过程中的需求约束又反过来不断检查产品资源模型的完整性和准确性,保持产品资源模型随时更新,这样既实现了变型设计过程产品资源的规范化组织,又不会出现因新产品增加而导致的产品资源库的混乱。

2)可视化的设计过程。应用本体筛检的变型设计是在产品资源的本体视图上进行的,每一个阶段形成的临时本体视图都会直观地传递给下一设计层次,这样设计人员就可以直观了解上一阶段的设计结果以及设计意图,为自己的设计提供依据和参考。

3)数据的共享。有效的设计流程必须是上一层次包含了下一设计层次所需的所有的关键信息,并且信息能够在不同的设计层次间被传递,如果在某一层次发生变化,那么和它相关的所有层次都能够获取这种新的改变。本体对资源描述的唯一性和可理解性使得一个复杂的产品设计在早期就可以分解成不同的、简单的设计,进而分配给不同的团体或个人进行详细设计,可支持产品的并行设计。

4)设计变更的有效传递。一种变更是在设计的顶层对设计意图进行更改,即对约束规则进行更改,由于约束规则整个变型设计过程所共享的,所以每个设计层次会根据约束规则进行本体的更新筛检。另外一种变更是在变型设计过程中,某一设计层次的约束规则变更,引起顶层约束规则的变更,这种变更又引起变型过程其他设计层次约束的变更,因此,这种变更信息的传递是双向的。

2 产品资源本体

笔者构建的本体由概念(concepts)、结构关系(relations)、层次关系(hierarchy)和约束关系(axioms)组成,本体的定义如下:

$$O = \{C, R, H, A\},$$

式中: C 为概念集,表示为 $C = \{C_{id}, C_{at}\}$, C_{id} 表示概念的唯一标志, C_{at} 表示设计对象的属性集合; R 为结构关系集,表示为 $R = \{R_{oid}, R_{cid}, R_{fobj}, R_{sobj}\}$,其中 R_{oid} 和 R_{cid} 分别表示在同一联系分类中结构关系对象的标志和结构关系分类的标志, R_{fobj} 表示第1个概念, R_{sobj} 表示第2个概念; H 为层次关系,表示为 $H = \{H_{oid}, H_{cid}\}$,其中 H_{oid} 和 H_{cid} 分别表示在同一联

系分类中层次关系对象的标志和层次关系分类的标志, $H \subseteq C \times C$ 表示概念的层次关系,如 $H(C_1, C_2)$ 表示 C_1 是 C_2 的下层概念; A 为约束关系集,表示概念或关系之间的约束集合,表示为 $A = \{A_{oid}, A_{cid}\}$,其中 A_{oid} 和 A_{cid} 分别表示在同一联系分类中联系对象的标志和联系分类的标志。

本体化的主要工作是明确定义概念和关系,以及两者的层次,明确相互之间的约束。以建筑门窗产品为例,图2所示为其部分结构的本体化,其中有4个概念:铝合金推拉窗(x)、内上方(y)、玻璃(z)、中空内上方(n);2个结构关系 $c_1(x, y)$ 和 $c_2(x, z)$ 表示内上方和玻璃为铝合金推拉窗的组成部分;一个约束关系 $w(n, z)$ 表示玻璃对应的内上方为中空内上方;中空内上方是内上方的下层概念,表示为 $h(n, y)$ 。由此可得此结构的本体表示为 $C = \{x, y, z, n\}$, $R = \{c_1(x, y), c_2(x, z)\}$, $H = \{h(n, y)\}$, $A = \{w(n, z)\}$ 。

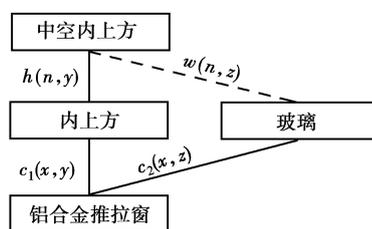


图2 产品本体表示示例

产品设计过程是一个自顶向下、不断分解、不断简化的过程,体现了层次性。产品资源本体视图同样应具有层次性,即产品资源概念以产品自身的结构信息为基础,包含产品族层、产品层、部件层、零件层及其相关的工艺信息、市场信息等。在本体视图中引入虚元概念,这种概念通常表示某个部件所具有的功能,这就将产品的功能层和结构层统一到一个视图中,在本体筛检时将不区分功能和结构而都作为本体概念处理,这样保证了本体筛检的一致性和全面性。产品本体领域视图中每个独立的概念本体称为类,类中的概念是一个抽象概念,它可能表示的一个产品族的组成,也可能表示的是某个部件的结构关系,或者概念之间仅是逻辑上的关系。如图3(a)所示为产品资源本体结构视图,图3(b)以窗产品为例显示了窗的部分本体结构视图。图中无端实线标识概念之间的层次关系,带箭头实线表示概念之间的功能关系,虚线表示概念之间的约束关系。

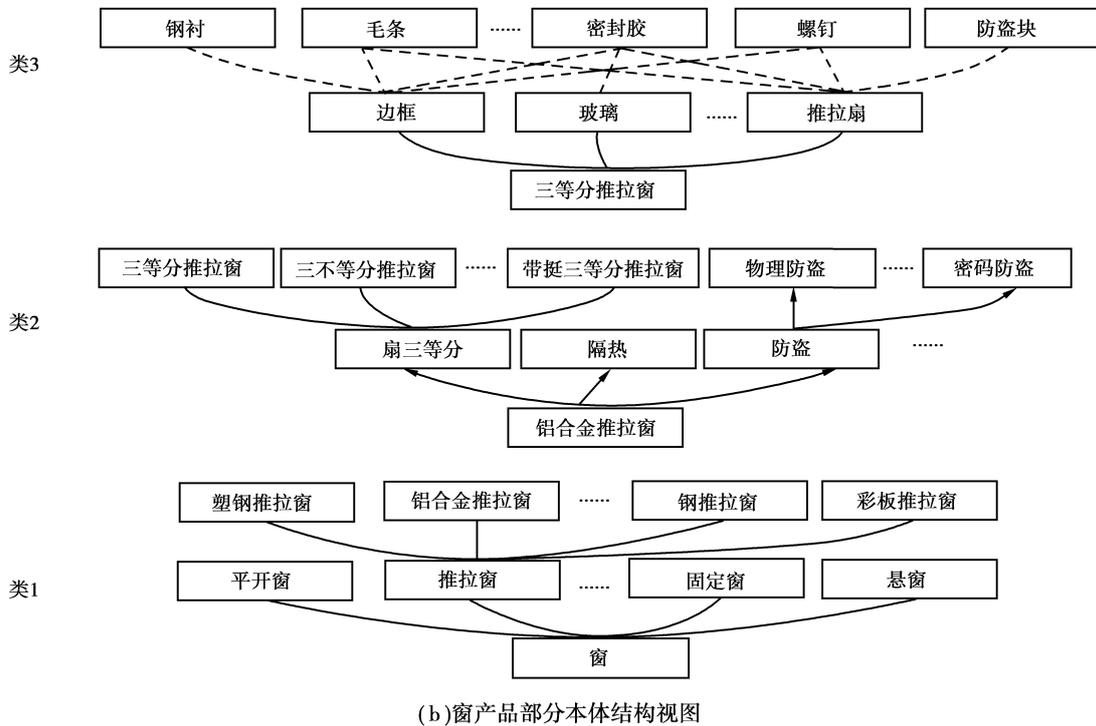
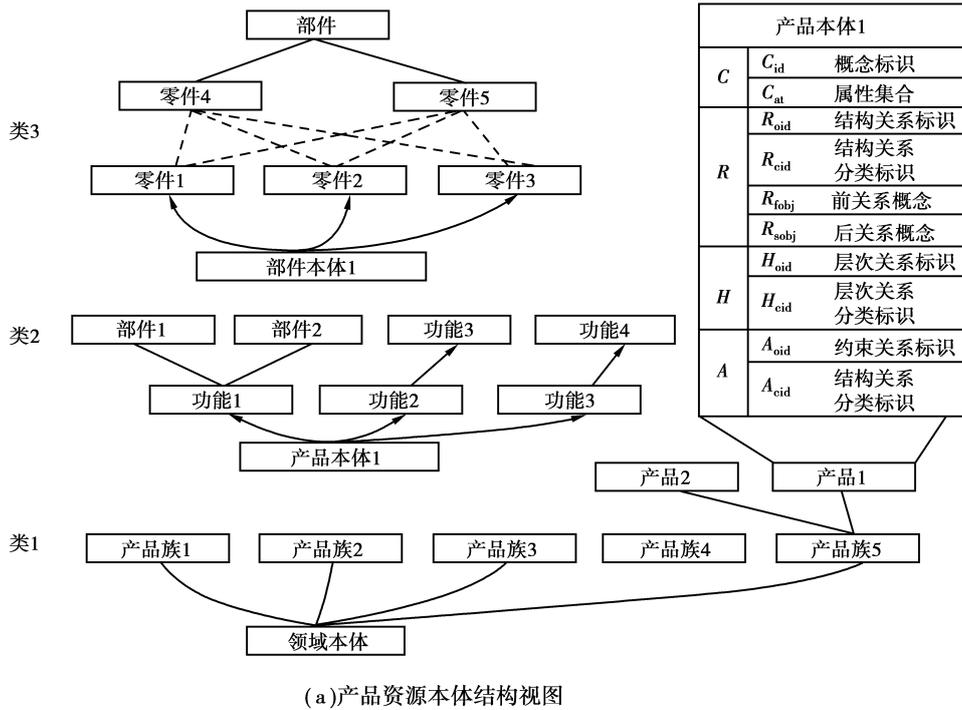


图 3 产品资源本体视图及实例

3 本体筛检规则

筛检规则规范了设计人员进行本体筛检时所用的手段和方法,是实施本体筛检的核心。针对不同的筛检层次和筛检对象,设计了模式匹配、实例匹配与人工决策相结合、实例推理自动匹配等筛检规则。

3.1 模式匹配规则

模式信息包括名称、描述等等,它不包括实例数据,是对产品领域性的描述。根据模式匹配规则进行本体筛检主要考虑的是名称的形似性或者描述的相似性等。

领域筛检是针对整个领域最大的本体也就是产品族层进行筛检,不需要很深的专业知识,目的是确

定产品开发的领域,因此可以根据模式匹配规则进行筛检。以下为筛选的算法:

Step1,选取目标概念 C ,待筛检的概念 C_T 。

Step2,取概念 C 的下层概念 C_1 ,如果 C_1 与 C_T 相关,则保留 C_T 及其所有下层概念,完毕。

Step3,取 C_1 的下层概念 C_2 ,如果 C_2 与 C_T 相关,则保留 C_T 及其所有下层概念域本体内完毕,判断 C_2 是否为最下层概念,如果是则算法完毕,如果不是则转 Step3。

这种筛检方法自动化程度比较高,可用计算机自动实现,因为仅限于产品族层,所以并不会删掉很多概念。

3.2 实例匹配与人工决策相结合规则

项目负责人获得领域资源本体后分析市场需求,确定产品功能,并形成产品功能树,这部分是产品设计中最重要的一部分,决定了产品的创新性和竞争力,需要对产品及本体视图有很透彻的理解。因此采用实例匹配与人工决策相结合的方式,在产品初始需求基础上,根据功能约束,利用相似度等手段进行功能原型的实例检索,完成实例匹配过程,如有必要,再对检索出的功能本体进行修改,最终形成目标产品的功能本体,传递给下一设计层次。

3.3 实例推理自动匹配规则

实例推理自动匹配是通过相似度的计算快速获得与输入条件匹配或近似的产品实例模型,对应结构与功能,分别有以下规则:1)结构筛检时,选定一个与目标概念相关的概念,此概念所有的上层概念都认为与目标本体相关,而上层概念的所有其他分支概念都被筛检掉;2)对于功能关系,如果产品需求中不需要此功能,则此功能及与之相关的所有的概念都将被筛检掉。

4 产品本体筛检在变型设计中的应用

一般的产品设计过程是产品信息从抽象到具体、逐步细化、反复迭代的过程^[14-15]。它从需求分析开始,经过功能定义、原理求解、结构设计和详细设计,最终得到满足市场需求的产品定义。应用产品本体筛检方法的变型设计则是将本体筛检贯穿于产品变型设计全过程,由本体筛检得到初始阶段产品本体,同时通过变型设计完成新属性的添加,形成阶段本体,作为下一级筛检的起点,最终得到产品设计目标本体。各个设计层次之间可以相互沟通,增加了设计过程的柔性。图4是应用产品本体筛检方法的变型设计模型。

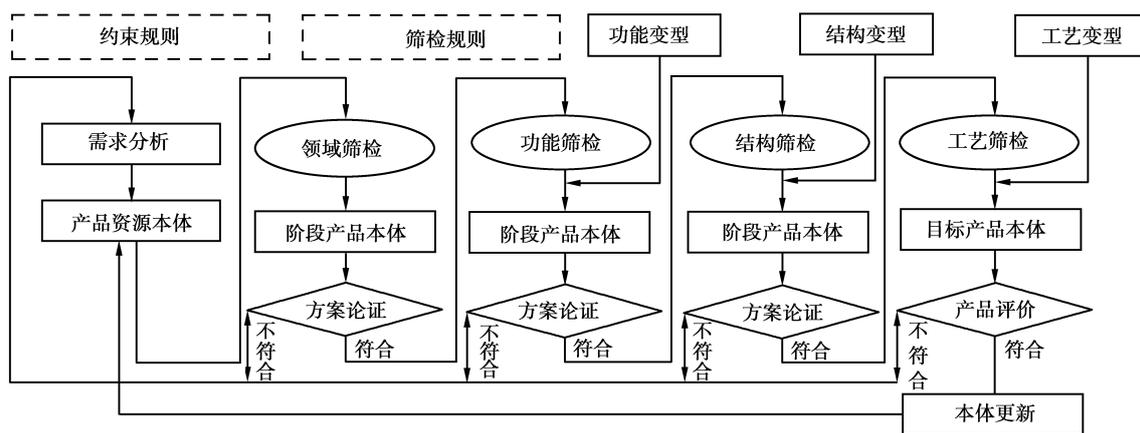


图4 应用产品本体筛检方法的变型设计框架模型

产品的变型设计是贯穿在本体筛检过程中的,以图3(a)所示的产品资源本体视图为例,应用上述产品变型设计方法,具体实施步骤包括:

1)领域筛检阶段。应用模式匹配规则,对类1进行筛检后得到新的视图如图5所示,要开发的产品族为“产品族5”,如果有产品的创新需求则可对筛检后的本体进行更新,新增需求作为本体概念的新属性带入下一设计层次的筛检。

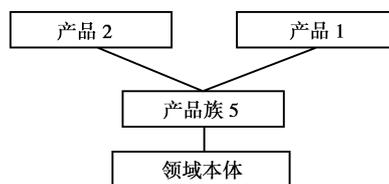


图5 领域筛检

2)功能筛检阶段。采用实例匹配与人工决策相

结合规则对产品本体进行产品层的功能筛检,应用实例推理自动匹配规则,对产品本体进行低层功能筛检,筛选符合功能需求的概念本体,在有必要时辅以人工决策,配置或更新部分功能需求,完成功能变型,更新本体视图。对图 3(a)所示视图进行筛检,如果确定开发产品为“产品 1”,则图 3(a)中类 1 就可删掉,对“产品 1”,根据需求将“功能 3”、“功能 4”替换为“功能 5”、“功能 6”,添加“功能 7”;如不需要“功能 2”,则本体中去掉类 2 中“功能 2”及其相关的概念。则结构设计人员看到的产 品本体如图 6 所示。

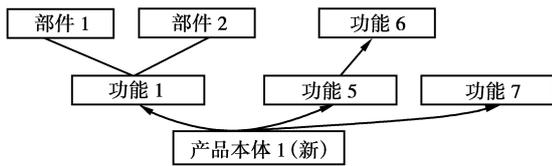


图 6 功能筛检

3)结构筛检阶段。采用实例推理自动匹配规则,对产品本体结构进行筛检。对于图 3(a)中类 3,如果选定“零件 5”,则“零件 4”及其形成的相关约束都将被筛检掉。筛检得到的产品本体,可根据实际结构需求,对其部分结构进行尺寸变型或概念配置,完成产品本体的结构变型。如对“零件 1”进行尺寸变型,同时配置了与概念“零件 3”相关的新概念“零件 6”,如图 7 所示。

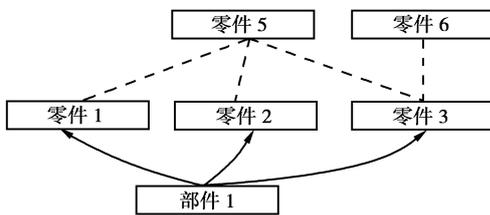


图 7 结构筛检

4)工艺筛检阶段。结构筛检完成以后,整个产品的功能结构就确定了。然后工艺人员等相关人员基于产品的功能结构需求,根据原料库存信息、原料价格信息等,配置相应的零件工艺属性,例如零件的型号、厂家等信息,完成产品的工艺变型,形成产品的 BOM 表。最终形成的产品本体如图 8 所示。

在整个实施过程中,每个阶段都设置对阶段产品本体的方案验证,如果不符合约束规则则可返回筛检过程或是上级筛检过程重新筛检。对于最终形成的产品本体,予以产品评价,如果符合设计要求或

是其中有创新设计或者有对原有本体的更新,则通过本体更新以保证产品资源本体能满足最新需求。

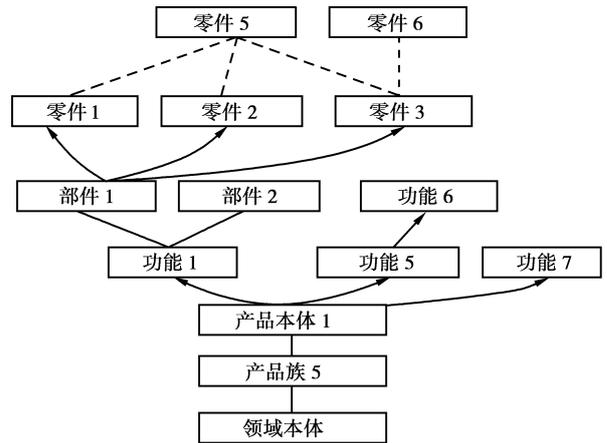


图 8 筛检完成后形成的产品本体

由上可见,该变型设计方法建立在由本体理论构建的产品资源视图之上,通过设计过程中对产品资源本体的层层筛检以最终实现产品的变型设计。

5 应用实例

建筑工程所在地域环境和业主要求的复杂性和多样性,决定了建筑门窗产品面对的是一个完全个性化的市场,同时建筑门窗产品造型变化大、艺术性强、原材料及配件品种多、发展变化快,导致建筑门窗产品品种规格多,经常需要进行产品的快速变型设计。笔者基于上述理论设计了一套基于网络的建筑门窗产品变型设计支持系统,该系统由控制支持平台、信息准备、产品设计、输出管理等四大功能部分组成。系统体系结构如图 9 所示。

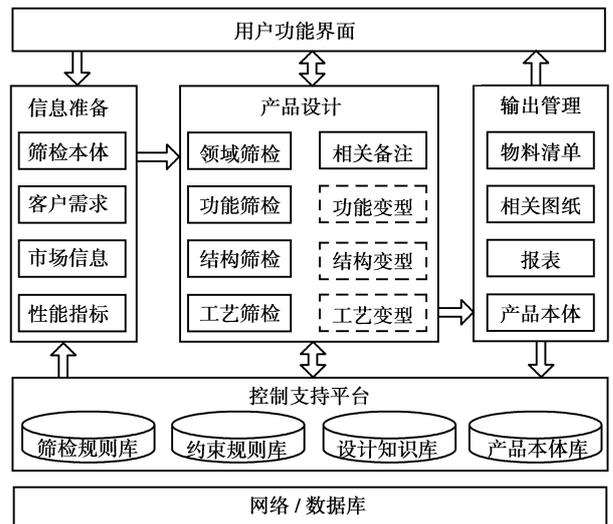


图 9 建筑门窗产品变型设计系统体系结构

采用该系统对建筑门窗产品进行辅助设计时,需要在系统数据库中存入完整的建筑门窗产品资源本体,在具体设计时从客户需求驱动开始,各阶段设计人员根据上一设计层次传来的新的本体及相关需求说明进行本体筛检和相应的变型设计。图10和11分别为建筑门窗产品领域和结构筛检工作平台。目前该系统已经在中国建筑金属结构行业的几十家企业得到推广应用,取得了较好的应用效果,同时也证明了所提出的产品本体筛检方法及产品变型设计方法的可行性和有效性。

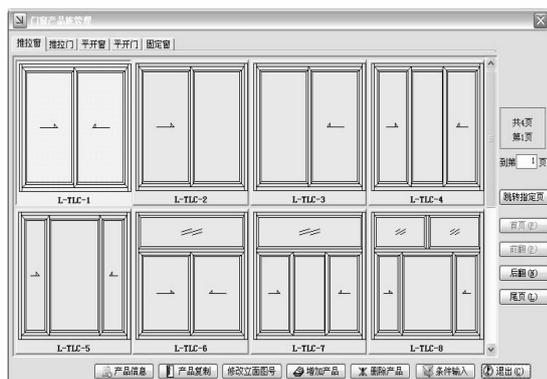


图10 建筑门窗产品领域筛检工作平台

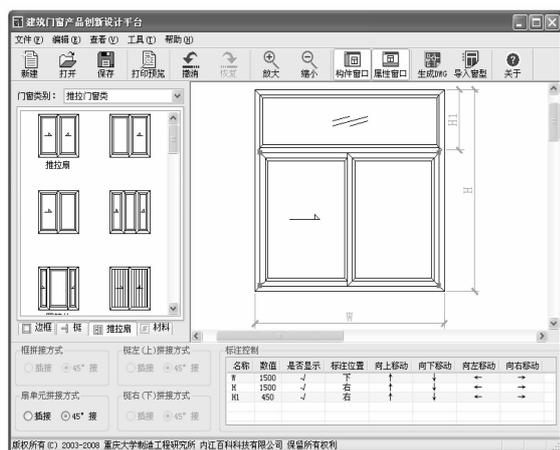


图11 建筑门窗产品结构筛检工作平台

6 结 语

随着市场竞争的加剧,用户个性化需求的增加,产品的变型设计已成为企业缩短产品设计周期,提高产品质量,降低成本的重要手段。笔者提出了一种应用于产品变型设计中的本体筛检方法,该方法以完整的产品资源本体视图为基础,将产品的功能需求、结构特征等转化为需求约束,设计人员根据需求约束对产品资源本体进行筛检,去除不符合条件的本体概念,新增需要的属性,层层递推,最终得到

符合需求的产品本体,完成产品的变型设计过程。这种人机结合的半自动方法提高了产品变型设计方案的准确性,同时增加了设计过程的柔性和效率。最后基于该方法开发了一套针对建筑门窗产品的变型设计支持系统,该系统目前已经在中国建筑金属结构行业的几十家企业得到推广应用,取得了较好的应用效果。

参考文献:

- [1] ROMANOWSKI C J, NAGI R. A data mining approach to forming generic bills of materials in support of variant design activities[J]. Journal of Computing and Information Science in Engineering, 2004, 4(4):316-328.
- [2] FITCH P, COOPER J S. Life-cycle modeling for adaptive and variant design, part 1: methodology[J]. Research in Engineering Design, 2005, 15(4):216-228.
- [3] 徐新胜, 方水良, 顾新建. 基于设计参数估计的产品变型设计[J]. 计算机集成制造系统, 2007, 13(2): 217-223.
XU XIN-SHENG, FANG SHUI-LIANG, GU XIN-JIAN. Product variant design based on design parameter estimation [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2007, 13(2):217-223.
- [4] 宋瀛海, 潘晓弘, 王正肖. 基于双向驱动机制的产品变型设计研究及实现[J]. 机床与液压, 2007, 35(4): 1-5.
SONG YIN-HAI, PAN XIAO-HONG, WANG ZHENG-XIAO. Research & realization on the variant design of product based on bidirectional principle[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2007, 35(4):1-5.
- [5] CHEN C Y, CHEN L C, LIN L. Methods for processing and prioritizing customer demands in variant product design [J]. IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers), 2004, 36(3):203-219.
- [6] PAVLIC D, PAVKOVIC N, STORGA M. Variant design based on product platform[C]// Proceedings of International Design Conference-Design, May 14-17, 2002, Dubrovnik, Croatia. Dubrovnik, Croatia: [s. n.], 2002: 397-402.
- [7] 王生发, 顾新建, 郭剑锋, 等. 面向实例推理的产品设计本体建模研究及应用[J]. 机械工程学报, 2007, 43(3): 112-117.
QANG SHENG-FA, GU XIN-JIAN, GUO JIAN-FENG, et al. Research and application of ontology modeling for product design based on case reasoning[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2007, 43(3): 112-117.

(下转第71页)

- 状态的远程监测[J]. 计算机集成制造系统, 2003, 9(9):771-775.
- HANG YING-YING, XI JUN-TONG, YAN JUN-QI. Remote monitoring & diagnosis of breaking-down fault for FDM rapid prototyping Machine [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2003, 9(9): 771-775.
- [21] 刘飞, 鄢萍, 任海军, 等. 基于机床功率信息自动采集机械加工任务进度状态的方法: 中国, 200710078406. 1[P]. 2007-04-20.
- [22] 刘飞, 鄢萍, 贺德强, 等. 网络化制造系统中的多功能交互式信息终端: 中国, 02113585. 1[P]. 2002-04-06.
- [23] 鄢萍, 陈国荣, 易润中, 等. 一种基于复杂网络的制造系统生产进度的提取方法: 中国, 200910103062. 4 [P]. 2009-01-15.
- [24] 杨涛, 黄树红, 高伟, 等. 网络化汽轮机组远程监测及故障诊断系统的研究[J]. 动力工程, 2004, 24(6): 840-844.
- YANG TAO, HUANG SHU-HONG, GAO WEI, et al. Long-distance networked steam turbine group monitoring and fault diagnose systematic research[J]. Power Engineering, 2004, 24(6): 840-844.

(编辑 张 苹)

(上接第 61 页)

- [8] 肖新华, 史明华, 杨小凤, 等. 基于模块化产品实例的变型设计技术研究[J]. 中国机械工程, 2007, 18(7): 803-807.
- XIAO XIN-HUA, SHI MING-HUA, YANG XIAO-FENG, et al. Research on variant design based on modular product case [J]. China Mechanical Engineering, 2007, 18(7): 803-807.
- [9] 冯毅雄, 程锦, 谭建荣, 等. 面向大批量定制的配置产品变型设计[J]. 浙江大学学报: 工学版, 2007, 41(2): 315-318.
- FENG YI-XIONG, CHENG JIN, TAN JIAN-RONG, et al. Configuration product variant design for mass customization [J]. Journal of Zhejiang University: Engineering Science, 2007, 41(2): 315-318.
- [10] LAU A, TSUI E, LEE W B. An ontology-based similarity measurement for problem-based case reasoning [J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36(3): 6574-6579.
- [11] CHANG X, SAHIN A, TERPENNY J. An ontology-based support for product conceptual design [J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2008, 24(6): 755-762.
- [12] BRANDT S C, MORBACH J, MIATIDIS M, et al. An ontology-based approach to knowledge management in design processes [J]. Computers & Chemical Engineering, 2008, 32(1/2): 320-342.
- [13] 阎春平, 范辉先, 刘飞. 基于表达式的产品资源本体建模技术[J]. 计算机集成制造系统, 2008, 14(11): 2113-2119.
- YAN CHUN-PING, FAN HUI-XIAN, LIU FEI. Products resources ontology modeling technology based on the expression [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2008, 14(11): 2113-2119.
- [14] 鲁玉军, 余军合, 祁国宁, 等. 基于事物特性表的产品变型设计[J]. 计算机集成制造系统, 2003, 9(10): 840-853.
- LU YU-JUN, YU JUN-HE, QI GUO-NING, et al. Product variant design based on tabular layouts of article characteristics [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2003, 9(10): 840-853.
- [15] BESHARATI B, AZARM S, KANNAN P K. A decision support system for product design selection: a generalized purchase modeling approach[J]. Decision Support Systems, 2006, 42(1): 333-350.

(编辑 张 苹)