

基于 DSM 的融合服务类产品 结构建模方法研究

肖艳秋, 李启, 李浩

(郑州轻工业学院 机电工程学院, 河南 郑州 450002)

摘要:针对产品结构中如何合理表达物理产品与服务模块之间的关系,根据产品中融合服务的定义,基于柔性产品平台将产品结构中元素划分为基本元素和柔性元素(其中柔性元素又包含选择性元素、选配性元素和个性化元素3部分),提出模糊一致判断矩阵的方法,得到各元素间依赖关系的设计结构矩阵 DSM,构建了融合服务类产品结构模型.以纯电动汽车结构模型构建为例,验证了此方法的合理性与实用性.

关键词:融合服务;产品结构建模;模块化设计;柔性产品平台;设计结构矩阵

中图分类号:TP241 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.2095-476X.2015.5/6.013

Research on fusion service of product structure modeling method based on DSM

XIAO Yan-qiu, LI Qi, LI Hao

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: In order to solve the problem of expressing the relationship between the physical product and service module in the service oriented manufacturing product structure, according to the definition of integration service of mechanical products, based on the flexible product platform, the elements in the product structure were divided into basic elements and flexible elements, the flexible element also contains 3 parts, including the elements of the elements, the optional elements and the individual elements, the fuzzy consistent judgment matrix method was put forward. Got design structure matrix DSM of the dependencies between each element. The structure model of integration service product was built. The method was proved scientific and practical in an instance of product structure module of electric vehicle.

Key words: fusion service; product structure modeling; modular design; flexible product platform; design structure matrix

0 引言

随着顾客需求从单纯物理产品转型为物理产品与服务的集成,以及制造业和服务业细粒度的结

合,由产品、服务及其支持网络紧密结合形成的产品服务系统 PSS (product service systems) 越来越受到关注. M. Goedkoop 等^[1]首先把 PSS 定义为共同满足用户的需求,是产品和服务市场化的组合; L. F.

收稿日期:2014-12-31

基金项目:国家自然科学基金项目(51205372)

作者简介:肖艳秋(1980—),男,河南省开封市人,郑州轻工业学院副教授,博士,主要研究方向为数字化设计与制造.

Almeida 等^[2]把 PSS 分为了面向产品的 PSS、面向使用的 PSS 和面向结果的 PSS 3 种类型;董明等^[3]针对 PSS 中整体产品的快速准确配置,提出了一种基于本体的模块化建模和配置方式.上述研究对 PSS 总体框架进行了阐述和解析,对于模块化产品服务系统建模涉及得不多.

在产品族结构建模方面,H. M. H. Hegge 等^[4]提出了应用 GBOM (general bill of material) 来构建产品族结构模型以解决 MBOM (manufacture BOM) 中正交假设不成立的问题;J. W. M. Bertrand 等^[5]认为,GBOM 在产品定制过程中对 BOM 的有效性检查功能较弱,因此提出了分层虚拟 BOM (hierarchical pseudoitem BOM, HPOM) 的模型;樊蓓蓓等^[6]把复杂网络理论应用到产品族结构建模中,构建了产品族结构的零部件网络模型;李妮娅等^[7]结合基于结构的方法和基于规则的方法,提出了广义产品结构的配置模型.以上诸方法均准确表达了产品零部件间约束关联关系和模型系统,实现了面向产品全生命周期的管理.

随着产品服务在产品设计中所占比重的增大,亟需构建融合服务的产品结构模型的模块化设计方法.设计结构矩阵 DSM (design structure matrix) 是一种基于信息过程的建模方法,能够很好地表达产品结构建模过程信息依赖关系.徐路宁等^[8]利用 DSM 的初始化和重构方法解决多领域协同设计中的耦合问题;陈庭贵等^[9]运用 DSM 中的划分、联合运算将任务划分成不同的层次.

本文拟基于以上 DSM 研究的优点来实现对融合服务类产品模型的构建,并通过对产品结构模型构建分析实现客户对产品制造过程的干预和反馈,从而达到快速配置的目的.

1 产品与服务的融合

1.1 服务的内涵

广义的服务贯穿于产品的全生命周期中,本文主要涉及的是生产制造和使用过程中的服务,即把生产制造过程中的服务作为一种产品来考虑,采用模块化技术实现快速配置和个性化需求;在产品设计的过程中对客户的需求进行共性分析,然后将它们模块化,通过对不同服务模块的组合促进模块标准化并降低生产成本,同时满足客户的个性化需求,在此前提下,保证产品设计、制造和服务的总体效率最优.

随着物理产品的制造并推向市场,服务就应运

而生,服务(S)的产生与客户需求(D)、时间(T)和产品功能 P_i 等因素的关系如下:

$$S = f(D, T, P_i, \dots) \quad (1)$$

服务的对象可以是整个产品本身,也可以是产品中的 1 个或多个部件、零件.顾客需求在产品的各个阶段对服务的要求也是不断变化的,在使用阶段所注重的是产品的功能服务,在维护阶段所需求的是产品的快速维修服务.这里的时间体现的是企业、顾客及产品功能随着时间的推移所产生的服务内容变化.产品功能在全生命周期的各个阶段也有着不一样的体现,相应服务也是不断变更的.

1.2 基于柔性产品平台的产品与服务的融合

柔性产品平台可表示为一个由公共元素和柔性元素组成的系统,在不改变公共元素的情况下,通过添加特有元素,动态调节柔性元素的值,得到一系列产品变型和产品族^[10].R. Wise 等^[11]把服务划分为 4 部分:与物理产品紧密结合来发挥特定功能的嵌入式服务;伴随制造产品提供的、更方便顾客购买产品的伴随性服务;为满足特定顾客需求而对产品和服务打包成整体的一体化解决方案;除去产品基本功能以外的附加功能的产品功能拓展服务.

根据上述柔性产品平台的定义和服务的分类将产品结构包含的元素划分为基本元素和柔性元素.

基本元素:某个产品族中所共享的元素的集合,除了物理产品部件零件外还包括与其耦合度高的相关服务,这些服务不是客户所要求的,而是制造企业或者服务商根据产品的功能或者性能是否实现能完美来进行匹配的元素,可保障产品的基本功能.例如汽车质保、汽车日常养护等.

柔性元素由以下 3 部分组成.

1) 选择性元素:指为适应产品族内每个产品的不同变型而需要的元素.这些元素显然也是必须要匹配物理或服务功能的,无此元素时客户只能选择其类型,不能选择其有无,而在加入这种服务后可以为客户提供更多此产品的信息及更好的体验.这些元素的尺寸或大小是客户可以进行选择的.

2) 选配性元素:指可由用户自行选择的零部件或服务.选配性元素一般可分为必选可选择元素和选装辅助元素两类:必选可选择元素指的是其有无直接影响产品的功能,但实现相同功能可以在多种结构中进行选择的元素,用户可以在多种选项中进行选配;

选装辅助元素指的是该结构的有无对产品的基本功能没有影响,但如果有此结构将会提高产品的功能.比如汽车中的产品功能拓展服务,包括GPS定位服务、汽车导航服务等.对选配性元素的种类进行识别在产品配置设计中起着关键性的作用.

3) 个性化元素:指的是可以满足客户某些个性

化需要的元素.个性化元素体现的是在产品基本功能存在的情况下客户对产品式样、功能、外观、品质、包装、设计的改变.例如,客户可以根据自己的喜好对汽车的颜色进行干预,形成自己特有的图案.

综上所述,可以得到产品服务融合模型的基本框架,见图1.

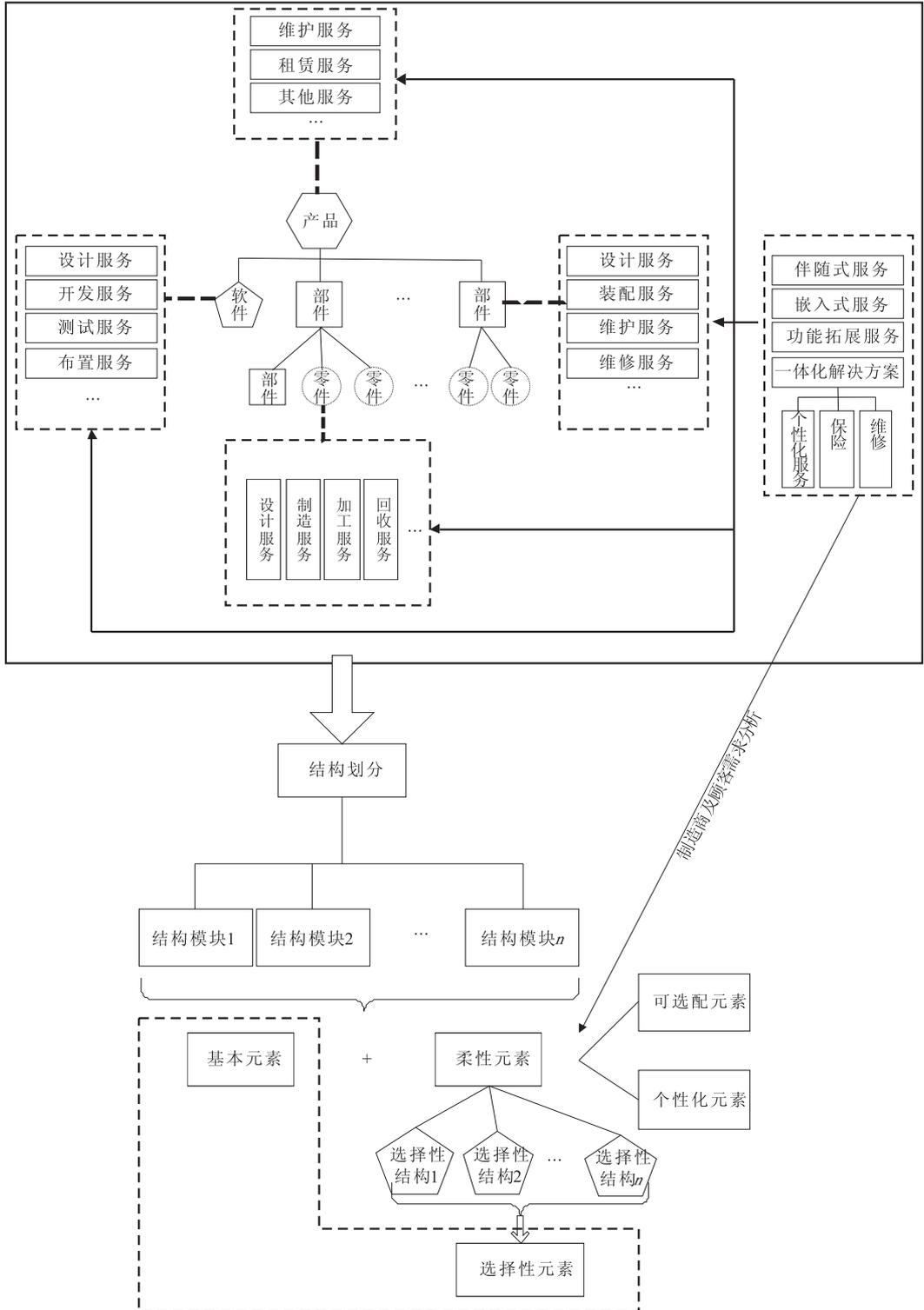


图1 产品服务融合模型的基本框架

2 基于 DSM 的产品结构模型构建方法

2.1 DSM

DSM 能够很好地表达复杂过程中变量间信息的输出与输入之关系,同时在表达元素间信息依赖关系时,也对它们之间的强弱关系进行量化表示.本文主要运用模糊一致判断矩阵的方法来构建 DSM,然后再进行矩阵分解,以实现多层次间元素之关系的表达,具体构建过程如下.

步骤 1 构建模糊设计结构矩阵,用 P 来表示.图 2 所示的是包含 4 个元素的模糊设计结构矩阵,对角元素表示的是模块本身,非对角元素表示的是相应行列元素间的信息依赖关系,“*”表示待定的量化数值.

	P_1	P_2	P_3	P_4
P_1	P_1	*	*	
P_2	*	P_2	*	
P_3		*	P_3	
P_4	*			P_4

图 2 模糊设计结构矩阵 P 示例

步骤 2 提取出行(列)中某一元素,分析其余行(列)元素对提取出元素的敏感性(可变性)两两比较后的权重大小,形成单个元素的可变性、敏感性模糊一致判断矩阵,最后根据公式②③进行权重计算,形成总的某元素可变性、敏感性模糊一致判断矩阵 M, N .

步骤 3 根据公式④形成设计结构矩阵 Q . 矩阵 Q 是矩阵 P 经过权重计算后量化的结果.

公式②③④如下:

$$\omega_i^* = \sqrt{\prod_{j=1}^n c_{ij}}, i, j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2)$$

$$\omega_i = \frac{\omega_i^*}{\sum_{i=1}^n \omega_i^*}, i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3)$$

$$Q = \sqrt{M \times N} \quad (4)$$

2.2 基于 DSM 的产品结构模型

某零部件的建模过程,可以理解为不断生成 1 个或多个实体与原来的实体做布尔运算,从而得到新的模型对象的过程,在对产品进行结构分析时,要对其力学性能结构约束间关系等进行描述.

2.2.1 元素间关系 融合服务类产品建模与传统产品结构建模不同的是:在对物理产品结构建模的同时,也要对服务与物理产品间关系进行阐述,形成有机的整体,而后综合考虑.在产品结构视图中,结构元素的服务关联性体现在装配实体模型中不同模块实体间所具有的内在联系,通过某模块实体的一部分属性可以完整或部分地推导出另一个实体的对应属性,具有关联关系的模块实体互为关联单元.

在结构模型构建的过程中,首先是进行静态模型的构建,利用模糊一致判断矩阵实现对产品结构模型描述.在建模过程中将属性值、尺寸、样式映射到相应的设计参数,通过构建基于参数的 DSM,将每个结构的设计参数引入到关联的量化示意图中,构造设计参数关联矩阵,以确定产品设计中的主要参数.通过对产品进行功能分解,完成从功能向结构的映射,结合功能相关性分析方法,对划分出的产品功能结构进行聚类分析,形成功能模块,最后完成从功能模块到产品结构模块的映射.

2.2.2 融合服务模型构建流程 实现对产品服务的融合及模块划分后,接下来就要解决服务在建模过程中的流转问题.首先将整个过程分为 4 个层次:产品结构层、模块划分层、模糊矩阵元素层和矩阵结构层;然后根据服务划分的粒度大小和配置关系的强弱实现物理模块与服务模块之间关系的合理描述;最后把融合服务后的各个模块映射到模糊矩阵 P 中,见图 3.

结构模型的 DSM 构建过程如图 4 所示,模糊设计结构矩阵 P 中行列元素对应的是划分后的物理或者服务模块,利用模糊一致判断矩阵的方法对各个模块间的关系进行描述,矩阵的阶数与模块划分的粒度有关.具体到某个元素 C ,可以表达的是汽车发动机中某个零件或者部件,也可以是某个功能性服务模块.在准确地对元素 C 进行定义的时候就会对元素 C 实施 DSM 分解,来准确地表达 C 内部各元素间关系,同时其服务模块被认为是绑定元素 C 的,在元素 C 分解矩阵中的量化值是 1.在分解矩阵中体现的是上层元素与其相关的下层元素间的信息传输关系.这样也能够保证在后续演进创新过程中可以实现某个模块的更改及添加,从而实现对整个结构模型影响的极小化.

3 实例分析

本文以纯电动汽车的设计和配置为例构建一

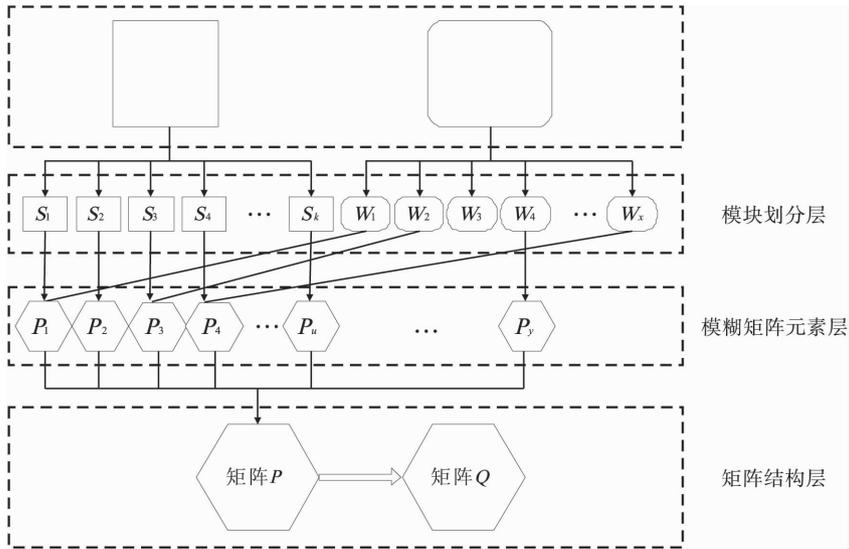


图3 服务信息流转过过程示意图

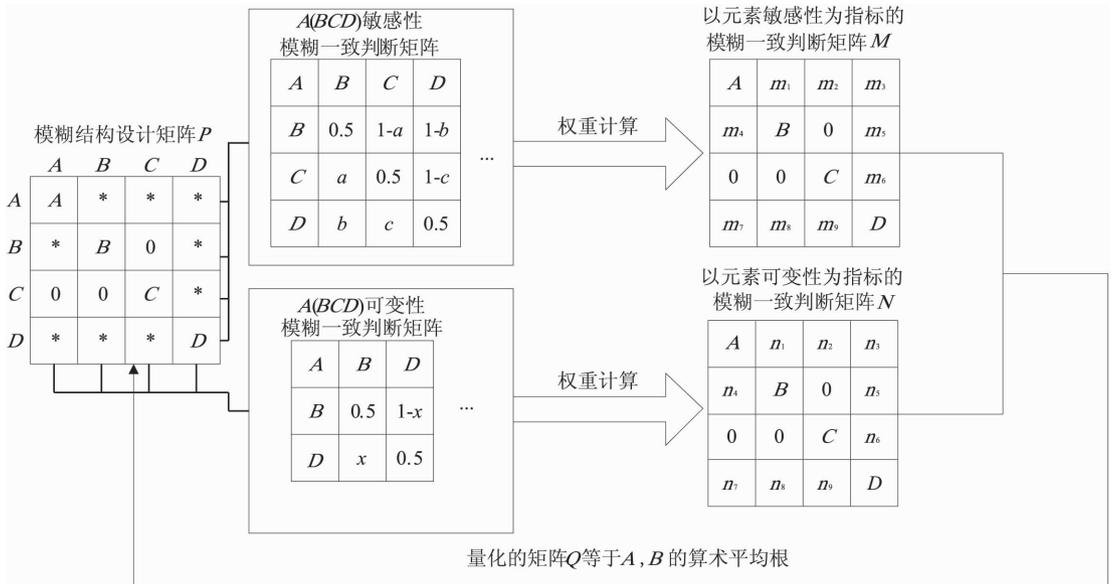


图4 结构模型的 DSM 构建过程示意图

个简单产品结构模型. 电动汽车的基本结构系统分为 3 个子系统: A 主能源子系统、 B 电力驱动子系统、 C 辅助控制子系统. A 由 A_1 电源、 A_2 能量管理系统、 A_3 能量单元构成; B 由 B_1 电控系统、 B_2 功率转换器、 B_3 电机等组成; C 由电动汽车提供 C_1 辅助电源、 C_2 动力转向单元、 C_3 温度控制单元等构成.

纯电动汽车 DSM 构造过程如图 5 所示, 在矩阵分解的过程中, 可以实现对各个分解矩阵中物理和服务模块的添加, 从而实现对整个矩阵的改变, 且对整个矩阵的各个关系的描述不会造成冗余分析, 避免了分块矩阵间的耦合影响. 在对各个模块进行整合的过程中, 能快速实现模块的重构, 从而实现

对产品快速配置设计和创新变型设计.

4 结语

本文根据融合服务的涵义, 基于柔性产品平台将产品结构中的元素划分为基本元素和柔性元素, 其中柔性元素又包含 3 部分: 选择性元素、选配性元素和个性化元素. 基本元素是对产品基本性能的体现, 柔性元素描述的是以客户需求为中心的产品族变型设计和创新演化. 利用模糊判断矩阵和矩阵分解的方法对划分后的元素和模块间的信息流动和依赖关系进行了分析和研究, 利用权重计算实现对各个元素信息的量化表达. 通过

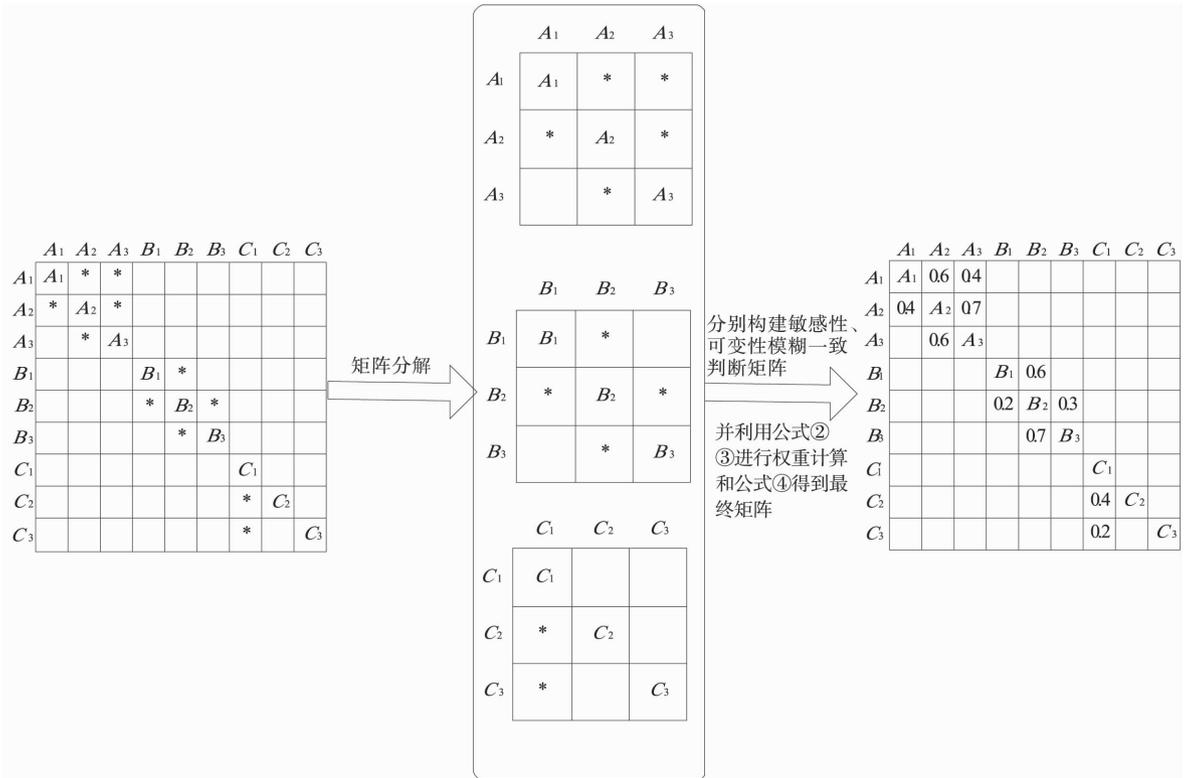


图5 纯电动汽车 DSM 构造过程

对产品结构模型构建分析可以实现客户对产品的设计制造过程的干预和反馈,从而达到快速配置的目的.该方法对产品族模块化技术发展具有重大的意义.

参考文献:

[1] Goedkoop M, Vanhalen C, Teriele H, et al. Product Service Systems, Ecological and Economic Basics [R]. The Netherlands: Dutch Ministries of Environment (VROM) and Economic Affairs (EZ), 1999.

[2] Almeid L F, Miguel P A C, Silva M T A. Literature review of servitization: a preliminary analysis [J]. Journal of Manufacturing Technology Management, 2009, 20 (5):547.

[3] 董明, 苏立悦. 大规模定制下基于本体的产品服务系统配置[J]. 计算机集成制造系统, 2011, 17(3):653.

[4] Hegge H M H, Wortmann J C. Generic bill-of-material: a new product model[J]. International Journal of Production Economic, 1991, 23(1/3):117.

[5] Bertrand J W M, Zuijderwijk M, Hegge H M H. Using hierarchical pseudo bills of material for customer order acceptance and optimal material replenishment in assemble to order manufacturing of non-modular products [J]. International Journal of Production Economics, 2000, 66 (2):171.

[6] 樊蓓蓓, 祁国宁. 基于复杂网络的产品族结构建模与模块分析方法[J]. 机械工程学报, 2007, 43(3):187.

[7] 李妮妮, 张健, 刘大有. 基于广义产品结构的产品配置[J]. 计算机集成制造系统, 2010, 16(1):17.

[8] 徐路宁, 张和明, 张永康. 基于设计结构矩阵的多领域协同设计[J]. 中国机械工程, 2005, 16(12):1035.

[9] 陈庭贵, 琚春华. 基于设计结构矩阵的任务规划新方法[J]. 计算机集成制造系统, 2011, 17(7):1366.

[10] 史康云, 江屏, 闫会强, 等. 基于柔性产品平台的产品族开发[J]. 计算机集成制造系统, 2009, 15 (10):1880.

[11] Wise R, Baumgartner P. Go down stream: the new profit imperative in manufacturing [J]. Harvard Business Review, 1999, 77(5):133.