

文章编号:1000-582X(2004)07-0097-05

一种面向大规模定制的产品族分类方法*

兰林春, 但斌, 冯韬, 张旭梅

(重庆大学经济与工商管理学院, 重庆 400030)

摘要:产品族是实现大规模定制生产模式的重要支撑技术。产品族中不同产品在功能、物理以及技术特征上的相似性是产品族的重要特征。基于产品在功能域和物理域内的表达和映射关系,提出了一种通过比较产品在功能域的功能需求(FR)以及物理域的设计参数(DP)的相似程度来划分产品族的方法,阐述了应用该方法划分产品族的步骤。最后以一个案例说明了该产品族分类方法的应用。

关键词:大规模定制;产品族;相似性;层次分析法

中图分类号:F273.2

文献标识码:A

随着社会物质产品日益丰富以及买方市场出现,客户的需求呈现出呈多样化和个性化的趋势。大规模定制(Mass Customization, MC)力图以接近大批量生产的效率和成本提供满足客户个性需求的产品和服务,作为一种新的生产模式越来越受到企业界和学术界的重视^[1-2]。

面向大规模定制的产品开发是实现大规模定制的一项关键技术,其核心是以较小的技术多样性实现较大的功能多样性。面向大规模定制的产品族管理则是达到这一目的的有效手段。面向大规模定制的产品族将功能相同或相似、物理特征相似的产品进行产品族的归并分类,在产品的整个生命周期实行产品族管理。以产品族的方式对产品进行管理,可简化产品设计,缩短产品制造时间,降低产品设计、制造和管理的成本,是支持大规模定制生产模式的有效方法^[3-6]。为有效地对企业已有的产品进行产品族划分,实现产品的产品族管理,并在此基础上实现产品开发过程中的产品族规划。将研究一种基于功能需求和设计参数相似性的产品族分类方法。

1 基于功能需求和设计参数的产品族分类方法

1.1 面向大规模定制的产品族

产品族是共享通用技术并面向相关市场应用的一组产品^[7]。通用技术、相关市场应用和多样化是产品族的特征。通用技术体现了产品本身所使用的技术和产品在设计、制造过程使用技术的相似性;相关的市场应用体现了产品功能及其对应的产品结构的相似性;多样性体现了同一产品族中不同产品之间在功能、结构等方面的差异性。

面向大规模定制生产方式要利用大规模生产的效率和效益,关键是增加同一产品族中产品的相似性,即增加产品零部件在物理特征和技术特征上的相似性,使产品族中的不同产品具有大量相同/相似的零部件、构件、子系统。因此,在产品的设计时采用面向大规模定制的设计方法(DFMC),在产品的设计中融入模块化实践思想^[8],实现零件几何特征、原材料等的通用化,使用标准零部件,增加零部件的可重用性,减少相似零部件的重复度;使需要定制的零部件在产品中出现的几率下降到最低限度。并在制造过程中尽量使用相同的

* 收稿日期:2004-03-05

基金项目:国家自然科学基金资助项目(70271043)

作者简介:兰林春(1973-),男,四川成都人,重庆大学机械工程学院硕士研究生,主要从事大规模定制、企业信息工程研究。

产品加工工艺技术、加工工具和设备。

1.2 产品从功能域到物理域的映射

产品可以用功能域中的一组功能需求 (functional requirement, FR) 和物理域中的一组设计参数 (design parameter, DP) 来描述^[9]。功能需求 (FR) 表达了客户对产品的功能期望, 反映了产品满足特定市场需求的特性; 设计参数 (DP) 表达了产品的物理特征。

依据美国麻省理工学院 (MIT) N P Suh 教授著名的公理化设计 (Axiomatic Design) 理论, 一个理想设计的 DP 的数量应该与 FR 的数量相等, 并且始终保持 FR 间的相互独立^[3]。产品的 FR 和 DP 之间的映射关系可以用式(1)所示的设计方程表示

$$\{FR\} = [A]\{DP\} \quad (1)$$

其中, $[A]$ 为设计矩阵, 它表达了产品族不同功能部分间的接口关系。根据设计公理, $[A]$ 为对角矩阵的设计 (称为非耦设计, uncoupled design) 或 $[A]$ 为下三角矩阵的设计 (称为解耦设计, decoupled design) 是可接受的设计^[3]。

1.3 基于功能需求的产品功能相似性评价

面向大规模定制产品族中的产品是建立在相关的市场定位上的系列个性化产品, 一个产品族中的产品具有相同的基本 FR 和不同的衍生 FR。某种产品的 FR 是对某个特定市场需求的满足, 产品族产品的 FR 集则是对某些具有相似性的市场需求的满足。产品 FR 是对市场需求的直接反映, 它们的相似程度的大小是决定这些产品是否归属于同一产品族的前提条件。

在比较产品 FR 的相似性时, 首先选择一个具有代表性的产品 (可以是综合众多产品特征的虚拟产品) 作为基产品, 用层次分析法评价并计算基产品各 FR 的权重 V_{FRi} ; 以基产品 FR 为参照, 用模糊评价法评价出待选产品对应 FR 的相似程度值 S_{FRi} , 用式(2) 计算出待选产品 FR 的相似程度值 T_{FR}

$$T_{FR} = \sum_{i=1}^n V_{FRi} \times S_{FRi} \quad (2)$$

式中, n 代表产品所具有的功能数量; $0 \leq T_{FR} \leq 1$, T_{FR} 的值越大, 表示该产品与基产品功能的相似程度越高, 说明它们的市场定位的相关性越大。

进行产品功能相似程度比较时, 由于待比较的产品所具有的功能数量是不完全相等的。选定基产品后,

设定基产品的功能相似程度值为 1 (即 $T_{FR} = 1$), 待比较产品的功能与基产品的功能完全相同取值为 1, 完全不同取值为 0, 相似程度介于两者之间则按相似程度的大小取介于 0 和 1 之间的数值; 如果待比较产品不具有与基产品相对应的功能则其相似程度值取为 0。在下文比较产品 DP 的相似程度值时, 按上述原则进行取值。

1.4 基于设计参数的产品物理相似性评价

功能需求 (FR) 是设计参数 (DP) 的外在表现, DP 则是 FR 的具体的物理实现。一个具体产品的 FR 在其物理实现上存在多种可行的解决方案, 即一个产品的 FR 对应着多种可行的 DP 解, 因此产品的 FR 和 DP 是一对多的关系。FR 的相同 / 相似只是从市场定位的角度对产品进行了初步地划分, 要准确地对产品进行划分还必须从产品的 DP 入手作进一步地分析。

确定的产品设计的 FR 与 DP 是一一对应的, FR 的权重在一定的程度上反映了 DP 在整个产品的 DP 中所占的比重, 但是 DP 的权重还要受其它制约因素 (如产品的可加工性、产品成本等) 的影响, 所以在进行基产品 DP 权重 V_{DPi} 的确定时, 要综合考查这些因素对 V_{DPi} 的影响, 重新进行数值计算。

以基产品的 DP 为参照, 应用模糊评价法评价出待选产品对应 DP 的相似程度值 S_{DPi} , 用式(3) 计算出该待选产品 DP 的相似程度值 T_{DP}

$$T_{DP} = \sum_{i=1}^n V_{DPi} \times S_{DPi} \quad (3)$$

式中, n 代表产品所具有的 DP 的数量; $0 \leq T_{DP} \leq 1$, T_{DP} 的值越大, 表示待选产品与基产品的物理相似程度越高。

1.5 产品族划分的步骤

基于功能相似性和物理相似性划分产品族的具体步骤如下:

1) 将产品的 FR 与 DP 依次逐层分解, 展开至最小粒度划分, 建立它们间的对应关系;

2) 基于 FR 的产品功能相似性评价。选定基产品, 确定对基产品的 FR 权重产生影响的因素; 用层次分析法计算出基产品各 FR 的权重 V_{FRi} , 用模糊评价法计算出待选产品各 FR 的相似程度值 S_{FRi} , 用式(2) 计算出 FR 相似程度值 T_{FR} ;

3) 得到产品 FR 相似程度值 T_{FR} 后,以 T_{FR} 为依据对待选产品进行产品族的初步划分。首先,确定产品族的判断阈值 $\mu(0 < \mu < 1, \mu$ 值的确定要以生产企业具体的产品设计、制造和管理条件为依据),以相似程度值 T_{FR} 在区间 $[1 - \mu, 1]$ 内的产品为同一产品族的待定产品;对不满足判断条件的待选产品则按步骤 2) 的方法重新计算产品 FR 的相似程度值 T_{FR} ,并按判断条件进行另一产品族的划分;重复进行判断直至所计算出的产品 FR 的相似程度值 T_{FR} 不再满足判断条件,这样就将待选产品初步划分为若干不同的产品族;

4) 对已被初步划分为同一产品族的待选产品进行基于 DP 的产品物理相似性评价。按与步骤 2) 相似的步骤确定基产品各 DP 的权重 V_{DPi} 、待选产品 DP 的相似程度值 S_{DPi} ,用式(3)计算出 DP 的相似程度值 T_{DP} ;

5) 按与步骤 3) 相似的方法,确定阈值 $\gamma(0 < \gamma < 1, \gamma$ 值的确定条件与 μ 值相似),以相似程度值在区间 $[1 - \gamma, 1]$ 内的产品为同一产品族的产品,对不满足判断条件的待选产品则以重新选定的基产品再次进行产品族归属判断,直至所计算出的产品 DP 的相似程度值不满足判断条件。

2 案例分析

计算机主板的功能需求和设计参数的层级展开及对应关系如表 1 所示。其功能需求与设计参数是解耦 (decoupled) 设计关系,可由式(4)表示。

因主板的 FR 是相同的(见表 1),所以在建立 FR 与 DP 的对应关系后,不进行步骤 2), 3) 的初步判断过程,直接进入步骤 4)。建立判断矩阵(见表 2 ~ 5,使用分级定量法,采用 1 ~ 9 等 9 个分级数;检验计算时使用求根法),使用两级层次结构划分对 DP 的权重 V_{DPi} 进行评价,并确定其值。

得到各级 DP 的权重数据后,对具有表 6 所示 DP 主要属性(主要体现属性的差异)的 4 个待选产品 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 (以 P_2 为基产品),进行 DP 的相似程度比较,得评价结果(见表 7)。

用式(3)计算各产品 DP 的相似程度值,得:
 $T_{DP1} = 0.4407; T_{DP2} = 1; T_{DP3} = 0.8753; T_{DP4} = 0.9055$, 设定阈值为 $\gamma = 0.8500$, 则可将产品 P_2 、 P_3 、 P_4 划分

为同一个产品族的产品。

表 1 FR 与 DP 的对应关系

FR	DP
FR ₀ : 提供系统扩展的基本组件	DP ₀ : 计算机主板
FR ₁ : 提供硬件控制功能	DP ₁ : 控制模块
FR ₁₁ : 提供硬件功能控制	DP ₁₁ : 控制芯片
FR ₁₂ : 提供硬件功能设置	DP ₁₂ : 跳线设置(DIP)
FR ₁₃ : 提供控制软件	DP ₁₃ : BIOS
FR ₂ : 提供各种接口功能	DP ₂ : 接口模块
FR ₂₁ : 提供 CPU 接口	DP ₂₁ : Socket 478
FR ₂₂ : 提供内存条接口	DP ₂₂ : DDRDIMM
FR ₂₃ : 提供显卡接口	DP ₂₃ : AGP 4X
FR ₂₄ : 提供声卡,网卡接口	DP ₂₄ : PCI
FR ₂₅ : 提供基本输入/出接口	DP ₂₅ : PS/2, 软驱接口等
FR ₂₆ : 提供硬盘,光驱接口	DP ₂₆ : IDE 接口
FR ₂₇ : 提供其它通用接口	DP ₂₇ : IEEE1394, USB
FR ₂₈ : 提供电源接口	DP ₂₈ : ATX 电源插座
FR ₃ : 提供基本配件	DP ₃ : 基本配件模块
FR ₃₁ : 提供基本信息电源	DP ₃₁ : 纽扣电池
FR ₃₂ : 提供基本时钟	DP ₃₂ : 频率发生器
FR ₃₃ : 提供基本载体	DP ₃₃ : PCB 印制板

$$\begin{matrix}
 \left. \begin{matrix}
 FR_{11} \\
 FR_{12} \\
 FR_{13} \\
 FR_{21} \\
 FR_{22} \\
 FR_{23} \\
 FR_{24} \\
 FR_{25} \\
 FR_{26} \\
 FR_{27} \\
 FR_{28} \\
 FR_{31} \\
 FR_{32} \\
 FR_{33}
 \end{matrix} \right\} = \begin{bmatrix}
 x & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & x & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 x & 0 & x & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 x & x & x & x & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 x & 0 & x & 0 & x & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 x & 0 & x & 0 & 0 & x & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & x & 0 & 0 & 0 & x & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 x & 0 & x & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 x & 0 & x & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x
 \end{bmatrix} \left. \begin{matrix}
 DP_{11} \\
 DP_{12} \\
 DP_{13} \\
 DP_{21} \\
 DP_{22} \\
 DP_{23} \\
 DP_{24} \\
 DP_{25} \\
 DP_{26} \\
 DP_{27} \\
 DP_{28} \\
 DP_{31} \\
 DP_{32} \\
 DP_{33}
 \end{matrix} \right\}
 \end{matrix}$$

(4)

表2 第1层 DP 的判断矩阵

	DP ₁	DP ₂	DP ₃
DP ₁	1	3	7
DP ₂	1/3	1	2
DP ₃	1/7	1/2	1

表3 第2层中 DP₁ 的判断矩阵

	DP ₁₁	DP ₁₂	DP ₁₃
DP ₁₁	1	5	2
DP ₁₂	1/5	1	2
DP ₁₃	1/2	1/2	1

表4 第2层中 DP₂ 的判断矩阵

	DP ₂₁	DP ₂₂	DP ₂₃	DP ₂₄	DP ₂₅	DP ₂₆	DP ₂₇	DP ₂₈
DP ₂₁	1	1	1	3	5	2	3	7
DP ₂₂	1	1	1	3	5	2	3	7
DP ₂₃	1	1	1	3	5	2	3	7
DP ₂₄	1/3	1/3	1/3	1	3	1	2	5
DP ₂₅	1/5	1/5	1/5	1/3	1	1	1/2	3
DP ₂₆	1/2	1/2	1/2	1	1	1	3	1
DP ₂₇	1/3	1/3	1/3	1/2	2	1/3	1	3
DP ₂₈	1/7	1/7	1/7	1/5	1/3	1	1/3	1

表5 第2层中 DP₃ 的判断矩阵

	DP ₃₁	DP ₃₂	DP ₃₃
DP ₃₁	1	1	1
DP ₃₂	1	1	1
DP ₃₃	1	1	1

表6 各产品的设计参数(DP)的主要属性

	DP ₁₁	DP ₁₂	DP ₁₃	DP ₂₁	DP ₂₂	DP ₂₃	DP ₂₄	DP ₂₅	DP ₂₆	DP ₂₇	DP ₂₈	DP ₃₁	DP ₃₂	DP ₃₃
P ₁	sis651	DIP	2M E ² PROM	512K L2 Cache	2,最高 PC2700	AGP 4 ×	3条 PS/2 等		UltraDMA 133/100/66	2,USB 2.0/1.1	ATX 12V	钮扣 电池	晶振	9.6'× 8.2'
P ₂	Intel 845E	DIP	4M flash	512K/256K L2 Cache	2,最高 PC2100	AGP4 × Pro	3条 PS/2 等		UltraDMA 100/66 /33	4,USB 2.0/1.1	ATX 12V	钮扣 电池	晶振	12'× 9.6'
P ₃	Intel 845E	DIP	2M flash	512K/256K L2 Cache	3,最高 PC2100	AGP 4 ×	3条 PS/2 等		UltraDMA 100/66 /33	4,USB 2.0/1.1	ATX 12V	钮扣 电池	晶振	9.6'× 9.6'
P ₄	Intel 845G	DIP	4M flash	512K L2 Cache	2,最高 PC2100	AGP 4 ×	3条 PS/2 等		UltraDMA 100/66 /33	4, USB 2.0	ATX 12V	钮扣 电池	晶振	12'× 9.6'

表7 各产品 DP 相似性的模糊评价价值

	DP ₁₁	DP ₁₂	DP ₁₃	DP ₂₁	DP ₂₂	DP ₂₃	DP ₂₄	DP ₂₅	DP ₂₆	DP ₂₇	DP ₂₈	DP ₃₁	DP ₃₂	DP ₃₃
P ₁	0	1	0.3	0.6	0.5	0.8	0.5	1	0.6	0.5	1	1	1	0.5
P ₂	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P ₃	1	1	0.6	1	0.8	0.8	0.5	1	1	1	1	1	1	0.5
P ₄	0.8	1	1	0.6	1	0.8	1	1	1	0.6	1	1	1	1

3 结 论

产品族中产品的功能相似性和物理相似性是构成产品族的先决条件,也是实现大规模定制生产模式的关键因素,笔者提出了一种基于公理化设计中 FR 与 DP 的映射关系,利用层次分析法和模糊评价法,通过

计算、比较产品的功能和物理相似程度的大小进行产品族划分的方法,并以计算机主板为案例论证了方法的实用性。

参考文献:

[1] PINE B J. Mass Customization: the New Frontier in Busi-

- ness Competition [M]. Boston: Harvard Business School Press, 1993. 33 - 52.
- [2] SIVEIRA G D, BORENSEIN D, FOGLIATTO F S. Mass customization: Literature review and research directions [J]. International Journal of Production Economics, 2001, 72 (1): 1 - 13.
- [3] JIAO J, TSENG M M, DUFFY V G, et al. Product family modeling for mass customization[J]. Computers and Industrial Engineering, 1998, 35:495 - 498.
- [4] SUNDGREN N. Introducing interface management in new product family development[J]. Journal of Product Innovation Management, 1999, 16:40 - 51.
- [5] HERNANDEZ G, ALLEN J K, WOODRUFF G W, et al. Robust Design of Families of Products With Production Modeling and Evaluation [J]. Journal of Mechanical Design, 2001, 123:183 - 190.
- [6] DU X, JIAO J, TSENG M M. Understanding the Architecture of Product Family for Mass Customization [A]. 2001 world congress on mass customization and personalization [C]. 1 - 2, October, 2001 (CD - ROM).
- [7] MEYER M H, LEHNERD A P. The Power of Product Platforms: Building Value and Cost leadership [M]. New York: The Free Press, 1997.
- [8] 邵晓峰, 季建华, 黄培清. 基于 Internet 的大规模定制的实施条件与运作模式 [J]. 计算机集成制造系统 - CIMS, 2001, 12(7): 53 - 56.
- [9] SUH N P. Axiomatic Design [M]. New York: Oxford University Press, 2001. 10 - 187.

A Methodology of Classification of Product Family for Mass Customization

LAN Lin-chun, DAN Bin, FENG Tao, ZHANG Xu-mei

(College of Economics and Business Administration, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: Product family management is a key support technology to implement mass customized production. Various products in product family are similar in functional characters, physical characters and technological characters, which is an important character of product family. Based on the products represents and mapping relations in functional domain and physical domain, a method of classifying product family is presented by comparing similarity of both functional requirements in functional domain and design parameters in physical domain. The process of classifying product family by virtue of this method is also discussed. At last, a case is introduced to illustrate the application of this method.

Key words: mass customization; product family; similarity; analytic hierarchy process

(编辑 刘道芬)