

面向产品配置的模块求解策略研究*

李国喜, 慈元卓, 龚京忠, 吴宝中, 杨世宁, 张宝辉

(国防科技大学机电工程与自动化学院, 湖南长沙 410073)

摘要 针对模块化设计的产品配置阶段,提出了基于模块族特征参数模型的模块配置集生成流程。详细阐述利用质量功能配置(QFD)将用户需求定量映射为模块特征参数的方法,描述了依据相似度计算模型按照映射关系从模块库中检索模块的过程,从而为构建产品模块配置集、确定产品配置方案提供了完整的途径。

关键词 模块配置; QFD 配置集; 模块族; 相似度

中图分类号: TH16 文献标识码: A

Study of Module Solution for Product Configuration

LI Guo-xi, CI Yuan-zhuo, GONG Jing-zhong, WU Bao-zhong, YANG Shi-ning, ZHANG Bao-hui

(College of Mechatronics Engineering and Automation National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract For the phase of product configuration in modular design, a process of product module configuration set is put forward based on the feature parameter model of module family. A detailed description is offered on how to generate the mapping relation from user requirements to module feature parameters through Quality Function Deployment (QFD) method. According to this relationship, a model of similarity metrics is adopted to retrieve modules from module base. Hence, a complete approach for constructing product module configuration set and product configuration scheme is offered.

Key words module configuration; quality function deployment; configuration set; module family; similarity metrics

产品模块化设计制造过程中,形成了大量的模块,建立了相应的模块库。设计人员在进行产品配置时,面对用户个性化、多样化的需求,如何从模块库中的大量模块求解出所需模块来建立符合用户需求的配置方案,是亟需解决的问题。因此如果能够建立起用户需求和产品模块之间的定量映射关系,根据此定量映射关系采用定量的方法检索产品模块,得到符合用户需求的模块配置集,必将为配置方案的确定带来极大的方便。

1 模块族特征参数模型

模块是可以组合为系统的、具有确定功能和接口结构的、典型的独立单元^[1]。模块在一定意义上都是由一个或多个零件按照不同方式组合而成的。模块和零件在一定程度上具有相似性,因此模块具有管理特征、形状特征、精度特征、技术特征、材料特征^[2]、功能特征和装配特征,可以采用特征来描述模块。为了更加详细、准确地表征模块,引入了特征参数。特征参数可以分为定性特征参数和定量特征参数。

模块族是指主体特征相同的模块的集合,隶属于模块族的所有模块具有相同的主体特征。模块族中每个具体模块都具有相同的主体特征参数、特征参数权重和不同的特征参数值。设 Z 表示模块族, $\{M_z^1, M_z^2, \dots, M_z^i, \dots\}$ 表示隶属于模块族 Z 的所有模块,可以得到模块族的特征参数模型如图 1 所示。

2 模块配置集生成流程

模块化设计中的产品模块配置,首先要对用户需求进行分析,利用 QFD 方法依次建立用户需求到技术需求的映射、技术需求到模块特征参数的映射,然后基于模块特征参数按照相似度计算模型在模块

* 收稿日期: 2004-05-20

基金项目: 国家部委资助项目(41318.1.1.3)

作者简介: 李国喜(1967—),男,副教授,在职博士生。

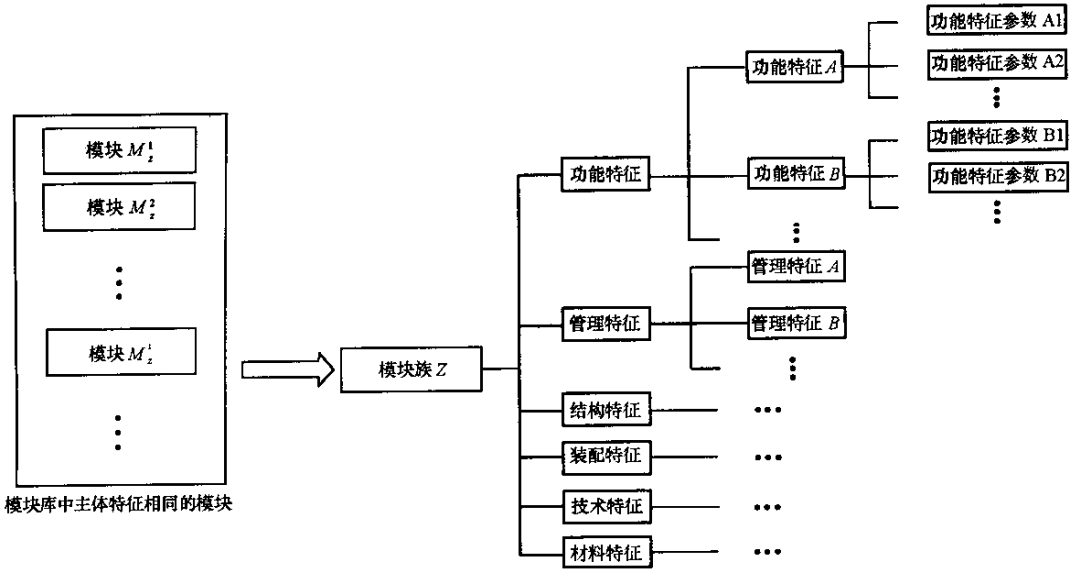


图 1 模块族特征参数模型

Fig.1 Parameter model of module family

库中检索模块 根据检索结果构建模块配置集 最后以配置集为依据 确定模块配置方案 对方案进行评价分析并形成产品作为输出。产品模块配置流程如图 2 本文主要就模块配置集的构建加以详细阐述。

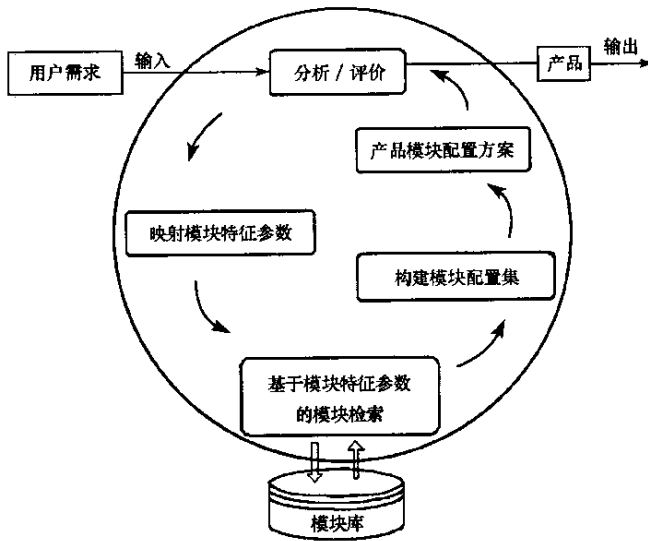


图 2 模块配置流程

Fig.2 Process for module configuration

3 映射模块特征参数

3.1 用户需求到技术需求的映射

产品个性化已经成为市场需求的发展趋势 愈来愈多的用户希望能按照不同的需求和偏好来生产产品。设经过结构化处理后得到用户需求 $\{CR_1, CR_2, \dots, CR_n\}$ 按照 1~9 的数字刻度标准确定用户需求的重要度为 $\{CRW_1, CRW_2, \dots, CRW_n\}$

详细分析顾客的需求 按照针对性、可测量性和全局性的原则选取技术需求 $\{TR_1, TR_2, \dots, TR_m\}$ 定

义技术需求重要度为 $\{TRW_1, TRW_2, \dots, TRW_m\}$, 技术需求的目标值为 $\{V_1, V_2, \dots, V_m\}$ 。采用符号 \odot 、 \circ 、 \triangle 来表示用户需求与技术需求之间的相关程度, 对应强相关、中等相关和弱相关, 分值定为 9、3、1, 如果用户需求和技术需求之间没有关系则分值为 0。构建产品的规划矩阵, 如图 3 所示。

| | | | | | | |
|------------------|----------|----------|-------------|----------|-----|----------|
| | | 技术需求 | | | | |
| | | 重要度 | TR_1 | TR_2 | ... | TR_m |
| 客 户 需 求 | CR_1 | CRW_1 | \odot | \circ | ... | |
| | CR_2 | CRW_2 | | \odot | ... | \circ |
| | \vdots | \vdots | \vdots | \vdots | ... | \vdots |
| | CR_n | CRW_n | \triangle | | ... | \odot |
| | | 技术目标值 | V_1 | V_2 | ... | V_m |
| | | 技术需求重要度 | TRW_1 | TRW_2 | ... | TRW_m |

图 3 模块配置产品规划矩阵

Fig.3 Product planning matrix for module configuration

假设 R_{ij} 是第 i 个用户需求和第 j 个技术需求之间关系符号所对应的分值。根据产品规划矩阵中相应符号确定 R_{ij} 的值, 设 TRW_j 为第 j 个技术需求的重要度, 则有^[3]

$$TRW_j = \sum_{i=1}^n CRW_i \times R_{ij}, \quad j = 1, 2, \dots, m$$

依次进行计算, 就由产品规划矩阵得到了技术需求重要度 $\{TRW_1, TRW_2, \dots, TRW_m\}$ 。

3.2 技术需求到模块特征参数的映射

由用户需求到技术需求的映射得到了技术需求的目标值和重要度, 设所需的配置模块为 M_1, M_2, \dots, M_p , 隶属于各自模块族。设属于模块族 Z 的模块 M_z 的特征参数模型表示为 $FP^z = \{FP_1^z, FP_2^z, \dots, FP_q^z\}$, 设对应的特征参数重要度为 $\{PW_1^z, PW_2^z, \dots, PW_q^z\}$, 沿用上述符号和 (9、3、1、0) 的分值, 构建模块配置矩阵如图 4。

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|----------|----------|----------|-------------|-------------|----------|----------|----------|-------------|----------|----------|-------------|----------|----------|-------------|------|
| | | | M_1 | | | M_2 | | ... | M_z | | | | ... | M_p | | 模块 |
| | | | FP_1^1 | FP_2^1 | FP_3^1 | FP_1^2 | FP_2^2 | ... | FP_1^z | FP_2^z | ... | FP_q^z | ... | FP_1^p | FP_2^p | 特征参数 |
| 技 术 需 求 | TR_1 | V_1 | TRW_1 | \odot | \triangle | \circ | \odot | ... | \odot | | ... | | ... | | | |
| | TR_2 | V_2 | TRW_2 | \circ | \odot | | \circ | \circ | ... | \odot | ... | \triangle | ... | \odot | \triangle | |
| | \vdots | \vdots | \vdots | \vdots | \vdots | \vdots | \vdots | ... | \vdots | \vdots | \vdots | \vdots | \vdots | \vdots | \vdots | |
| | TR_m | V_m | TRW_m | \triangle | | \circ | \odot | ... | \triangle | \circ | ... | \odot | ... | \circ | \odot | |
| 模块特征参数目标值 | | | | | | | ... | PV_1^z | PV_2^z | ... | PV_q^z | ... | | | | |
| 模块特征参数重要度 | | | | | | | ... | PW_1^z | PW_2^z | ... | PW_q^z | ... | | | | |

图 4 模块配置矩阵

Fig.4 Module deployment matrix

获取模块特征的目标值 $\{PV_1^z, PV_2^z, \dots, PV_q^z\}$ 后, 假设 R_{ij}^z 是模块 M_z 的第 i 个技术需求和第 j 个模块特征参数之间关系符号所对应的分值 (9、3、1、0), PW_j^z 为模块 M_z 的第 j 个特征参数的重要度, 则有^[3]

$$PW_j^z = \sum_{i=1}^m TRW_i \times R_{ij}^z, \quad j = 1, 2, \dots, q$$

利用该模块配置矩阵, 依次计算得到模块 M_z 的特征参数 $\{FP_1^z, FP_2^z, \dots, FP_q^z\}$ 对应的重要度 $\{PW_1^z, PW_2^z, \dots, PW_q^z\}$, 假设这些特征参数的权重为 $w^z = \{w_1^z, w_2^z, \dots, w_q^z\}$, 构建相对重要性矩阵^[4]

$$A_z = \begin{pmatrix} a_{11}^z & a_{12}^z & \dots & a_{1q}^z \\ a_{21}^z & a_{22}^z & \dots & a_{2q}^z \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{q1}^z & a_{q2}^z & \dots & a_{qq}^z \end{pmatrix}$$

其中

$$a_{ij}^z = \frac{PW_i^z}{PW_j^z}, \quad i, j = 1, 2, \dots, q$$

$$a_{ii}^z = 1, a_{ij}^z = \frac{1}{a_{ji}^z}, \quad i, j = 1, 2, \dots, q$$

当判断矩阵 A_z 虽不一致但具有满意的一致性时, A_z 最大特征根所对应的特征向量归一化后就是排序向量的一个估计, 因为 A_z 的模最大特征根为正根且为单根, 所以可以方便地用幂法求取^[5]。设计算得到 A_z 的最大特征根为 λ_{\max} , 对应的特征向量为 $\bar{w}^z = (\bar{w}_1^z, \bar{w}_2^z, \dots, \bar{w}_q^z)$, 对该向量进行归一化处理, 得到模块 M_z 的特征参数 FP_i^z 的权重

$$w_i^z = \frac{\bar{w}_i^z}{\sum_{j=1}^q \bar{w}_j^z} \quad (i = 1, 2, \dots, q)$$

其中, $\sum_{i=1}^q w_i^z = 1, 0 \leq w_i^z \leq 1$, 利用下面的公式判断矩阵 A_z 的一致性^[5]:

$$CR = (\lambda_{\max} - q) / [(q - 1) \times RI] \leq 0.1 \quad (RI \text{ 的值见表 } 1)$$

满足条件则认为 A_z 具有满意的一致性, 可以认为模块 M_z 的特征参数 $\{FP_1^z, FP_2^z, \dots, FP_q^z\}$ 对应的权重为 $w^z = \{w_1^z, w_2^z, \dots, w_q^z\}$, 否则需要调整产品规划矩阵和模块配置矩阵后重新计算模块特征参数权重。

表 1 RI 的值

Tab.1 Value of RI

| q | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|----|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| RI | 0 | 0 | 0.52 | 0.89 | 1.12 | 1.26 | 1.36 | 1.41 | 1.46 | 1.49 | 1.52 | 1.54 | 1.56 | 1.58 | 1.59 |

4 模块检索

获取了配置模块特征参数后, 就可以建立与模块库中的实际模块间的映射关系, 也就是从配置模块隶属的模块族中得到与之相符合的实际模块。为了能进行定量比较, 采用相似度计算模型来获取配置模块和实际模块之间的特征参数相似程度。隶属于同一个模块族保证了模块主体特征参数模型的一致性, 也保证了采用相似度方法的可行性, 可以对配置模块的每个特征参数与实际模块相应的特征参数进行匹配计算, 同时由于搜索空间限制在模块族范围内, 大大减轻了检索的费用, 缩短了时间, 提高了效率。模块检索的算法如下:

(1) 归纳整理按照质量功能配置(QFD)方法映射出的配置模块的特征参数要求。配置模块 M_z 的特征参数要求为: 特征参数 $FP^z = \{FP_1^z = PV_1^z, FP_2^z = PV_2^z, \dots, FP_q^z = PV_q^z\}$, 与之相对的特征参数权重为 $w^z = \{w_1^z, w_2^z, \dots, w_q^z\}$

(2) 搜索现有模块库中隶属于模块族 Z 的所有模块, 从中得到这些模块对应的特征参数为 $FP = \{FP_1 = PV_1, FP_2 = PV_2, \dots, FP_q = PV_q\}$

(3) 求解模块库中模块与配置要求模块 M_z 之间的相似度, 公式为

$$s = 1 - \sum_{i=1}^q w_i^z \times \delta_i$$

其中, δ_i 表示与特征参数类型有关的值, 求解方法如下^[2]:

$$\delta_i = \begin{cases} 0 ; & \text{当特征参数为定性参数 ,且 } PV_i^z = PV_i \\ 1 ; & \text{当特征参数为定性参数 ,且 } PV_i^z \neq PV_i \\ \left| \frac{\max(PV_i^z, PV_i) - \min(PV_i^z, PV_i)}{\max(PV_i^z, PV_i)} \right| ; & \text{当特征参数为定量参数} \end{cases}$$

根据相似度 s 的大小可以定量判断当前配置模块与模块库模块的相似情况。 $s = 0$ 表示两者完全不相似, $s = 1$ 表示两者完全相似, s 越接近 1,两者的相似匹配程度越高。将 s 和给定设计满意值 ϵ 进行比较,把相似度 $s > \epsilon$ 的 f^z 个与 M_z 相似的模块作为可用模块,就得到与配置模块 M_z 相匹配的可用模块的集合 $\{M_z^1, M_z^2, \dots, M_z^{f^z}\}$ 。

(4)按照(3)对每个配置模块(从模块 M_1, M_2 到模块 M_p)进行相似度计算,经过上述的检索,得到所有的可用模块集合,从而得到了模块配置集

$$\Omega = \{\{M_1^1, M_1^2, \dots, M_1^{f^1}\}, \{M_2^1, M_2^2, \dots, M_2^{f^2}\}, \dots, \{M_z^1, M_z^2, \dots, M_z^{f^z}\}, \dots, \{M_p^1, M_p^2, \dots, M_p^{f^p}\}\}$$

设计人员可以从模块配置集中选择,确定产品配置方案。

5 结束语

用户需求的多样性、模块库中存在大量可供选择的模块,导致了产品配置方案生成的复杂性和艰巨性,对设计人员提出了很高的要求。为了辅助设计人员确定产品配置方案,建立用户需求和模块之间的定量映射关系,本文按照 QFD 的方法在产品规划矩阵阶段从用户需求映射出技术需求,在模块配置矩阵阶段从技术需求映射出模块特征参数,得到模块特征参数权重,按照所需模块特征参数在模块库中利用相似度方法进行检索,根据要求获取一定数量的可用配置模块,构成产品模块的配置集。利用该配置集,设计人员可以迅速、准确地获取满足用户需求的产品配置方案,并可以对这些方案进行综合分析比较,选择最优解,给设计人员带来方便。

参考文献:

- [1] 童时中. 模块化原理设计方法及应用[M]. 北京: 中国标准出版社, 2000.
- [2] 余俊. 中国机械设计大典[M]. 南昌: 江西科学技术出版社, 2002.
- [3] 林志航. 计算机辅助质量系统[M]. 北京: 机械工业出版社, 1997.
- [4] 孔造杰, 郝永敬. 用权重概率综合系数法确定 QFD 中用户重要性[J]. 计算机集成制造系统 - CIMS, 2001.
- [5] 王莲芬, 许树柏. 层次分析法引论[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1990.

