

# 基于产品感性定制模型的顾客协同设计系统

李晶耀<sup>1</sup>, 郭伟<sup>1</sup>, 牛占文<sup>2</sup>

(1. 天津大学机械工程学院, 天津 300072; 2. 天津大学管理学院, 天津 300072)

**摘要:** 为使产品定制模型更加适合缺少相关领域专业知识的大众消费者, 建立了基于感性工学的产品感性定制模型。引入配件感性性能指数、产品感性性能矩阵对产品感性性能进行量化。使用层次分析法实现了求解与顾客对产品感性性能需求对应的产品工程配置的方法。并应用产品感性定制模型, 构建了基于 Web 和虚拟现实技术的顾客协同设计系统。

**关键词:** 感性工学; 定制; 顾客协同设计系统

## Customer Co-design System Based on Product Kansei Customization Model

LI Jing-yao<sup>1</sup>, GUO Wei<sup>1</sup>, NIU Zhan-wen<sup>2</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072; 2. School of Management, Tianjin University, Tianjin 300072)

**【Abstract】** Product Kansei customization model based on Kansei engineering is established to make product customization model more suitable for mass customer without special knowledge. According to the imported concepts of fittings Kansei performance index and product Kansei performance matrix, product Kansei performance is quantified. The solution to product engineering configuration corresponding to product Kansei performance requirement is found with the AHP. Practical application of this model is presented in a customer co-design system based on Web and virtual reality technology.

**【Key words】** Kansei engineering; customization; customer co-design system

### 1 概述

随着顾客对产品个性化需求的日益增长, 将顾客集成至产品设计过程之中进行协同设计已成为大规模定制策略的重要环节。顾客协同设计是指在定制过程中顾客表达其对产品的个性化需求, 与制造商协作将需求映射至产品工程配置域完成产品配置, 最终得到所需产品的过程<sup>[1]</sup>。作为制造商与顾客信息交互的工具并引导顾客进行产品配置, 顾客协同设计系统已经广泛应用于手机、电脑、自行车等大众消费品的个性化定制过程。顾客使用这些系统在一般情况下就是对制造商预先定义好的模块化的装配零部件进行配置的过程, 因而对某些不具备相应领域专业知识的顾客而言, 大量专业信息、工程参数的选择会给他们带来诸多困惑, 进而影响系统对顾客需求信息的获取; 但事实上顾客所关心的并不是具体零部件的选取, 而是产品的整体性能, 所以在不牺牲顾客需求到产品工程配置映射的准确性的前提下, 顾客配置方式的简单化、傻瓜化、大众化将有助于改善这种不利情况。本文提出一种以产品感性定制模型(Product Kansei Customization Model, PKCM)为核心的顾客协同设计系统, 将顾客对产品性能的感性意象作为定制需求, 从而回避大量工程参数的选择, 并应用虚拟现实技术实现了自行车的顾客协同设计。

### 2 基于感性工学的产品感性定制模型

产品工程配置域上每一个配件的选择会影响顾客对产品性能的感性意象, 各项感性性能指标间存在着相互制约的关系, 综合性能的评价也存在主观因素, 如何组合这些配件使产品在不同的顾客感性意象、兴趣偏好的主观评价下达到综合性能最优, 是 PKCM 求解的核心思想。

### 2.1 感性工学概述

Nagamachi<sup>[2]</sup>所倡导的感性工学(Kansei Engineering, KE)相关研究日益成为顾客导向设计的典范。Kansei(简称为KS)源于日语, 其意思是顾客对产品的感官和心理上的认识。KE是一种运用工程技术手段, 探讨人之感性与物之设计特性之间关系的理论与方法。在产品设计领域, KE将人们对“物”(即已有产品、数字或虚拟产品)的感性意象定量、半定量地表达出来, 并与产品设计特性相关联, 以实现在产品设计中体现“人”(这里包括顾客、设计人员等)的感性感受, 设计出符合“人”的感觉期望的产品<sup>[3]</sup>。

### 2.2 产品感性定制模型

PKCM的构成如图1所示。

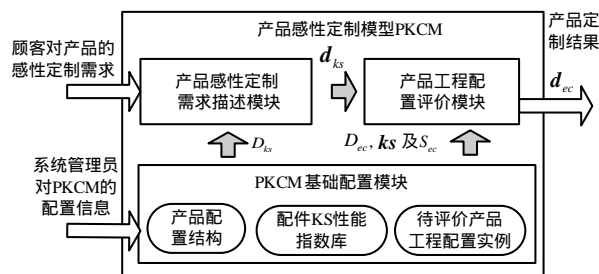


图1 PKCM基本构成

**基金项目:** 国家“863”计划基金资助项目(2006AA04Z115); 天津市科技发展计划基金资助项目(043186211)

**作者简介:** 李晶耀(1977-), 男, 博士研究生, 主研方向: 网络化制造及其虚拟技术; 郭伟, 教授、博士生导师; 牛占文, 教授

**收稿日期:** 2007-10-15 E-mail: mervyn@eyou.com

PKCM 基于感性工学将顾客对产品的感性意象需求进行分类并量化,利用 AHP 评价待选的产品工程配置实例,最终获得最符合顾客感性意象需求的产品工程配置。

引入以下符号定义便于模型说明:

$D$ : 产品配置结构,分为产品工程配置结构  $D_{ec}$  和产品 KS 配置结构  $D_{ks}$ ;

$d$ : 依据  $D$  的产品配置实例,  $d_{ec}, d_{ks}$  分别与  $D_{ec}, D_{ks}$  对应;

$kw$ :  $D_{ks}$  中描述产品某一具体 KS 性能的因子,用可以评价产品某些 KS 性能的感性词表示;

$Assembly_i$ :  $D_{ec}$  中第  $i$  个配件类( $i=1,2,\dots,n$ ),  $n$  为产品构成配件数量;

$assembly_{ij}$ :  $Assembly_i$  中的第  $j$  个配件( $j=1,2,\dots,k$ ),  $k$  为  $Assembly_i$  中包含的可选配件数量;

$p$ : 配件  $assembly_{ij}$  对  $D_{ks}$  中某  $kw$  因子所代表的产品 KS 性能的贡献度;

$ks$ : 配件  $assembly_{ij}$  根据  $D_{ks}$  所建立的配件 KS 性能指数向量,  $ks = (p_1 \ p_2 \ \dots \ p_m)^T$ ;

$A$ : 应用 AHP 构建的判断矩阵;

$w$ : 应用 AHP 计算所得的排序权重向量,  $w$  中的元素用  $w$  表示;

$W$ :  $w$  构成的排序权重矩阵;

$S_{ec}$ : 待评价产品工程配置集合;

$P$ : 产品 KS 性能矩阵;

$GP$ : 产品综合 KS 性能向量;

$GP$ : 产品综合 KS 性能指数。

### (1)PKCM 基础配置模块

该模块依据系统管理员的配置信息,完成 PKCM 的基础配置工作,其主要功能如下。

1)建立 PKCM 的产品配置结构,如下式所示:

$$\begin{cases} D_{ec} = \{Assembly_1, Assembly_2, \dots, Assembly_n\} \\ D_{ks} = \{kw_1, kw_2, \dots, kw_m\} \end{cases}$$

$D_{ks}$  中要求  $kw_i$  与  $kw_j$  ( $i \neq j$ ) 所代表的产品 KS 性能不存在相互影响或支配作用,或者这种作用很弱可以忽略不计。表示  $kw$  的意象语意的搜集有很多途径,如与顾客直接交流、开放式问卷调查、通过相关工业杂志和专卖商店获取等<sup>[2]</sup>。 $D_{ks}$  中  $m$  的取值不能太小,否则将造成顾客感性需求转化成产品工程配置的信息失真; $m$  的取值过大将影响计算效率,故  $m$  的取值和  $kw$  所代表的顾客感性意象应该根据产品特点合理设置。

2)建立配件 KS 性能指数库,即建立产品工程配置域中每个可选配件的  $ks$ 。 $p$  的数值一般由试验获得,可以采用基于配件类的内插法评分,即保持配件  $assembly_{ij}$  不变,在产品工程配置域中从除  $Assembly_i$  以外的配件类中选取配件随机生成  $x$  种产品工程配置,测试与  $Assembly_i$  有关的各项产品 KS 性能。针对某项 KS 性能  $kw_y$ ,  $Assembly_i$  中表现最好的配件,其  $p$  得满分;最差的配件,其  $p$  得满分的 20%,其余的按照差距的大小进行内插评分,然后对  $x$  组数据求平均取整,所得即为  $assembly_{ij}$  的  $p$ 。若  $p$  为 0 则表示  $assembly_{ij}$  与  $kw_y$  无关。

3)采用穷举遍历法,遍历产品 BOM 树,举出所有产品工

程配置实例,构成待评价产品工程配置集合  $S_{ec}$ ,则

$$S_{ec} = \{d_{ec}^1, d_{ec}^2, \dots, d_{ec}^u\} \quad (u=1)$$

### (2)产品感性定制需求描述模块

该模块获取顾客对产品的感性意象需求,将需求描述为基于  $D_{ks}$  的产品配置实例  $d_{ks}$ 。采用分级量化的方法对产品感性意象定量表示,即将  $D_{ks}$  中每个  $kw$  分为“1”,“2”,“3”,“4”4 个等级,“1”表示顾客对  $kw$  所代表的产品 KS 性能需求最弱,“4”表示需求最强。

### (3)产品工程配置评价模块

不同的消费者对产品各项 KS 性能指标有着不同的需求倾向,但都是为了定制到综合 KS 性能最好的产品,所以对产品工程配置优劣的评判就可以转化为比较产品综合 KS 性能指数的高低。该模块的设计思想为:依据  $d_{ks}$ ,利用 AHP 评价  $S_{ec}$  中的待选产品工程配置实例,  $\max GP$  所对应的  $d_{ec}$  即为满足顾客需求的产品工程配置。

具体评价求解过程如下:

1)建立“产品综合 KS 性能-KS 意象-配件类”递阶层次结构,如图 2 所示。

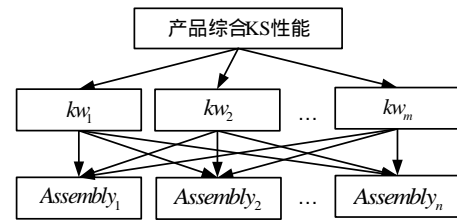


图 2 产品综合 KS 性能的递阶层次结构

2)比较  $D_{ec}$  中各配件类对 KS 意象层某一感性意象  $kw_x$  的影响程度,建立成对比较矩阵  $A_{D_{ec}-kw_x}$ ,计算权重向量  $w_{D_{ec}-kw_x}$ ,生成  $W_{D_{ec}-D_{ks}} = [w_{D_{ec}-kw_1} \ w_{D_{ec}-kw_2} \ \dots \ w_{D_{ec}-kw_m}]$ 。

3)根据某顾客的  $d_{ks}$ ,比较 KS 意象层对产品综合 KS 性能的影响程度,建立成对比较矩阵  $A_{d_{ks}-KS}$ ,计算权重得

$$w_{d_{ks}-KS} = (w_{kw_1} \ w_{kw_2} \ \dots \ w_{kw_m})^T$$

4)进行层次总排序,依据  $W_{D_{ec}-D_{ks}}$  和  $w_{d_{ks}-KS}$  生成产品综合 KS 性能评价标准向量(配件类权重向量):

$$w_{D_{ec}-KS} = (w_{Assembly_1} \ w_{Assembly_2} \ \dots \ w_{Assembly_n})^T$$

5)遍历  $S_{ec}$  中每个  $d_{ec}$ ,计算其产品综合 KS 性能指数  $GP$ ,选择  $GP$  值最大的  $d_{ec}$  为 PKCM 的解。 $d_{ec}$  可表示为

$$d_{ec} = (assembly_1 \ assembly_2 \ \dots \ assembly_n)$$

由于  $d_{ec}$  中每一配件对应一个配件 KS 性能指数向量,因此产品 KS 性能矩阵  $P$  可以表示为

$$P = [ks_1 \ ks_2 \ \dots \ ks_n]$$

则

$$GP = P \cdot w_{D_{ec}-KS}$$

其中,  $P$  表示  $d_{ec}$  的  $n$  个配件在  $m$  项性能指标下的 KS 性能表现,每一个可能的产品工程配置  $d_{ec}$  对应一个  $P$ ,由 PKCM 的工程配置数据库提供,是综合 KS 性能寻优的待评矩阵,  $w_{D_{ec}-KS}$  是对  $P$  的评价规则,包含顾客对产品 KS 性能的感性意象信息,由  $d_{ks}$  提供。最后,  $GP$  为  $GP$  中各元素之和,即

$$GP = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n w_{Assembly_j} P_{ij}$$

$\max GP$  所对应的  $d_{ec}$  即为满足顾客对产品 KS 性能需求

的产品工程配置。

### 2.3 模型验证

以自行车产品的定制为例，具体验证过程如下。

#### (1) PKCM 基础配置

确定 PKCM 的产品配置结构， $D_{ec} = \{ \text{车架, 车把, 变速系统, 制动系统, 减震系统, 车座} \}$ ； $D_{ks} = \{ \text{舒适性, 轻便性, 速度, 个性, 经济性} \}$ 。

构建配件 KS 性能指数库。

依据产品工程配置实例生成策略构成  $S_{ec}$ 。例如， $S_{ec}$  由 2 个产品工程配置实例构成，即  $S_{ec} = \{ d_{ec}^A, d_{ec}^B \}$ ，且

$d_{ec}^A = \{ \text{铝合金双管斜梁, 燕翅把, 1×1, 鼓形涨闸, 液体阻尼, 透气网面三簧} \}$

$d_{ec}^B = \{ \text{碳纤维前后双三角, 羊角把, 3×6, 摩擦盘式, 无, 窄面流线} \}$

#### (2) 描述产品感性定制需求

已知顾客对自行车的舒适性和经济性要求比较高，其定制配置为  $d_{ks} = (4, 3, 1, 2, 4)$ 。

#### (3) 产品工程配置评价

基于 AHP，建立如图 3 所示的评价体系，进行权重计算（见表 1），求得  $w_{D_{ec}-KS}$ 。

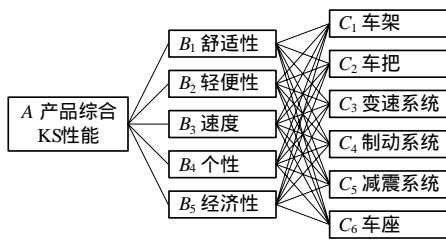


图 3 某自行车产品综合 KS 性能评价体系

表 1 “产品综合 KS 性能-KS 意象-配件类”层次总排序

$W_{D_{ec}-D_{ks}} \cdot w_{d_{ec}-KS}$	B 层					$w_{D_{ec}-KS}$
	舒适性	轻便性	速度	个性	经济性	
车架	0.061×0.357	0.875×0.156	0.196×0.038	0.521×0.092	0.545×0.357	0.418
车把	0.107×0.357	0	0.055×0.038	0.113×0.092	0.038×0.357	0.064
变速系统	0	0.125×0.156	0.694×0.038	0.113×0.092	0.197×0.357	0.127
制动系统	0	0	0.055×0.038	0.113×0.092	0.091×0.357	0.045
减震系统	0.567×0.357	0	0	0.113×0.092	0.091×0.357	0.245
车座	0.265×0.357	0	0	0.027×0.092	0.038×0.357	0.111

待评价产品工程配置实例  $d_{ec}^A$  与  $d_{ec}^B$  对应的产品 KS 性能矩阵分别为

$$P_A = \begin{bmatrix} 6 & 8 & 0 & 0 & 8 & 9 \\ 4 & 0 & 4 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 3 & 2 & 4 & 0 & 0 \\ 3 & 2 & 2 & 3 & 8 & 6 \\ 7 & 8 & 8 & 7 & 3 & 5 \end{bmatrix}, \quad P_B = \begin{bmatrix} 4 & 4 & 0 & 0 & 0 & 5 \\ 8 & 0 & 7 & 0 & 0 & 0 \\ 8 & 8 & 9 & 7 & 0 & 0 \\ 5 & 6 & 6 & 7 & 0 & 3 \\ 2 & 5 & 4 & 2 & 0 & 6 \end{bmatrix}$$

利用  $P_A, P_B, w_{D_{ec}-KS}$  计算  $GP$ ，求得  $GP_A = 20.495, GP_B = 18.334$ 。因  $GP_A > GP_B$ ，PKCM 向顾客推荐休闲风格的 A 车。

### 3 基于 PKCM 的顾客协同设计系统

基于上述理论研究，利用 Visual C++ 对 Pro/Engineer 的二次开发技术、COM 组件技术、VRML 虚拟现实技术，使用 JSP 构建了以 SQL Server 作为数据存储的基于 Web 的自行车产品顾客协同设计系统。

#### (1) 顾客协同设计实现过程

顾客通过 Web 浏览器提交多种设计参数，如产品 KS 配

置参数、人体尺寸参数、颜色参数、Logo 参数等。服务器端以产品 KS 配置参数作为主要设计参数，通过 PKCM 的筛选与评价，确定产品工程配置方案。依据人体尺寸参数(身高、上肢长、下肢长、肩宽)驱动车架节点参数化模型获得符合人机工程学的车架尺寸，结合颜色、Logo 等参数共同驱动相应零部件的三维 CAD 参数化模型生成该零部件的三维实体模型。最后依据产品工程配置方案、装配准则对零部件实体模型进行虚拟装配，生成符合顾客感性需求的数字样车，并通过 VRML 将数字样车通过 Web 浏览器呈现给顾客，使其获得对产品的直观感受。具体实现过程如图 4 所示。

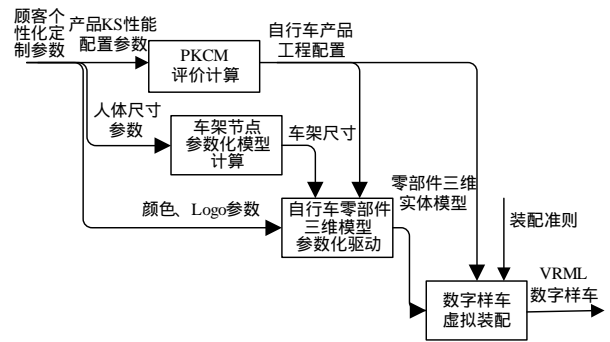


图 4 顾客协同设计实现过程功能模型

#### (2) 系统实现

为满足多用户定制的并发处理，基于 Web 的顾客协同设计系统的服务器端需提供多个仿真单元用于生成 VRML 数字样车，故提出如图 5 所示的系统框架结构。

主服务器提供 Web 服务，是整个系统的中心控制器。任务规划器负责分配任务，创建并管理主服务器所提交的任务队列。任务规划器的另一主要目的是平衡所有仿真单元的工作负荷以保证每一任务的平均响应时间最短。PKCM 评价单元的主要功能是根据远程顾客所提交的产品 KS 配置参数，依据 PKCM 评价和筛选获得相应的产品工程配置备选方案，返回主服务器。主服务器再将这些数据作为参数发送至仿真单元。仿真单元中，COM 负责同任务规划器与主服务器通信，驱动和控制本机上的 Pro/Engineer；Pro/Engineer 则由 COM 获得参数，驱动相应零部件的三维参数化模型，并进行虚拟装配生成 VRML 文件为载体的数字样车。顾客通过客户端可以提交相应的定制设计参数；可以显示从服务器返回的数字样车模型，提供对样车进行缩放、平移、旋转等操作的功能。

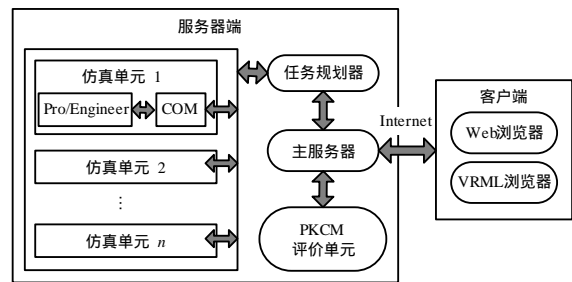


图 5 系统框架结构

### 4 结束语

本文引入感性工学理论，提出了一种面向大众的可描述  
(下转第 29 页)