

# 基于顾客不确定需求的产品配置方法

Approach of Product Configuration Based on Uncertain Demand of Customers

西北工业大学现代设计与集成制造技术教育部重点实验室 朱 斌 王 展 杨海成

[摘要] 为实现大规模定制,提出了一种基于顾客不确定需求的产品配置方法。该方法首先将顾客需求和产品属性值转换为三角形模糊数,归一化后计算出两者之间的相似度,并以简单加权平均形式作为效用函数,求解出与顾客需求相似度最大的产品。最后,以数码相机为例进一步验证了该方法的可行性和有效性。

关键词: 产品配置 顾客需求 模糊 相似度

[ABSTRACT] An approach of product configuration based on uncertain demand of customers is put forward to realize the mass customization(MC). The demand of customers and product property values are converted to the triangular fuzzy numbers firstly in this approach, and the similarity is calculated after the normalization. And then the simple additive weighting (SAW) method is taken as the utility function to derive the products which have the maximum similarity to the demand of customers. Finally, the digital camera is taken as an example to further verify the feasibility and the validity of this approach.

Keywords: Product configuration Demand of customers Fuzzy Similarity

大规模定制(Mass Customization, MC)是一种既能满足顾客对产品多样化与个性化需求,又能实现大批量生产的高效率、低成本的生产模式<sup>[1]</sup>,受到很多企业的青睐,也是目前国内外学者研究的热点。产品配置是实现MC生产模式的重要手段,也是产品数据管理(Product Data Management, PDM)系统的重要功能之一。

产品配置是受顾客订单驱动的<sup>[2]</sup>。随着市场竞争的日益激烈,企业为赢得足够的市场份额,往往需要向市场投放多样化、个性化的产品供顾客选择,产品的选择空间越来越大,顾客也变得越来越挑剔。然而,从众多的产品中配置出适合顾客需求、性价比最高的产品也非易事。因此,及时、快速地响应顾客需求,并配置出所需要的产品是企业扩大市场份额、在市场竞

争中立于不败之地的有效保证。通常,在配置过程中,首先需要进行的是产品级配置,即在企业已有、成熟的产品系列的基础上快速配置出与其需求最为接近的产品,如果该产品能满足顾客需求,则直接输出;如果该产品不能满足顾客需求,则需要进行部件或零件级的配置,或进行变异设计,直至满足订单要求为止。

另外,顾客在选择产品时,由于对产品功能和性能等方面的认识和了解程度有限,而且不同顾客对产品不同属性的偏好也不相同,因此,对产品提出的需求往往是不确定的、模糊的,例如对重量的要求是10kg左右,对价格的要求是50~100元等。针对此类问题,本课题提出了一种基于相似度的产品配置方法。该方法首先将不确定的顾客需求和确定的产品属性值描述或转换为三角形模糊数,以顾客的模糊需求作为理想产品,通过三角模糊数的两两比较,找出与顾客需要的理想产品最为接近的产品,并以数码相机为例说明了该方法的可行性和有效性。

## 1 问题的提出

顾客对产品的选择从本质上说是对产品各个属性的选择。比如顾客在买一辆汽车的时候,往往会从汽车的排气量、耗油量和价格等方面进行考虑,提出对汽车的个性化需求。假设 $P=\{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ 为可供配置的 $m$ 个产品集合, $U=\{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 为产品的 $n$ 个属性集合。由于产品是企业已有的产品,因此产品各属性的指标值都是确定的。

如果以某顾客对产品提出的需求集合 $\tilde{R}=(\tilde{r}_1, \tilde{r}_2, \dots, \tilde{r}_1, \dots, \tilde{r}_n)$ 为理想产品,其中 $\tilde{r}_i$ 为对第 $i$ 项属性的模糊需求,且对各属性的偏好程度不同。现在,问题的关键是如何根据顾客提出的模糊需求,以及对产品各属性的偏好信息,从产品集合 $P$ 中配置出与顾客需求最接近的产品。

## 2 方法概述

### 2.1 预备知识<sup>[3-4]</sup>

· 定义 1: 若  $a=(a^L, a^M, a^U)$ , 其中  $0 \leq a^L \leq a^M \leq a^U$ , 称  $a$  为一个三角形模糊数, 其隶属函数可表示为

$$\mu_a(x) = \begin{cases} (x-a^L)/(a^M-a^L) & a^L \leq x \leq a^M \\ (x-a^U)/(a^M-a^U) & a^M \leq x \leq a^U \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

· 定义 2: 设三角形模糊数  $a=(a^L, a^M, a^U)$ ,  $b=(b^L, b^M, b^U)$ , 称

$$s(a, b) = \frac{a^L b^L + a^M b^M + a^U b^U}{\max[(a^L)^2 + (a^M)^2 + (a^U)^2, (b^L)^2 + (b^M)^2 + (b^U)^2]} \quad (1)$$

为  $a, b$  的相似度。显然,  $s(a, b)$  越大, 则三角形模糊数  $a, b$  相似程度越大。特别地, 当  $s(a, b)=1$  时,  $a=b$ , 即三角形模糊数  $a, b$  相等。

### 2.2 基本原理

设某顾客对产品  $n$  个属性提出的不确定性需求构成的向量为

$$C=(C_1, C_2, \dots, C_i, \dots, C_n),$$

式中,  $c_i$  表示顾客对产品第  $i$  项属性进行测度得到的模糊需求指标值。将模糊的属性指标值用三角形模糊数表示为

$$c_i=(c_i^L, c_i^M, c_i^U)。$$

设对任意产品  $p_i \in P$ , 其对应于属性集  $U$  构成的属性值向量为

$$d_i=(d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{in})。$$

由于  $P$  中的产品是企业已有产品, 其属性值均是确定的指标值, 与顾客提出的模糊需求不能直接进行比较。因此, 先将产品中确定的指标值转换为三角形模糊数的形式, 即

$$\tilde{d}_{ij}=(d_{ij}^L, d_{ij}^M, d_{ij}^U),$$

式中,  $d_{ij}^L=d_{ij}^M=d_{ij}^U=d_{ij}$ 。

产品中不同属性值的量纲是不相同的, 如果不对属性指标的数值作归一化处理, 各属性之间便没有可比性。因此, 还需要对各属性指标值进行归一化处理。

常见的属性类型可分为效益型属性和成本型属性。效益型属性是指属性值越大越好的属性; 成本型属性是指属性值越小越好的属性。根据三角形模糊数的运算法则,  $c_i$  的归一化处理可用如下公式表示

$$\begin{cases} c_i^L=c_i^L/\sqrt{(c_i^U)^2+(\sum_{j=1}^m d_{ij}^U)^2} \\ c_i^M=c_i^M/\sqrt{(c_i^M)^2+(\sum_{j=1}^m d_{ij}^M)^2} \\ c_i^U=c_i^U/\sqrt{(c_i^L)^2+(\sum_{j=1}^m d_{ij}^L)^2} \end{cases} \quad \begin{matrix} i=1, 2, \dots, n \\ j=1, 2, \dots, m \end{matrix} \quad (2)$$

$$\begin{cases} c_i^L=(1/c_i^U)/\sqrt{(1/c_i^L)^2+(1/\sum_{j=1}^m d_{ij}^L)^2} \\ c_i^M=(1/c_i^M)/\sqrt{(1/c_i^M)^2+(1/\sum_{j=1}^m d_{ij}^M)^2} \\ c_i^U=(1/c_i^L)/\sqrt{(1/c_i^U)^2+(1/\sum_{j=1}^m d_{ij}^U)^2} \end{cases} \quad \begin{matrix} i=1, 2, \dots, n \\ j=1, 2, \dots, m \end{matrix} \quad (3)$$

同样,  $\tilde{d}_{ij}$  的归一化处理公式为

$$\begin{cases} d_{ij}^L=d_{ij}^L/\sqrt{(c_i^U)^2+(\sum_{j=1}^m d_{ij}^U)^2} \\ d_{ij}^M=d_{ij}^M/\sqrt{(c_i^M)^2+(\sum_{j=1}^m d_{ij}^M)^2} \\ d_{ij}^U=d_{ij}^U/\sqrt{(c_i^L)^2+(\sum_{j=1}^m d_{ij}^L)^2} \end{cases} \quad \begin{matrix} i=1, 2, \dots, n \\ j=1, 2, \dots, m \end{matrix} \quad (4)$$

$$\begin{cases} d_{ij}^L=(1/d_{ij}^U)/\sqrt{(1/c_i^L)^2+(1/\sum_{j=1}^m d_{ij}^L)^2} \\ d_{ij}^M=(1/d_{ij}^M)/\sqrt{(1/c_i^M)^2+(1/\sum_{j=1}^m d_{ij}^M)^2} \\ d_{ij}^U=(1/d_{ij}^L)/\sqrt{(1/c_i^U)^2+(1/\sum_{j=1}^m d_{ij}^U)^2} \end{cases} \quad \begin{matrix} i=1, 2, \dots, n \\ j=1, 2, \dots, m \end{matrix} \quad (5)$$

其中, 公式 (2)、(4) 为效益型归一化公式, 公式 (3)、(5) 为成本型归一化公式, “ $\wedge$ ” 为“取小”算子。

归一化处理, 顾客需求向量变为

$$C=(C_1, C_2, \dots, C_n);$$

产品  $p_i$  对应的属性值向量为

$$\tilde{d}_i=(\tilde{d}_{i1}, \tilde{d}_{i2}, \dots, \tilde{d}_{in})。$$

设  $\omega=(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_i, \dots, \omega_n)$  为顾客对各属性偏好的权重向量, 且有,  $\omega_i > 0, \sum_{i=1}^n \omega_i = 1$ 。本课题采用简单加权平均的形式作为效用函数来度量顾客需求向量  $C$  和产品  $p_i$  的属性值向量  $\tilde{d}_i$  之间的相似程度, 其效用值为

$$U_i = \sum_{j=1}^n s(c_j, d_{ji}) \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (6)$$

则在产品集 P 中, 具有最大效用值的产品与顾客的需求产品相似度最大, 其值为

$$U_{\max} = \max_{j=1,2,\dots,m} \sum_{i=1}^n s(c_j, d_{ji})$$

### 3 实例

以数码相机为例, 对上述方法作进一步验证。表

表 1 可供配置的产品

产品代号	产 品 属 性				
	最大像素 u <sub>1</sub> /像素	光学变焦 u <sub>2</sub> /倍	LCD 显示屏 u <sub>3</sub> /英寸	重量 u <sub>4</sub> /g	价格 u <sub>5</sub> /元
p <sub>1</sub>	530	3	1.5	185	2 800
p <sub>2</sub>	330	2	1.5	165	1 700
p <sub>3</sub>	830	7	2.0	545	6 500
p <sub>4</sub>	330	3	1.5	172	1 900
p <sub>5</sub>	530	3	1.8	147	2 950
p <sub>6</sub>	530	5	1.8	586	4 200
p <sub>7</sub>	525	4	1.5	255	3 500
p <sub>8</sub>	320	3	1.6	140	1 430
p <sub>9</sub>	423	3	1.5	140	1 650
p <sub>10</sub>	424	8.3	1.8	255	5 550
p <sub>11</sub>	324	3	1.5	145	1 300
p <sub>12</sub>	620	3	1.8	170	3 350
p <sub>13</sub>	620	6	1.8	500	5 320

1 为企业已有的、可根据顾客需求进行配置的产品。表 2 为某顾客对产品提出的模糊需求及相应的权重。

表 2 顾客需求及权重

产品属性	理想值 c <sup>M</sup>	下限值 c <sup>L</sup>	上限值 c <sup>U</sup>	权重
最大像素 u <sub>1</sub> /像素	500	300	800	0.3
光学变焦 u <sub>2</sub> /倍	5	3	8	0.3
LCD 显示屏 u <sub>3</sub> /英寸	1.5	1.2	1.8	0.1
重量 u <sub>4</sub> /g	250	200	350	0.1
价格 u <sub>5</sub> /元	4 000	3 000	6 000	0.2

用三角形模糊数表示为:

$$\tilde{c} = [(300, 500, 800), (3, 5, 8), (1.2, 1.5, 1.8), (200, 250, 350), (3 000, 4 000, 6 000)]$$

各属性的权重向量为

$$= (0.3, 0.3, 0.1, 0.1, 0.2)$$

将表 1 中各产品属性值及顾客提出的需求转换成三角形模糊数形式。其中, 属性 u<sub>1</sub>、u<sub>2</sub> 和 u<sub>3</sub> 为效益型属性, u<sub>4</sub> 和 u<sub>5</sub> 为成本型属性。分别用公式 (2)~(5) 进行归一化处理, 再利用公式 (1) 和公式 (6) 求出相似度, 其结果如表 3 所示。

由表 3 可知, 待选中产品与顾客需求产品的相似度最大的 10 个产品排序为 p<sub>7</sub>>p<sub>6</sub>>p<sub>13</sub>>p<sub>1</sub>>p<sub>12</sub>>p<sub>10</sub>>p<sub>5</sub>>

表 3 计算结果

产品代号	s(c <sub>1</sub> , d <sub>1</sub> )	s(c <sub>2</sub> , d <sub>2</sub> )	s(c <sub>3</sub> , d <sub>3</sub> )	s(c <sub>4</sub> , d <sub>4</sub> )	s(c <sub>5</sub> , d <sub>5</sub> )	$\sum_{i=1}^5 s(c_i, d_{ji})$
p <sub>1</sub>	0.968 95	0.684 16	0.950 76	0.755 59	0.733 01	0.813 17
p <sub>2</sub>	0.733 11	0.495 26	0.950 76	0.670 8	0.434 45	0.617 56
p <sub>3</sub>	0.693 57	0.813 12	0.764 22	0.522 32	0.680 78	0.716 82
p <sub>4</sub>	0.834 84	0.684 16	0.950 76	0.700 41	0.487 67	0.718 35
p <sub>5</sub>	0.968 95	0.684 16	0.851 31	0.595 08	0.774 71	0.795 52
p <sub>6</sub>	0.968 95	0.953 1	0.851 31	0.490 24	0.920 24	0.894 82
p <sub>7</sub>	0.974 94	0.834 84	0.950 76	0.926 15	0.925 35	0.915 69
p <sub>8</sub>	0.717 16	0.684 16	0.960 58	0.565 8	0.363 41	0.645 72
p <sub>9</sub>	0.864 71	0.684 16	0.950 76	0.565 8	0.691 52	0.754 62
p <sub>10</sub>	0.865 97	0.693 57	0.851 31	0.926 15	0.765 6	0.798 73
p <sub>11</sub>	0.723 59	0.684 16	0.950 76	0.586 71	0.329 54	0.641 98
p <sub>12</sub>	0.876 59	0.684 16	0.851 31	0.691 94	0.886 84	0.799 92
p <sub>13</sub>	0.876 59	0.894 91	0.851 31	0.562 34	0.788 88	0.830 59

(下转第 82 页)

是一理想尖锐点而是一段圆弧所造成的加工误差, 必须使用刀尖半径补偿功能 G41 或 G42 来消除。

#### 4 组合加工尺寸检测

在项目实施过程中, 始终以保证 HPC 转子叶尖间隙为中心, 开发了新的测量方法, 对叶尖间隙尺寸进行有效控制。在机匣组件的加工过程中, 开发了在线测量技术, 对加工过程中的尺寸进行准确监控。还开发了三坐标自动测量技术, 用于机匣组件加工后进行全面的尺寸和形位公差测量。

##### 4.1 在线测量

利用数控立车上的 RENISHAW 在线测量系统, 使用直径为 8mm 的红宝石测量头, 对各级内空气封严进行尺寸测量。

由于被加工表面有锥度, 所以测量过程中同样存在测量误差的问题。测量程序中使用的是测量头的中心点 O 的坐标。当测量头的中心点 O 移动到指定的高度 H 时, 测量头的 E 点与零件接触, 此时测量的内径并不是指定高度 H 处的尺寸。所以在 X 方向上会产生  $\Delta X$  的测量误差, 见图 4。

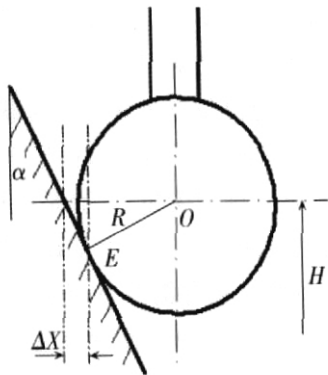


图 4 锥面测量的误差

Fig.4 Error of taper shape measurement

我们在测量程序中加入了直径方向的补偿值, 在每次测量前先输入零件的锥度值, 这样, 测量程序会自动在直径上补偿  $\Delta X$  ( $\Delta X = R \times \sin \alpha \times \tan \alpha$ ) 的数值。

##### 4.2 加工后测量

虽然数控车床上已配备了在线测量系统, 但该系统的缺点是测量速度慢, 耗费时间长。按照编制的测量工艺要求, RCC 机匣组件共需要测量 648 个点。在车床上每完成一个点的测量需要约 5-10min, 完成机匣组件的测量至少需要 54h。而且, 在数控车床上无法完成对形位公差的测量。

为了提高生产率, 同时确保测量的准确性和完整

性, 采用了下述的尺寸验证方式: 加工过程中, 在数控车床上利用在线测量系统对机匣上的每级磨损带测量 2 个点, 确保加工尺寸的正确性。加工完成后, 再用测量级的三坐标设备 (Reference 900 型, Leitz 公司生产) 全面测量机匣组件的尺寸。

#### 5 结束语

按上述工艺完成组合车削加工的 PW4000 环形机匣已装上发动机, 并顺利地通过了试车台的验收试车, 该发动机的各项性能指标均达到预期要求。实践证明, 上述组合车削加工工艺达到了 OEM 零件图纸的设计要求。HPC 机匣组合加工能力的建立, 提高了 Ameco 加工大型复杂构件的技术水平, 带动了整体加工能力的提升。 (责编 文洵)

(上接第 75 页)

$p_9 > p_4 > p_3$ , 其中, 产品  $p_7$  与顾客需求的产品相似度最高, 其值为  $s_{max} = 0.91569$ 。

通常, 相似度接近的产品与顾客需要的理想产品的综合效用值都比较接近, 加上顾客需求本身的模糊性和不确定性, 因此在实际配置中, 可以将几个相似度高的产品同时输出给顾客供其选择, 以便最大程度地满足顾客需求。

#### 4 结束语

快速、有效的产品配置方法是实现 MC 哲理、满足顾客定制需求、扩大市场份额的保证。顾客需求驱动的产品配置首先是在已有产品基础上的产品级配置, 然后才是部件或零件级的配置。本课题针对顾客对产品的不确定性、模糊性需求, 提出了一种解决顾客模糊需求的产品级配置方法。该方法可以应用于 PDM 软件的配置系统或在线网上购物系统。

#### 参 考 文 献

- [1] Anderson D M, Fine B J. Agile product development for mass customization. New York: McGraw2Hill, 1997: 1-4.
- [2] 刘晓冰, 董建华. 产品配置中相似实例模糊优选法的研究. 高技术通讯, 2003(12): 65-69.
- [3] Van Laarhoven P J M, Pedrycz W. A fuzzy extension of Saaty's priority theory. Fuzzy Sets and Systems, 1983 (11): 229-241.
- [4] 徐泽水. 对方案有偏好的三角模糊数型多属性决策方法研究. 系统工程与电子技术, 2002, 24(8): 9-12.

(责编 钟元)