

文章编号: 1673-0062(2010)02-0076-05

面向大批量定制的产品配置方案综合评价模型研究

刘 琼, 彭如恕, 谢 静, 王玉林

(南华大学 机械工程学院, 湖南 衡阳 421001)

摘 要: 大批量定制环境下, 如何协助用户选择合适的产品配置方案是一个复杂的多目标决策问题. 本文结合大批量定制环境下产品配置的特点, 以客户为评价主体, 建立了产品配置方案的综合评价体系结构, 采用模糊层次分析法对配置方案评价进行建模和计算. 以自行车的配置方案评价为实例进行了分析, 阐述了对配置方案进行综合评价的过程, 验证了该评价方法的可行性和评价模型的合理性.

关键词: 产品配置多目标决策; 评价方法; 模糊层次分析法

中图分类号: TP393.09 **文献标识码:** A

Research on the Evaluation Model of Product Configuration in Mass Construction Environment

LIU Qiong PENG Ru-shu XIE Jing WANG Yu-lin

(School of Mechanical Engineering, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China)

Abstract How to help the client select proper product configuration result is a multi-criteria decision problem. In this paper, the synthetic evaluation architecture of configuration cases is built to help customer find more appropriate configuration result according to the characteristic of product configuration under MC. By introducing triangle fuzzy numbers, fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) is used to model and calculate the evaluation problem. Through the analysis of the bike evaluation system, the feasibility of FAHP method and the reasonableness of evaluation model are proved.

Key words product configuration; multi-criteria decision; evaluation method; fuzzy AHP

0 引言

大批量定制是一种将降低企业生产成本与满足客户个性化需求有机结合的生产方式. 用户可

以通过网络等方式使用企业提供的优化配置工具, 选择满足自身偏好的可配置产品. 企业也可以以接近大批量生产的成本来组织生产. 然而, 在用户使用产品配置系统的过程中, 可能会产生几个

收稿日期: 2010-03-18

基金项目: 湖南省教育厅基金资助项目 (09C858); 南华大学引进博士科研启动基金资助项目 (2007XQD35)

作者简介: 刘 琼 (1980-), 男, 汉族, 湖南衡阳人, 南华大学机械工程学院讲师, 博士. 主要研究方向: 计算机集成制造系统.

类似的产品配置方案. 这些可行的产品配置方案都能满足用户的需求. 因此, 需要以客户为主体对这几种配置方案进行评价和比较, 从中选出一个整体较优的配置方案. 产品配置方案综合评价的目的是对若干个已经生成的配置方案进行评估与比较, 在这些方案中找出一个用户最为偏好的产品.

1 产品配置方案的评价指标体系与评价方法

评价是指按照预定的目的, 确定研究对象的属性, 并将这种属性变为客观计量的计值或主观效用的行为^[1]. 评价指标是进行评价的依据, 指标选取应遵循多样性、层次性、科学性和可操作性原则^[2]. 产品配置方案评价指标一般可以分为技术指标、经济指标和社会指标^[3].

目前, 国内外提出了多种综合评价方法^[4]. 其中, 层次分析法是一种将定性分析与定量分析相结合, 定性问题定量化的实用决策方法. 层次分析法 (analytic hierarchy process, AHP) 是由美国著名运筹学家匹兹堡大学的 Satty 教授于 20 世纪 70 年代中期提出的. Buckley^[5] 在将模糊集合理论导入传统 AHP 方法的基础上, 又将一致性的概念转化到模糊矩阵中. 以三角模糊数转换专家意见以

形成模糊正倒数矩阵, 然后利用几何平均数方法, 求出模糊权重; 再经由层级串联, 计算待选方案的模糊权重, 最后以待选方案模糊权重的隶属图形排列配置方案的优先级. 本文的模糊层次分析法 FAHP (Fuzzy AHP) 是以 Buckley 的模糊层次分析法为基础, 在进行产品配置方案评价时, 将待选方案的模糊评价通过解模糊化得到精确数值, 进行配置方案的排序.

国内外的许多专家也已经将模糊层次分析法应用于方案的评估和选择, 如文献 [6] 提出用模糊层次分析法进行并联系统的可靠性分配; 文献 [7] 将模糊层次分析法用于桥梁可靠性评估; 文献 [8] 进行了一种基于模糊层次分析法的产业集群综合绩效的测评的研究.

2 产品配置方案的评价模型

2.1 层次结构模型的建立

根据评价指标体系和模糊层次分析法的层次结构模型, 选择客户满意度最高的配置方案作为目标层 A, 将一级指标作为准则层 B, 二级指标作为子准则层 C, 将准备进行评价的配置方案作为配置方案层 D, 以某自行车产品为例构建产品配置方案评价的层次结构模型, 如图 1 所示.

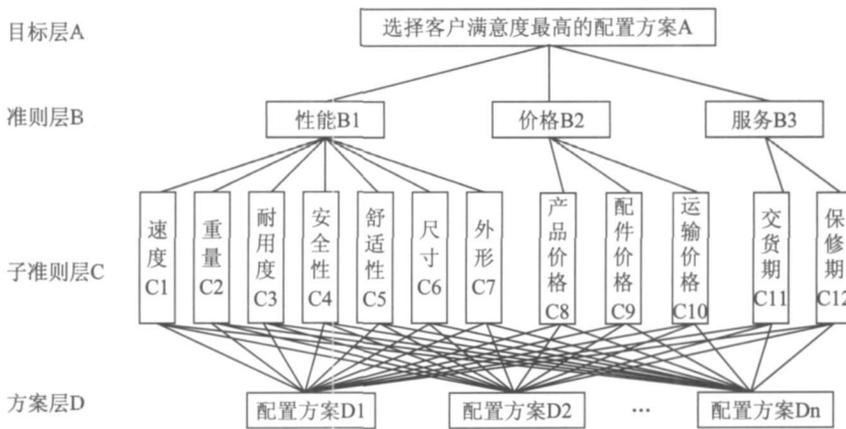


图 1 产品配置方案评价的层次结构

Fig 1 Hierarchy of the evaluation model for product configuration cases

2.2 判断矩阵的构建

根据产品配置方案综合评价的层次结构构建判断矩阵. 判断矩阵中的各个元素表示用户对同一层中的某两个指标相对于上一层指标重要性的评价. 用户可以使用语意变数来表达他对每两个指标的相对重要性的评价, 然后转化为相应的三

角模糊数. 心理学家的研究指出人们区分信息等级的极限能力为 7 ± 2 , 本文中使用了 1-9 标度.

2.3 一致性检验

当评比的因素很接近时, 有可能出现: 甲比乙好, 乙比丙好, 丙又比甲好的矛盾结果. 为了避免这种情况, 就要进行一致性检验. 一致性检验就是

要验算不等式(1)是否成立:

$$CR = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \left(\frac{1}{RI} \right) < 0.1 \quad (1)$$

其中, CR 为一致性比例, λ_{\max} 是判断矩阵的

最大特征值, n 是矩阵阶数, RI 是平均随机一致性指标, RI 与判断矩阵的阶数有关, 表 1 是两者关系对照表^[9].

表 1 矩阵阶数 n 与 RI 的对照表

Table 1 $n - RI$ comparison table

阶数 n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.96	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

通过一致性检验后就可以进行下一步模糊权重的计算, 如果未通过一致性检验则需要用户重新进行评价, 构建新的判断矩阵, 然后再进行一致性检验, 直到通过检验为止.

2.4 模糊权重的计算

设模糊矩阵 A 已经符合判断矩阵的一致性要求, $A = [a_{ij}]$ 为 $n \times n$ 阶的模糊矩阵, 其中元素 a_{ij} 为第 i 个特性相对于第 j 个特性的模糊比较. 假设 a_{ij} 都是三角模糊数 (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij}) .

模糊权重的计算方法如下:

首先计算 A 的每一列的几何平均:

$$r_i = (a_{i1} \cdot a_{i2} \cdot \dots \cdot a_{in})^{\frac{1}{n}} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

指标 i 的权重为: $w_i = r_i / (r_1 + r_2 + \dots + r_n)$

以上计算都是模糊数的加法与乘法, 通常可以利用 α -截集方式进行上面运算, 即:

$${}^{\alpha}r_i = ({}^{\alpha}a_{i1} \cdot {}^{\alpha}a_{i2} \cdot \dots \cdot {}^{\alpha}a_{in})^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

$${}^{\alpha}w_i = {}^{\alpha}r_i / ({}^{\alpha}r_1 + {}^{\alpha}r_2 + \dots + {}^{\alpha}r_n)^{-1} \quad (3)$$

假设所有的 a_{ij} 都为正, 且

$${}^{\alpha}a_{ij} = [(m_{ij} - l_{ij})\alpha + l_{ij}, (m_{ij} - u_{ij})\alpha + u_{ij}] \quad 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (4)$$

设 ${}^{\alpha}r_i = [({}^{\alpha}r_i)_l, ({}^{\alpha}r_i)_u]$, ${}^{\alpha}w_i = [({}^{\alpha}w_i)_l, ({}^{\alpha}w_i)_u]$, 则:

$$({}^{\alpha}r_i)_l = [(m_{i1} - l_{i1})\alpha + l_{i1}] \cdot [(m_{i2} - l_{i2})\alpha + l_{i2}] \cdot \dots \cdot [(m_{in} - l_{in})\alpha + l_{in}]^{\frac{1}{n}} \quad (5)$$

$$({}^{\alpha}r_i)_u = [(m_{i1} - u_{i1})\alpha + u_{i1}] \cdot [(m_{i2} - u_{i2})\alpha + u_{i2}] \cdot \dots \cdot [(m_{in} - u_{in})\alpha + u_{in}]^{\frac{1}{n}} \quad (6)$$

而第 i 个特性的模糊权重的 α -截集区间的两个端点为:

$$({}^{\alpha}w_i)_l = ({}^{\alpha}r_i)_l \cdot [({}^{\alpha}r_1)_l + ({}^{\alpha}r_2)_l + \dots + ({}^{\alpha}r_n)_l]^{-1} \quad (7)$$

$$({}^{\alpha}w_i)_u = ({}^{\alpha}r_i)_u \cdot [({}^{\alpha}r_1)_u + ({}^{\alpha}r_2)_u + \dots + ({}^{\alpha}r_n)_u]^{-1} \quad (8)$$

求得的模糊权重仍然是用三角模糊数来表

示, 首先用 $\alpha = 0$ 代入以上公式, 得到欲求的三角模糊数的 0 切 0w_i ; 然后用 $\alpha = 1$ 代入以上的式子, 得到欲求的三角模糊数的中间值 ${}^1w_{im}$. 假设第 i 个特性的三角模糊数为 (w_{ib}, w_m, w_{iu}) , 则 ${}^0w_i = [{}^0w_{ib}, {}^0w_{iu}]$. 且第 i 列的模糊几何平均的 0 切为 ${}^0r_i = [{}^0r_{ib}, {}^0r_{iu}]$, 则:

$${}^0w_i = [{}^0w_{ib}, {}^0w_{iu}] = [{}^0r_{ib}, {}^0r_{iu}] \cdot ([{}^0r_{1b}, {}^0r_{1u}] + [{}^0r_{2b}, {}^0r_{2u}] + \dots + [{}^0r_{nb}, {}^0r_{nu}])^{-1} = [{}^0r_{ib}, {}^0r_{iu}] \cdot [\sum_{j=1}^n {}^0r_{jb}, \sum_{j=1}^n {}^0r_{ju}]^{-1} \quad (9)$$

$$\text{由于 } {}^0r_{il} = (l_{i1} \cdot l_{i2} \cdot \dots \cdot l_{in})^{\frac{1}{n}} = (\prod_{k=1}^n l_{ik})^{\frac{1}{n}}$$

$${}^0r_{iu} = (u_{i1} \cdot u_{i2} \cdot \dots \cdot u_{in})^{\frac{1}{n}} = (\prod_{k=1}^n u_{ik})^{\frac{1}{n}}$$

代入公式(9)得:

$${}^0w_i [{}^0w_{ib}, {}^0w_{iu}] = \left[\frac{(\prod_{k=1}^n l_{ik})^{\frac{1}{n}}}{\sum_{j=1}^n (\prod_{k=1}^n u_{jk})^{\frac{1}{n}}}, \frac{(\prod_{k=1}^n u_{ik})^{\frac{1}{n}}}{\sum_{j=1}^n (\prod_{k=1}^n l_{jk})^{\frac{1}{n}}} \right] \quad (10)$$

再令 $\alpha = 1$ 可得:

$${}^1w_i = \left[\frac{(\prod_{k=1}^n m_{ik})^{\frac{1}{n}}}{\sum_{j=1}^n (\prod_{k=1}^n m_{jk})^{\frac{1}{n}}} \right] \quad (11)$$

这样, 就可以得到客户对指标 i 的三角模糊数权重系数 $w_i = ({}^0w_{ib}, {}^1w_{im}, {}^0w_{iu})$.

2.5 解模糊化

根据文献[10]所提出的解模糊化公式, 求出各指标权重解模糊化后的值, 并对这些值进行排序. 计算公式如下:

$$r_{wi} = \frac{d^-(\tilde{W}, 0)}{d^-(\tilde{W}, 0) + d^-(\tilde{W}, 1)} \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad 0 \leq r_{wi} \leq 1 \quad (12)$$

其中, r_{wi} 解模糊化后的值, \tilde{W} 为模糊权重值.

2.6 各层总排序及其一致性检验

各判断矩阵求出的是单层指标相对于上一层有关指标的重要性权值,即单层排序.之后还需要由上而下求出各层指标相对于目标层的总排序权重.

$$T_b = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 \\ 1/3 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

表 3 客户对准则层 B 的评价

Table 3 Evaluation to criteria layer B by the client

A-B	性能	价格	服务
性能	(1, 1, 1)	(2, 3, 4)	(4, 5, 6)
价格	(1/4, 1/3, 1/2)	(1, 1, 1)	(2, 3, 4)
服务	(1/6, 1/5, 1/4)	(1/4, 1/3, 1/2)	(1, 1, 1)

第 k 层上各元素对总目标的总排序 $w^{(k)}$ 为:

$$w^{(k)} = U^{(k)} w^{(k-1)} = U^{(k)} U^{(k-1)} \dots U^{(3)} w^{(2)} \quad (13)$$

式中: $U^{(k)}$ 为第 k 层上各元素的单层排序, $w^{(k-1)}$ 为第 k-1 层上各元素的总排序权重, $w^{(2)}$ 为第二层上的元素对目标的排序, 该排序既是单层排序, 也是总排序.

第 k 层的总排序一致性比率为:

$$CR^{(k)} = \frac{[\sum_{j=1}^n w_j^{(k-1)} CI_j^{(k)}]}{[\sum_{j=1}^n w_j^{(k-1)} RI_j^{(k)}]} \quad (14)$$

式中, $w_j^{(k-1)}$ 为第 k-1 层上各元素的总排序权重, $CI_j^{(k)}$ 为第 k 层中某些元素对第 k-1 层上第 j 个元素的单排序一致性指标, $RI_j^{(k)}$ 为对应的平均随机一致性指标.

当 $CR^{(k)} < 0.1$ 时, 说明判断矩阵在第 k 层以上满足整体一致性.

计算得出该矩阵的最大特征值 $\lambda_{max} = 3.0385$, $CR = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} (\frac{1}{RI}) = 0.0333 < 0.1$, 所以该矩阵符合一致性. 利用方根法可求得特征变量为: $W_b = [0.637, 0.258, 0.105]$

然后, 令 $\alpha = 0$ 利用 α -截集, 可得矩阵 T_a 和 T_c 如下:

$$T_a = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 4 \\ 1/4 & 1 & 2 \\ 1/6 & 1/4 & 1 \end{bmatrix} \quad T_c = \begin{bmatrix} 1 & 4 & 6 \\ 1/2 & 1 & 4 \\ 1/4 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$

可求得特征变量为:

$$W_a = [0.637, 0.253, 0.110] \quad W_c = [0.601, 0.259, 0.104]$$

这样, 得出各指标的模糊权重为:

$$\omega_1 = (0.637, 0.637, 0.601)$$

$$\omega_2 = (0.253, 0.258, 0.295)$$

$$\omega_3 = (0.110, 0.105, 0.104)$$

解模糊化值为: $r_{w_1} = 0.625$, $r_{w_2} = 0.269$

$$r_{w_3} = 0.106$$

即为准则层 B 的三个指标相对于目标层 A 的权重.

其余的模糊判断矩阵的计算方法同上. 根据各模糊判断矩阵可以得到各层次指标对上一层中相关指标的相对重要性权值, 即各层次单排序. 然后由上而下进行总排序, 得到 C 层指标对目标层的总排序权重向量为 $\omega^{(3)}$: $(0.1487, 0.0200, 0.1006, 0.0438, 0.2044, 0.0406, 0.0669, 0.1681, 0.0724, 0.0285, 0.0787, 0.0273)^T$. C 层总排序一致性检查: $CR^{(3)} = 0.0187 < 0.1$, 表示第 3 层以上的判断具有满意的整体一致性.

同理可得: D 层总排序权重向量为: $\omega_4 = (0.4101, 0.5899)^T$. $CR^{(4)} = 0 < 0.1$, 表示第 4 层以上的判断具有满意的整体一致性.

根据 $\omega^{(4)}$ 的值可知: 配置方案 2 优于方案 1.

3 实例分析

某客户欲购买一辆自行车, 经过产品配置设计以及客户的初选, 获得 2 个符合客户要求的自行车产品配置方案, 具体配置方案如表 2 所示.

表 2 自行车配置方案

Table 2 Product configuration cases of the bikes

模块	配置方案 I	配置方案 II
车体	折叠车车体	淑女车车体
车把	直把	弯把
车闸	普通型车闸	耐用型车闸
车轮	小轮	大轮
链罩	半链罩	全链罩
传动系	变速型传动系	普通型传动系
车座	普通型车座	舒适型车座
车锁	车锁	车锁
变速系	变速系	无
车筐	车筐	车筐

根据本文提出的评价指标体系和数学模型, 协助用户对配置实例进行模糊综合评价, 以确定最佳配置结果. 首先, 根据用户的评价, 对 2 个自行车产品配置方案构建模糊判断矩阵. 以客户对准则层 B 的评价为例, 如表 3 所示, 分析如下:

首先, 令 $\alpha = 1$ 利用 α -截集, 可得矩阵 T_b 如下:

该结果与实际情况相符合。

4 结论

结合大批量定制环境下产品配置的特点,以客户为评价主体,选择了评价指标,建立了产品配置方案的综合评价体系结构.建立了分层的评价模型,引入模糊集的概念,用于解决用户在对指标重要性进行评价时容易产生混淆的问题,并使用语意变量的方法来获取用户的评价意图.采用了模糊层次分析法对配置方案进行建模和计算,用来选出用户最满意的产品配置方案.以自行车的配置方案评价为实例进行了分析,说明了对配置方案进行综合评价的过程,验证了评价方法的可行性,以及评价模型的合理性.

参考文献:

- [1] 秦寿康. 综合评价原理与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003
- [2] 魏晓鸣. 面向客户的产品族模型理论与方法研究

- [D]. 大连: 大连理工大学, 2006
- [3] 袁长峰. 产品需求分析与配置设计研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2005
- [4] 杜 栋, 庞庆华. 现代综合评价方法与案例精选[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005
- [5] Buckley J J Fuzzy Hierarchy Analysis[J]. Fuzzy Sets and Systems 1985 (17): 233-247.
- [6] 宋保维, 李彩霞, 毛昭勇, 等. 并联系统可靠性分配的模糊层次分析法[J]. 火力与指挥控制, 2009, 34(12): 151-159
- [7] 杨文红. 运用模糊层次分析法进行桥梁可靠性评估[J]. 国防交通工程与技术, 2010(1): 68-70
- [8] 蒋云霞, 刘冬荣, 肖华茂. 基于三角模糊层次分析法的产业集群综合绩效的测评[J]. 统计与决策, 2010(2): 31-33
- [9] 朱铎辉, 吴志军, 张玉峰. 基于层次分析法的供应商评价模型的研究[J]. 计算机应用研究, 2004(6): 91-96
- [10] 汪仲祥. 模糊层级分析法应用于 IC 产业政策选取之研究[D]. 台湾: 国立中山大学, 2003

(上接第 75 页)

由 $u_n(0) = 0$ 可知 $\|u_n(t)\|_{L^\infty(R)} \leq \sqrt{C_2} \|u_n(t)\|_H$. 由 Arzela-Ascoli 定理知, 存在 $\{u_n(t)\}$ 的一个子列 $\{u_{n_k}(t)\}$, 使得在 H 内有 $u_{n_k} \xrightarrow{\text{弱}} g(t); (k \rightarrow \infty)$. 因此 $g(0) = 0$ 并且当 $t \geq 0$ 时, 有 $g(t) \geq 0$ 当 $t \leq 0$ 时, 有 $g(t) \leq 0$ 并且 $g(t)$ 为单增的. 实际上, 用切割粘合的办法可以保证 $g(t)$ 对 t 是单增的. 从而 $E(g) \geq \min_{u \in H} E(u) = e$

又知 $E(g(t))$ 在 H 中具有下半连续性, 即对 H 中的任何弱收敛序列 $\{u_{n_k}(t)\}$ 有 $u_{n_k}(t) \xrightarrow{\text{弱}} g(t), (k \rightarrow \infty)$ 在 H 中成立, 因此 $E(g(t)) \leq \liminf_k E(u_{n_k}) = e$ 从而 $E(g(t)) = \min_{u \in H} E(u) = e$

最后证明 $\lim_{t \rightarrow \pm\infty} g(t) = \pm 1$ 若有 $\lim_{t \rightarrow \pm\infty} g(t) \neq \pm 1$ 则 $\lim_{t \rightarrow \pm\infty} |g(t)| < 1$ 因此 $\sup_{R^+} g(t) < 1$ 但是, 显然

有 $E(g(t)) \geq \int_0^{+\infty} \min_{R^+} F(g(t)) dt = +\infty$, 矛盾!

综上所述, 命题得证.

参考文献:

- [1] Nakashima K. Stable transition layers in a balanced bistable equation[J]. Differential and Integral Equations 2000 13 1025-1038
- [2] Nakashima K. Multi-layered stationary solutions for a spatially inhomogeneous Allen-Cahn equation[J]. J-Differential Equations, 2003, 191: 234-276
- [3] Stanley Akm a Lia Bonsard, Changfeng Gui Stationary layered solutions in for an Allen-Cahn systems with multiple-well potentials[J]. Calculus of Variation and PDE, 1997, 5: 359-390
- [4] Savin O. Small perturbation solutions for elliptic equations Comm [J]. Partial Differential Equations 2007, 32: 557-558
- [5] Gui C. Hamiltonian identity for elliptic partial differential equations[J]. J Funct Annual, 2008, 57: 781-836
- [6] Gui C, Schatzman M. Symmetric quadruple phase transition[J]. Indiana University Mathematical Journal 2008, 57: 781-836