

文章编号: 1006-5911(2010)04-0763-09

质量功能展开中顾客需求重要度确定的粗糙层次分析法

王晓敏, 熊伟*

(浙江大学管理学院, 浙江 杭州 310058)

摘要: 为满足顾客的质量需求, 在融合层次分析法与基于粗糙集理论提出的粗糙数和粗糙区间两个新概念的基础上, 提出了一种质量功能展开中顾客需求重要度确定的粗糙层次分析法。该方法用粗糙数和粗糙边界区间来表征顾客需求的含糊性和不确定性, 并构造出粗糙群决策矩阵和粗糙成对比较矩阵, 通过求解粗糙成对比较矩阵的特征值和特征向量, 得到顾客需求基本重要度。根据市场竞争性分析的结果, 对顾客需求基本重要度进行了适当修正, 确定了顾客需求最终重要度。最后, 通过实例分析了该方法的可行性。

关键词: 质量功能展开; 顾客需求; 层次分析法; 粗糙集理论; 粗糙数; 粗糙边界区间; 重要度

中图分类号: F273.2 **文献标志码:** A

Rough AHP approach for determining the importance ratings of customer requirements in QFD

WANG Xiaomin, XIONG Wei*

(School of Management, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: To satisfy customers' quality requirements, a rough Analytic Hierarchy Process (RAHP) approach to obtain the importance ratings of customer requirements in Quality Function Deployment (QFD) was proposed. RAHP was based on the integration of the AHP and two novel concepts known as rough numbers and rough boundary intervals, which were derived from the basic notions of rough sets. Firstly, rough numbers and rough boundary intervals were utilized to address the vagueness and uncertainty in the decision-making process. Then, the rough group decision-making matrixes and rough pairwise comparison matrixes were constructed. After calculating the eigenvalues and eigenvectors of the rough pairwise comparison matrixes, the fundamental importance ratings were determined. Based on the market competitiveness analysis, the fundamental importance ratings were modified and the final importance ratings of the customer requirements were obtained. The RAHP method provided a new approach for analyzing and determining customer requirements and their weights in QFD. Finally, an example was given to illustrate the feasibility of the proposed method.

Key words: quality function deployment; customer requirements; analytic hierarchy process; rough sets theory; rough numbers; rough boundary intervals; importance ratings

1 问题描述

在当前经济危机的大背景下, 顾客在买卖双方的关系对比中占据着越来越主动的地位, 甚至此前一些

处于卖方市场的企业也不得不开始注意聆听顾客的声音, 重视顾客的需求。更高的顾客满意度、更低的成本, 以及更短的产品开发周期, 已成为企业赢得竞争优势的关键。而这三个因素在很大程度上又都决

收稿日期: 2009-05-04; 修订日期: 2009-09-07。Received 04 May 2009; accepted 07 Sep. 2009.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(90718038, 70472056); 浙江省自然科学基金资助项目(Y7080086)。Foundation items Project supported by the National Natural Science Foundation, China(No. 90718038, 70472056), and the Natural Science Foundation of Zhejiang Province, China(No. Y7080086).

作者简介: 王晓敏(1984-), 男, 甘肃天水人, 浙江大学管理学院博士研究生, 主要从事质量工程与管理、产品设计与开发管理的研究。

E-mail: wangxt84@gmail.com; * 通信作者 E-mail: zjuquality@yahoo.com.cn.

定于产品的开发设计阶段,取决于所开发的产品是否能真正满足顾客需求。由赤尾洋二教授提出的质量功能展开(Quality Function Deployment, QFD)是顾客驱动的产品设计方法,是将顾客需求转换为产品设计过程的一系列技术规范,是以市场为导向,以顾客需求为依据,确保在产品的研发、设计和制造等阶段听到顾客的声音,在开发初期就对产品的质量和适用性实施全方位保证的系统方法^[1-3]。在不同国家多个行业的实际应用表明, QFD 能在一定程度上缩短产品的研发周期,增强内部沟通,提升产品质量,提高顾客满意度,并最终提升企业绩效^[2]。

一般产品都具有多项重要程度不同的顾客需求,如何识别重要程度较高的顾客需求以供决策者参考,是 QFD 的关键问题之一。产品复杂度越高,其顾客需求也越多,层次也越复杂,需求重要度确定的难度也越大。在获取相关顾客需求并准确计算其优先排序的基础上,厂商可以有的放矢地设计和开发能满足顾客需求的产品,进而获得更大的竞争优势^[4]。

1.1 常用要求重要度确定方法及其不足

通常, QFD 中顾客需求基本重要度的确定分三个步骤: ① 获取顾客需求; ④ 将其结构化或层次化; ④ 确定顾客需求的权重^[5]。实际上,多数决策者在制定决策时,很难同时兼顾众多因素。因此,在进行需求重要度评判,尤其当所开发的是具有多项需求的复杂产品时,有必要将顾客需求按层次分解为决策人员较易掌握的子需求,以使决策人员充分理解并给出最合理的评判。层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)既可以使复杂的顾客需求层次化,便于决策者进行评判,又能检验结果的一致性,因此在 QFD 研究中得到大量应用^[6-7]。

然而,顾客需求重要度的评判不可避免地包含了大量含糊而多语义的不确定信息,其本质上是模糊的。为准确刻画 QFD 的内在模糊性,文献[8]首次将模糊集理论引入 QFD 的研究中。此后,大量文献探讨了用模糊理论与群决策方法来确定多粒度多语义的顾客需求重要度^[9-11]。至今,应用模糊集理论来提高 QFD 分析结果准确性的研究仍是热点^[12]。模糊语言用于顾客意见的表达有一定的优势^[13],但也存在一些问题: ① 模糊数的边界区间是

固定的,即模糊集理论假设顾客对事物的认知差异是等距的,这并不能反映顾客的真实感知^[14]; ④ 应用模糊理论需要事先确定隶属函数,而确定它们通常是基于个人判断和经验,存在一定的主观性和不确定性^[15]。为了简便,许多研究者常选择三角形、梯形或钟形等较为简单的模糊数,很少评判其选择的合理性和恰当性^[16-17]。这两方面的因素使得在某些情况下应用模糊集理论来确定基本重要度可能是不准确的。

网络分析法(Analytic Net Process, ANP)能更好地处理决策属性和备选方案之间的交互性,因此受到相关研究者的关注^[18-19]。但其应用难点在于:网络中各元素数目的增加将导致所需评判的成对比较矩阵和成对比较问题的数量呈几何倍数增大。此外,传统 AHP 和 ANP 都不能准确反映顾客需求的模糊性,模糊理论的引入能在一定程度上克服 AHP 和 ANP 的局限^[5,20],但由于模糊理论自身的一些不足,使得用模糊 AHP 和 ANP 理论来确定需求重要度可能有偏差。

粗糙集(rough sets)理论能更深刻地洞察顾客的真实感知,并能被用来对顾客需求进行优先排序,因此成为 QFD 研究的新热点^[14,21-22]。然而,当所开发的是需求条目众多的复杂产品时,粗糙集的应用将有一定困难。若产品有四个需求,则决策表需要顾客做出 37 次以上的评判^[21]。如果产品复杂度进一步提高,则处理的难度将大大增加,例如某产品有 18 条需求,则决策表将是至少 20 列、几百行之巨,需要顾客进行数百次评判,耗时耗力,可能导致顾客对调查产生厌烦和不理解。虽可通过属性约简降低复杂度,但计算量仍很繁重,可行性不大。此外,当前用粗糙集理论来确定顾客需求重要度的研究,在获得顾客需求,即顾客满意度水平决策表时,仅假设所调查的顾客意见基本一致,而未考虑多个顾客意见不一致的群决策情况^[21-22]。在制定决策时,由于人们的背景和知识水平各异,决策的结果倾向于基本不一致而非基本一致^[23]。这些因素都使得单独用粗糙集来确定顾客需求重要度在某些情况下可能有偏差。

1.2 问题解决思路

如前所述, AHP 易于操作,尤其适用于较为复杂的顾客需求分析,但 AHP 本身无法应对顾客语

言的含糊和主观性。粗糙集理论的优势在于无需提供除问题所需处理的数据集合外的任何先验信息,能很好地解决上述问题,但难以应对多决策者多需求的情况。因此,本文引入基于粗糙集理论提出的粗糙数(Rough Number, RN)和粗糙边界区间(Rough Boundary Intervals, RBI)两个概念于AHP的分析过程,提出融合二者优点的粗糙层次分析法(Rough Analytic Hierarchy Process, RAHP)。首先,将顾客需求层次化;其次,通过调查获得顾客对某个层次需求重要度的评判结果(AHP成对比较矩阵);再将AHP成对比较矩阵转化为粗糙群决策矩阵,继而求解群决策矩阵中对应元素的粗糙数和粗糙边界区间,得到粗糙成对比较矩阵;通过求解粗糙成对比较矩阵的特征值和特征向量,获得该层次顾客需求的重要度;在求出其他层次需求的重要度后进行合成,得到产品的顾客需求基本重要度;最后,根据市场竞争性分析结果,对顾客需求基本重要度进行适当修正,得到产品的顾客需求最终重要度。

2 粗糙集、粗糙数与粗糙边界区间

粗糙集理论是由波兰学者Pawlak于1982年提出的一种数据分析理论,它是一种刻画不完整和不确定性的数学工具,能有效地分析和处理不精确、不确定和不完整的各种不完备信息^[24]。与模糊集、证据理论和概率统计理论等不同,粗糙集理论的公理系统是纯客观的,无需提供除问题所需处理的数据集合外的任何先验信息。利用粗糙集理论处理含糊和不确定性的最大优势,就在于它将含糊和不确定性描述为集合的边界区域而不是隶属函数的形式。

粗糙数和粗糙边界区间是基于粗糙集的基本原理而提出的两个新概念^[14],这两个概念能处理顾客需求的不分明性和主观性。粗糙数与模糊数形式相似,都是一组包含上下限的闭区间。两者的区别在于粗糙数的上下限是从所收集的数据中计算得出的,而非隶属函数那样预先设定为某个固定值。与传统模糊数处理方法相比,粗糙数有两大优势^[14]:

①由粗糙数得出的顾客需求信息能更好地反映顾客的真实感知,并保持了原始数据的客观性;②粗糙数不但考虑了单个顾客的感知,也兼顾了其他顾客的意见,粗糙数得出的顾客需求重要度更具整体感。

如前所述,QFD分析过程常需面对由顾客感知的需求和由专家评判的技术要素等,而这些信息往往不精确且通常都是以重要程度先后顺序的形式体现。传统的粗糙集方法中,其决策表的决策分类是没有顺序关系的,决策的归属也没有实际的物理意义。因此,传统的粗糙集理论很难处理这类序列型的数据,而粗糙数和粗糙边界区间则能用来应对不分明和不确定性的决策属性重要度排序问题。因此,本文借助粗糙数的概念来表征QFD中含糊的设计信息,并融合AHP,研究基于粗糙AHP的顾客需求重要度排序方法。

定义1 粗糙近似集。设 U 是对象的非空有限集合,称为论域; Y 是 U 中任意一个对象; U 中所有对象都属于 n 个划分,在 U 中定义一个集合 $R = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ 。如果这 n 个划分有 $C_1 < C_2 < \dots < C_n$ 的顺序关系,则对于其中任何一个划分 $C_i \in R, 1 \leq i \leq n$,其下近似集可以定义为

$$\underline{Apr}(C_i) = \cup \{Y \in U/R(Y) \leq C_i\}, \quad (1)$$

而 C_i 的上近似集可以定义为

$$\overline{Apr}(C_i) = \cup \{Y \in U/R(Y) \geq C_i\}. \quad (2)$$

相应地,边界区域可由下式给出:

$$\begin{aligned} Bnd(C_i) &= \cup \{Y \in U/R(Y) \neq C_i\} \\ &= \{Y \in U/R(Y) > C_i\} \cup \{Y \in U/R(Y) < C_i\}. \end{aligned} \quad (3)$$

定义1用上下近似集来描述序列型划分。例如,对于集合 R 中的任一划分 C_i ,其下近似集包含了决策表中顺序低于或等于 C_i 的所有对象;而上近似集包含了同样的决策表中顺序等于或大于 C_i 的所有对象; C_i 的边界区域包含了同样的信息表中顺序不同于 C_i 的所有对象。基于上述定义,粗糙数、粗糙数的上下边界,以及粗糙边界区间可定义如下:

定义2 粗糙数和粗糙边界区间。根据上述定义,论域上的任何一个含糊划分 C_i 可用其粗糙数来表示,粗糙数由粗糙上限($\overline{Lim}(C_i)$)和下限($\underline{Lim}(C_i)$)组成,用数学形式表示为

$$\underline{Lim}(C_i) = \frac{1}{M_L} \sum R(Y) \mid Y \in \underline{Apr}(C_i), \quad (4)$$

其中 M_L 是 C_i 的下近似集所包含的对象数目。

类似地,

$$\overline{Lim}(C_i) = \frac{1}{M_U} \sum R(Y) \mid Y \in \overline{Apr}(C_i), \quad (5)$$

其中 Mv 是 C_i 的上近似集所包含的对象数目。

则上下限之间的区间称为粗糙边界区间, 记为 $RBnd(C_i)$,

$$RBnd(C_i) = \overline{Lim}(C_i) - \underline{Lim}(C_i). \quad (6)$$

通过定义 2, 论域上一个不分明划分可以用包含上下限的粗糙数来表示:

$$RN(C_i) = [\underline{Lim}(C_i), \overline{Lim}(C_i)]. \quad (7)$$

显然, 一个划分的粗糙边界区间描述了所讨论划分的含糊性(vagueness), 粗糙边界区间越大说明该划分越含糊。

与具有固定区间的模糊数相比, 粗糙数具有灵活的边界区间, 在保持原始数据客观性的同时更好地反映了顾客主观而含糊的认识。此外, 从粗糙数的上述计算过程可知, 一个粗糙数的求取考虑了该上(下)近似集所包含的全部对象, 这些对象即对应参与调查的所有顾客对该项需求的重要度评判值。说明粗糙数不仅反映单个顾客对某项需求的评价, 还能兼顾其他顾客的意见, 以粗糙区间形式反映的顾客需求是所调研顾客群对该项需求的整体认知, 其结果更具整体感。

3 顾客需求重要度确定的粗糙层次分析法

本文将上述粗糙数和粗糙边界区间两个概念整合于 AHP 的分析过程, 提出融合二者优点的 RAHP。首先, 用粗糙数来表征和处理用 AHP 问卷收集的数据, 继而构建粗糙成对比较矩阵, 最后计算顾客需求重要度。RAHP 的应用步骤如图 1 所示。

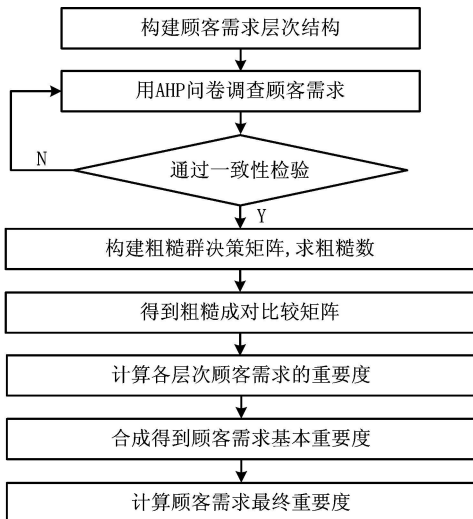


图1 粗糙层次分析法的应用步骤

具体过程说明如下:

步骤 1 构建顾客需求层次结构。一般可将顾客需求分为三个层次。第一层次的需求较为宽泛, 再将其细分为第二层次, 第三层次则是细致的顾客需求。为保证评判时的一致性, 需要将每个准则包含的子准则的数目控制在 9 个以内。对于复杂度高的产品, 可根据情况适当增加层级数。

步骤 2 制作 AHP 问卷, 调查顾客的意见, 获得成对比较矩阵。以第一层次的需求 N_i 为例, 假设有 s 个顾客参与评判, 共得到 s 份 AHP 问卷:

$$A_i = \begin{bmatrix} 1 & x_{12}^i & \dots & x_{1n}^i \\ x_{21}^i & 1 & \dots & x_{2n}^i \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1}^i & x_{n2}^i & \dots & 1 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

其中 $i \in [1, s]$ 。

在获得这 s 个成对比较矩阵后, 有必要对其进行一致性检验。一致性指数(CI)可由方程 $CI = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1)$ 求得^[5]。其中: λ_{\max} 是矩阵 A 的最大特征值, n 是矩阵的维数。通常, 用一致性比率(CR)来评估成对比较矩阵的一致性, $CR = CI/RI$ 。其中 RI 称为随机指数, 取决于矩阵的维数 n 。当 $CR > 0.1$ 时, 需要重新进行评判, 否则即认为判断是一致的。

步骤 3 构建粗糙群决策矩阵, 求得矩阵中元素的粗糙数。若这 s 个矩阵通过了一致性检验, 则为了用粗糙数进行处理, 先要构建如下粗糙群决策矩阵:

$$A^* = \begin{bmatrix} 1 & X_{12}^* & \dots & X_{1n}^* \\ X_{21}^* & 1 & \dots & X_{2n}^* \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{n1}^* & X_{n2}^* & \dots & 1 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

其中 $X_{12}^* = \{x_{12}^1, x_{12}^2, \dots, x_{12}^s\}$ 。依此类推。

以 X_{12}^* 为例, 运用式(1)~式(7)可求得 X_{12}^* 所包含的由 s 个顾客评价数据对应的粗糙数,

$$RN(x_{12}^i) = [x_{12}^i, x_{12}^i]. \quad (10)$$

其中 $i \in [1, s]$ 。则有

$$RN(X_{12}^*) = \{[x_{12}^1, x_{12}^1], [x_{12}^2, x_{12}^2], \dots, [x_{12}^s, x_{12}^s]\}. \quad (11)$$

值得注意的是, 粗糙数的运算法则与模糊数学及区间数学的运算法则类似^[15]。

假设 $RN_i = [L_i, U_i]$ 和 $RN_j = [L_j, U_j]$ 是两个粗糙数, 其中 L_i 和 L_j 是两者的下限, 而 U_i 和 U_j 是两

者的上限。 $L_i, L_j, U_i, U_j \in R^+, k$ 为非零常数, 则有:

$$\begin{aligned} RN_i + RN_j &= [L_i, U_i] + [L_j, U_j] \\ &= [L_i + L_j, U_i + U_j], \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} RN_i - RN_j &= [L_i, U_i] - [L_j, U_j] \\ &= [L_i - L_j, U_i - U_j], \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} RN_i \times RN_j &= [L_i, U_i] \times [L_j, U_j] \\ &= [L_i \times L_j, U_i \times U_j], \end{aligned} \quad (14)$$

$$k \times RN_i = k \times [L_i, U_i] = [kL_i, kU_i]. \quad (15)$$

根据上述运算法则, 可求得平均粗糙区间为

$$RN(X_{12}) = [x_{12}^-, x_{12}^+]. \quad (16)$$

其中:

$$\begin{aligned} x_{12}^- &= (x_{12}^{1-} + x_{12}^{2-} + \dots + x_{12}^{n-})/s, \\ x_{12}^+ &= (x_{12}^{1+} + x_{12}^{2+} + \dots + x_{12}^{n+})/s. \end{aligned} \quad (17)$$

步骤 4 得到粗糙成对比较矩阵。在求得粗糙群决策矩阵中各元素的粗糙数和粗糙区间后, 构造粗糙成对比较矩阵

$$X = \begin{bmatrix} [1, 1] & [x_{12}^-, x_{12}^+] & \dots & [x_{1n}^-, x_{1n}^+] \\ [x_{21}^-, x_{21}^+] & [1, 1] & \dots & [x_{2n}^-, x_{2n}^+] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ [x_{n1}^-, x_{n1}^+] & [x_{n2}^-, x_{n2}^+] & \dots & [1, 1] \end{bmatrix}. \quad (18)$$

其中: $[x_{ij}^-, x_{ij}^+]$ 是一个粗糙数, x_{ij}^-, x_{ij}^+ 分别为其上下限。

步骤 5 计算各层次的顾客需求重要度。将 X 分解为粗糙下边界矩阵 X^- 和粗糙上边界矩阵 X^+ :

$$\begin{aligned} X^- &= \begin{bmatrix} 1 & x_{12}^- & \dots & x_{1n}^- \\ x_{21}^- & 1 & \dots & x_{2n}^- \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1}^- & x_{n2}^- & \dots & 1 \end{bmatrix}, \\ X^+ &= \begin{bmatrix} 1 & x_{12}^+ & \dots & x_{1n}^+ \\ x_{21}^+ & 1 & \dots & x_{2n}^+ \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1}^+ & x_{n2}^+ & \dots & 1 \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (19)$$

分别求其特征值和特征向量, 得到对应于各自矩阵的顾客需求重要度^[5, 7, 23]:

$$\begin{aligned} W &= [w_1^-, w_2^-, \dots, w_n^-]^T, \\ \bar{W} &= [w_1^+, w_2^+, \dots, w_n^+]^T. \end{aligned} \quad (20)$$

做规范化处理:

$$f_i^- = w_i^- / \sum_{i=1}^n w_i^-, f_i^+ = w_i^+ / \sum_{i=1}^n w_i^+. \quad (21)$$

得到第一层次需求 N_i 的顾客需求重要度

$$f(N_i) = \frac{1}{2}(1 f_i^- + 1 f_i^+). \quad (22)$$

类似地, 可得到其他各层次需求的重要度。

步骤 6 合成得到顾客需求基本重要度。将步骤 5 计算得到的各层次需求的重要度“层级串联”, 即将各层次的顾客需求重要度与其对应子层次的顾客需求重要度相乘, 即可得到该产品的全部顾客需求的基本重要度。

$$f^*(CR_i) = f(N_i) \times f(T_i) \times f(CR_i). \quad (23)$$

式中: $f(N_i), f(T_i), f(CR_i)$ 分别为第一、二、三层次需求的重要度; $f^*(CR_i)$ 为顾客需求基本重要度。

步骤 7 计算顾客需求最终重要度。将顾客需求基本重要度与市场竞争性分析结果结合, 可得到顾客需求的最终重要度

$$\begin{aligned} fid(CR_i) &= f^*(CR_i) \times CPD(CR_i) \times \\ &IR(CR_i) \times SP(CR_i). \end{aligned} \quad (24)$$

式中: $fid(CR_i)$ 为顾客需求 CR_i 的最终重要度, $CPD(CR_i)$ 为 CR_i 的竞争优势排序, $IR(CR_i)$ 为 CR_i 的水平提高率, $SP(CR_i)$ 为产品的营销亮点。有关这部分内容的讨论详见文献[25]和文献[26], 限于篇幅, 这里不再详述。

最后, 经规范化处理, 得到顾客需求的最终重要度

$$FID(CR_i) = \frac{fid(CR_i)}{\sum_{i=1}^n fid(CR_i)} \times 100\%. \quad (25)$$

运用 RAHP 对 QFD 中的顾客需求重要度进行排序, 可消除其不一致性; 又由于给出了具体数值而避免了比较时的粗糙, 使其计算更加准确。而且用 RAHP 得出的需求基本重要度没有任何先验假设, 其结果来源于实际调查结果的计算, 保证了数据的客观性。

4 仿真案例

4.1 粗糙层次分析法的应用

为验证所提方法的有效性, 本文用文献[5]所采用的吹风机为例加以研究。根据 RAHP 的步骤逐步进行, 限于篇幅, 仅给出其中的重要步骤和结果。

步骤 1 将问题分解, 构建顾客需求层次结构。在获得顾客对吹风机的原始需求后, 可用亲和图、树

图和聚类分析等使顾客需求层次化^[25]。在吹风机的设计开发中有 19 项顾客需求, 经过聚类与亲和图法分析, 将其结构化为四个层次。吹风机的顾客需求层次结构如图 2 所示。

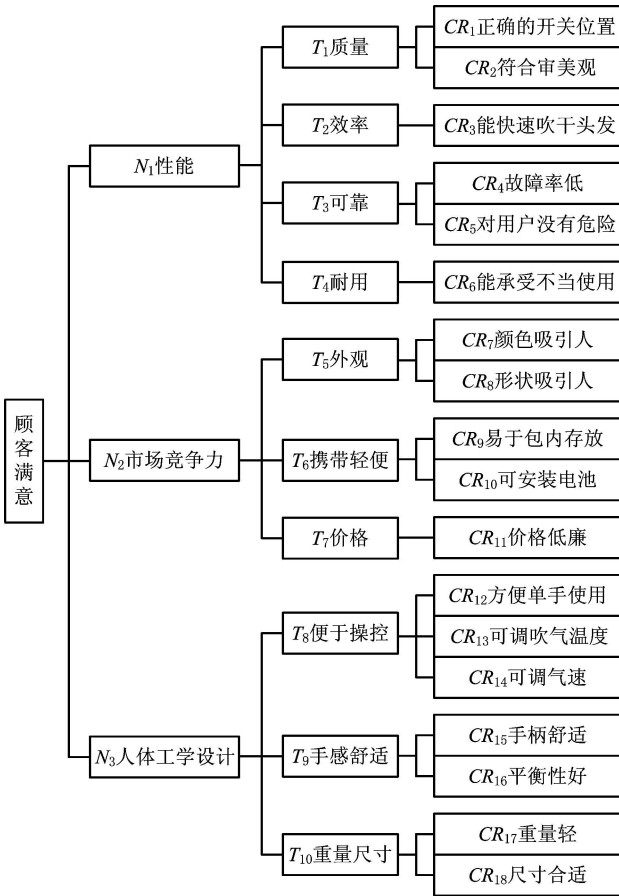


图2 吹风机的顾客需求层次结构

步骤 2 调查顾客意见, 获得 AHP 成对比较矩阵。在本研究中, 假设有 5 个顾客参与需求重要度评判, 则可获得 5 份 AHP 评判结果。对于第一层次顾客需求 $N_1 \sim N_3$, 得到 5 个 AHP 成对比较矩阵:

$$A_{11} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ & 1 & 2 \\ & & 1 \end{bmatrix}, A_{12} = \begin{bmatrix} 1 & 4 & 5 \\ & 1 & 2 \\ & & 1 \end{bmatrix},$$

$$A_{13} = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 \\ & 1 & 3 \\ & & 1 \end{bmatrix}, A_{14} = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 4 \\ & 1 & 2 \\ & & 1 \end{bmatrix},$$

$$A_{15} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 4 \\ & 1 & 3 \\ & & 1 \end{bmatrix}。$$

根据一致性判断公式 $CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$ 和

$CR = CI / RI$, 分别求得上述 5 个矩阵的一致性比率: $CR_1 = 0.01$, $CR_2 = 0.02$, $CR_3 = 0.04$, $CR_4 = 0.02$, $CR_5 = 0.02$ 。可见, CR 值均小于 0.1, 说明这些顾客的评判具备一致性。

步骤 3 构建粗糙群决策矩阵, 求得矩阵中元素的粗糙数。将上述 5 个 AHP 矩阵表示成粗糙群体决策矩阵的形式:

$$A_i^* = \begin{bmatrix} 1, 1, 1, 1, 1 & 2, 4, 3, 3, 2 & 3, 5, 5, 4, 4 \\ \frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2} & 1, 1, 1, 1, 1 & 2, 2, 3, 2, 3 \\ \frac{1}{3}, \frac{1}{5}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4} & \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2}, \frac{1}{3} & 1, 1, 1, 1, 1 \end{bmatrix}。$$

现以 X_{12}^* 为例, 根据式(1)~式(7) 计算其中“划分 2”的粗糙数。

对于 $X_{12}^* = \{2, 4, 3, 3, 2\}$, 有

$$\underline{Lim}(2) = (R(x_{12}^2) + R(x_{12}^3)) / 2 = 2.000,$$

$$\overline{Lim}(2) = (R(x_{12}^1) + R(x_{12}^2) + R(x_{12}^3) + R(x_{12}^4) + R(x_{12}^5)) / 5 = 2.8,$$

$$\text{则粗糙边界区间为 } RBnd(2) = \overline{Lim}(2) - \underline{Lim}(2) = 0.800,$$

$$\text{因此, 粗糙数为 } RN(2) = [\underline{Lim}(2), \overline{Lim}(2)] = [2.000, 2.800]。$$

同理, 可以求出 X_{12}^* 中“划分 3”和“划分 4”对应的粗糙数:

$$RN(3) = [\underline{Lim}(3), \overline{Lim}(3)] = [2.500, 3.333],$$

$$RN(4) = [\underline{Lim}(4), \overline{Lim}(4)] = [2.800, 4.000]。$$

则有

$$RN(X_{12}^*) = \{[\underline{Lim}(2), \overline{Lim}(2)], [\underline{Lim}(4), \overline{Lim}(4)], [\underline{Lim}(3), \overline{Lim}(3)], [\underline{Lim}(3), \overline{Lim}(3)], [\underline{Lim}(2), \overline{Lim}(2)]\} = \{[2.000, 2.800], [2.800, 4.000], [2.500, 3.333], [2.500, 3.333], [2.000, 2.800]\}。$$

根据粗糙数的运算法则(12)~(15)和式(16)~式(17), 可得 X_{12}^* 的平均粗糙区间

$$RN(X_{12}) = [2.360, 3.253]。$$

类似地, 根据式(1)~式(7) 可求出群体决策矩阵中所有元素的粗糙数和平均粗糙区间。

步骤 4 得到粗糙成对比较矩阵。基于上述粗糙数和平均粗糙区间, 依式(18) 构造顾客需求 $N_1 \sim N_3$ 的粗糙成对比较矩阵

$$X_1 = \begin{bmatrix} [1, 1] & [2\ 360, 3\ 253] & [3\ 747, 4\ 640] \\ [0\ 322, 0\ 444] & [1, 1] & [2\ 160, 2\ 640] \\ [0\ 304, 0\ 436] & [0\ 391, 0\ 468] & [1, 1] \end{bmatrix}。$$

步骤 5 计算各层次顾客需求的重要度。依式(19)将上述矩阵拆解为粗糙下边界矩阵 X^- 和粗糙上边界矩阵 X^+ :

$$X_1^- = \begin{bmatrix} 1 & 2\ 360 & 3\ 747 \\ 0.322 & 1 & 2\ 160 \\ 0.304 & 0\ 391 & 1 \end{bmatrix},$$

$$X_1^+ = \begin{bmatrix} 1 & 3\ 466 & 4\ 640 \\ 0.444 & 1 & 2\ 640 \\ 0.436 & 0\ 468 & 1 \end{bmatrix}。$$

分别求其特征值与特征向量, 可得对应于该矩阵的顾客需求重要度。一般地, 矩阵 A 的特征值可通过方程 $\det(A - \lambda I) = 0$ 求得, 也可用 MATLAB 软件包的 $[V, D] = \text{eig}(A)$ 命令求得。对于粗糙下边

界矩阵 X^- , 求得其三个特征值: $\lambda_1 = 2.945, \lambda_2 = 0.028 + 0.306i, \lambda_3 = 0.028 - 0.306i$ 。

显然 λ_1 是最大的特征值, 则其对应的特征向量可通过方程 $AX = \lambda X$ 求得:

$$X_1 = (0.894\ 4, 0.390\ 5, 0.218\ 3)^T。$$

同样, 可求得粗糙上边界矩阵 X^+ 的最大特征值和特征向量分别为:

$$\lambda_{\max} = 3.5858\ 0,$$

$$X_2 = (0.895\ 2, 0.385\ 7, 0.223\ 1)^T。$$

用式(21)规范化后, 有:

$$[f_1^-, f_2^-, f_3^-] = [0.595\ 0, 0.259\ 8, 0.145\ 2],$$

$$[f_1^+, f_2^+, f_3^+] = [0.595\ 2, 0.256\ 5, 0.148\ 3]。$$

用式(22)得到第一层次顾客需求的重要度为:

$$[f_1, f_2, f_3] = [0.595\ 1, 0.258\ 1, 0.146\ 8]。$$

类似地, 可用上述方法求得第二、第三层次顾客需求的重要度如表 1 所示。

表 1 吹风机的顾客需求重要度

N_i 重要度	T_i 重要度	CR_i 重要度	$f^*(CR_i)$	$CPD(CR_i)$	$IR(CR_i)$	$SP(CR_i)$	$fid(CR_i)$	$FID(CR_i)$
性能(0.595 1)	质量(0.263 0)	正确的开关位置(0.779 3)	0.122 0	1.25	1.10	1.00	0.167 7	12.371
		符合审美观(0.220 7)	0.034 5	1.50	1.33	1.20	0.082 7	6.099
	效率(0.113 9)	能快速吹干头发(0.269 7)	0.018 3	1.00	1.00	1.00	0.018 3	1.349
	可靠(0.421 5)	故障率低(0.297 4)	0.074 6	1.00	1.00	1.20	0.089 5	6.603
		对用户没有危险(0.702 6)	0.176 2	1.50	1.00	1.20	0.317 2	23.400
耐用(0.201 6)	能承受不当使用(0.102 0)	0.012 2	1.50	1.00	1.00	0.018 4	1.354	
市场竞争力 (0.258 1)	外观(0.552 1)	颜色吸引人(0.569 1)	0.081 1	1.00	1.35	1.20	0.131 4	9.691
		形状吸引人(0.430 9)	0.061 4	1.25	1.65	1.50	0.190 0	14.012
	携带轻便(0.278 3)	易于包内存放(0.331 1)	0.023 8	1.25	1.33	1.00	0.039 5	2.917
		可安装电池(0.668 9)	0.048 0	1.00	1.00	1.00	0.048 0	3.544
	价格(0.169 6)	价格低廉(0.169 6)	0.007 4	1.00	1.00	1.20	0.008 9	0.657
人体工学设计 (0.146 0)	便于操控(0.163 9)	方便单手使用(0.545 5)	0.013 1	1.00	1.10	1.00	0.014 4	1.065
		可调吹气温度(0.264 1)	0.006 4	1.25	1.10	1.00	0.008 7	0.645
		可调风速(0.190 4)	0.004 6	1.25	1.33	1.00	0.007 6	0.562
	手感舒适(0.272 4)	手柄舒适(0.718 3)	0.028 7	1.50	1.10	1.50	0.071 1	5.244
		平衡性好(0.281 7)	0.011 3	1.00	1.10	1.00	0.012 4	0.914
重量尺寸(0.563 7)	重量轻(0.745 2)	0.061 7	1.00	1.65	1.00	0.101 7	7.505	
	尺寸合适(0.254 8)	0.021 1	1.00	1.33	1.00	0.028 0	2.069	

步骤 6 合成得到顾客需求基本重要度。得到各层次顾客需求的重要度后, 用式(23)即可合成得到吹风机的顾客需求基本重要度, 如表 1 中 $f^*(CR_i)$ 列所示。

步骤 7 计算顾客需求最终重要度。构建质量屋的另一个重要步骤是进行市场竞争性分析, 即要通过与竞争对手产品的比较, 获得关于每项顾客需求的竞争优势排序和水平提高率方面的数据。本案

例的竞争性评估如表 1 中 $CPD(CR_i)$, $IR(CR_i)$ 和 $SP(CR_i)$ 三列所示, 则根据式(24)和式(25)可求得顾客需求的最终重要度, 如表 1 最右边两列所示。

为使本企业产品在竞争激烈的市场中获得成功, QFD 团队必须对那些拥有更大的最终重要度的顾客需求给予更多考虑和资源, 保证优先满足这些需求。

4 2 讨论

相比传统方法, 本文所提的 RAHP 无需所得数据之外的任何先验信息, 如主观判断、假设或成员隶属函数等, 其结果来源于实际调查结果的计算, 保证了数据的客观性。RAHP 从原始数据着手, 发现隐含的信息, 体现了知识挖掘的本质。粗糙数对不精确的信息用包含上下限的粗糙边界区间的形式来表示, 而其上下限则是直接从所收集的原始数据中计算得出。说明粗糙数能发现数据中隐含的不确定性和含糊性, 而且粗糙边界区间更灵活, 不像模糊区间那样假设所有的认知差别都是等距的。

与其他方法相比, 通过 AHP 的层级分解和粗糙数及粗糙区间的计算, RAHP 方法能有效处理多决策者多需求的情形。由粗糙数得出的需求重要度评价能更好地反映顾客的真实感知, 尤其体现了所调查顾客群的整体认知, 其结果的说服力和接受度可能更高。

5 结束语

本文在传统方法的基础上, 首次将基于粗糙集理论提出的粗糙数和粗糙边界区间两个概念引入 AHP 的分析过程, 提出融合二者优点的 RAHP: 首先, 将由 AHP 问卷调查所得数据转化为粗糙群决策矩阵; 其次计算该矩阵元素的粗糙数和粗糙边界区间, 得到粗糙成对比较矩阵; 再求解粗糙成对比较矩阵的特征值和特征向量, 获得各层次顾客需求的重要度; 通过将各层次需求的重要度“层级串联”, 得到顾客需求基本重要度; 最后, 将其与市场竞争性分析的结果整合, 确定产品的顾客需求最终重要度。通过 RAHP, 可以有效处理多个决策者参与的群决策情形, 并最终得到顾客需求的优先排序, 该方法能更准确地刻画顾客的感知和需求评判的不确定性。

实例表明, RAHP 的算法简便易行, 尤其适用

于多个决策者参与的、包含多项顾客需求的复杂产品开发, 能在一定程度上提高 QFD 团队的工作效率和准确度。

参考文献:

- [1] AKAO Y. Quality function deployment[M]. Cambridge, Mass, USA: Productivity Press, 1990.
- [2] CHAN L K, WU M L. Quality function deployment: a literature review[J]. European Journal of Operational Research, 2002, 143(3): 463-497.
- [3] HOUSER JR, CLOUSING D. The house of quality[J]. Harvard Business Review, 1988, 66(3): 63-73.
- [4] TANG J F, FUNG R Y K, XU B D, et al. A new approach to quality function deployment planning with financial consideration[J]. Computer and Operation Research, 2002, 29(11): 1447-1463.
- [5] KWONG C K, BAI H. Determining the importance weights for the customer requirements in QFD using a fuzzy AHP with an extent analysis approach[J]. IIE Transactions, 2003, 35(7): 619-626.
- [6] HO W. Integrated analytic hierarchy process and its applications—a literature review[J]. European Journal of Operational Research, 2008, 186(1): 211-228.
- [7] LIU Hongen, ZHANG Lieping, CHE Ada, et al. Improved quality function deployment(II)—a systematic approach[J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 2000, 20(2): 58-62(in Chinese). [刘鸿恩, 张列平, 车阿大, 等. 改进的质量功能展开(II)—系统方法[J]. 系统工程理论与实践, 2000, 20(2): 58-62.]
- [8] KRASLAWSKI A, KOIRANEN T, NYSTROM L. Concurrent engineering: robust design in fuzzy environment[J]. Computers and Chemical Engineering, 1993, 17(S1): 447-452.
- [9] YANG Mingshun, LIN Zhihang. Method to determine importance of customers' requirements in QFD[J]. Journal of Management Sciences in China, 2003, 6(5): 65-71(in Chinese). [杨明顺, 林志航. QFD 中顾客需求重要度确定的一种方法[J]. 管理科学学报, 2003, 6(5): 65-71.]
- [10] LIU C H, WU H H. A fuzzy group decision-making approach in quality function deployment[J]. Quality and Quantity, 2008, 42(4): 527-540.
- [11] ZHANG Zaifang, CHU Xuening. Fuzzy group decision-making for multi-format and multi-granularity linguistic judgments in quality function deployment[J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36(5): 9150-9158.
- [12] CARNEVALLI J A, MIGUEL P C. Review, analysis and classification of the literature on QFD—types of research, difficulties and benefits[J]. International Journal of Production Economics, 2008, 114(2): 737-754.
- [13] CHE Ada, LIN Zhihang, GAO Guojun. An improved quality function deployment model—fuzzy quality function deployment[J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 1998, 18(4): 131-135(in Chinese). [车阿大, 林志航, 高国军. 改进的

- 质量功能配置模型——模糊质量功能配置[J]. 系统工程理论与实践, 1998, 18(4): 131-135.]
- [14] ZHAI L Y, KHOO L P, ZHONG Z W. A rough set enhanced fuzzy approach to quality function deployment[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2008, 37(5/6): 613-624.
- [15] JIN Y C. Advanced fuzzy systems design and applications [M]. Heidelberg, Germany: Physica-Verlag, 2003.
- [16] LI H, AZARM S. An approach for product line design selection under uncertainty and competition[J]. Journal of Mechanical Design, 2002, 124(3): 385-392.
- [17] ZHANG X F, SRIRAM R D, LU W F. Evaluation and selection in product design for mass customization: a knowledge decision support approach[J]. Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, 2004, 18(1): 87-109.
- [18] PARTOVI F Y, CORREDOIRA R A. Quality function deployment for the good of soccer[J]. European Journal of Operational Research, 2002, 137(3): 642-656.
- [19] WANG Meiqing, TANG Xiaoqing. Combined house of quality oriented product planning[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2004, 30(7): 652-656 (in Chinese). [王美清, 唐晓青. 一种面向产品规划过程的组合质量屋[J]. 北京航空航天大学学报, 2004, 30(7): 652-656.]
- [20] KAHRAMAN C, ERTAY T, BU YU KOZKAN G. A fuzzy optimization model for QFD planning process using analytic network approach[J]. European Journal of Operational Research, 2006, 171(1): 390-411.
- [21] LI Yanlai, TANG Jiafu, PU Yun, et al. Final importance ratings determining of customer requirements in quality function deployment [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2007, 13(4): 791-796 (in Chinese). [李延来, 唐加福, 蒲云, 等. 质量功能展开中顾客需求最终重要度的确定方法[J]. 计算机集成制造系统, 2007, 13(4): 791-796.]
- [22] DENG Chao, MA Xiaobin, WU Jun, et al. Analysis technique of customers' requirements in HoQ based on rough set theory [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2007, 13(6): 1191-1195 (in Chinese). [邓超, 马晓彬, 吴军, 等. 基于粗糙集理论的质量屋顾客需求分析技术[J]. 计算机集成制造系统, 2007, 13(6): 1191-1195.]
- [23] SAATY T L. Decision-making with the AHP: why is the principal eigenvector necessary[J]. European Journal of Operational Research, 2003, 145(1): 85-91.
- [24] PAWLAK Z. Rough set approach to knowledge-based decision support[J]. European Journal of Operational Research, 1997, 99(1): 48-57.
- [25] XIONG Wei. Quality function deployment[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005 (in Chinese). [熊伟. 质量机能展开[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.]
- [26] CHAN L K, WU M L. A systematic approach to quality function deployment with a full illustrative example[J]. Omega, 2005, 33(1): 119-139.

(上接第762页)

的动态交互行为,为解决面向手工装配的产品,特别是对于导弹和卫星等典型的单件小批量生产的离散生产环境下的车间制造执行提供了一条新的研究途径。目前VPPC系统在航天某工厂得到试用,应用前景良好。

参考文献:

- [1] HUANG Xingshan. Control of mould production process and its quality management [J]. Industrial Engineering Journal, 2003, 6(3): 48-51 (in Chinese). [黄兴善. 模具生产过程的控制与质量管理研究[J]. 工业工程, 2003, 6(3): 48-51.]
- [2] LIU Xiaobing. The effective control technology for workshop execution planning [J]. Chinese Manufacturing Information, 2003, 32(5): 69-70 (in Chinese). [刘晓冰. MES: 一个有效的制造执行过程计划和控制技术[J]. 中国制造业信息化, 2003, 32(5): 69-70.]
- [3] RAO Yunqing, LIU Shiping, LI Shuxia, et al. Research on agile manufacturing execution system in shop floor [J]. China Mechanical Engineering, 2002, 13(8): 654-656 (in Chinese). [饶运清, 刘世平, 李淑霞, 等. 敏捷化车间制造执行系统研究[J]. 中国机械工程, 2002, 13(8): 654-656.]
- [4] RAO Yunqing, LI Peigen, LI Shuxia, et al. A review of the development of manufacturing execution systems [J]. Mechanical Science and Technology, 2002, 21(6): 1011-1016 (in Chinese). [饶运清, 李培根, 李淑霞, 等. 制造执行系统的现状与发展趋势[J]. 机械科学与技术, 2002, 21(6): 1011-1016.]
- [5] HU Jian, LIAO Wenhe, DAI Yong. Research and development of MES oriented to CE [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2004, 10(6): 635-640 (in Chinese). [胡建, 廖文和, 戴勇. 面向并行工程的制造执行系统的研究与开发[J]. 计算机集成制造系统, 2004, 10(6): 635-640.]
- [6] YU Pengchao, YANG Jianjun. Design and realization of workflow in MES [J]. Ordnance Industry Automation, 2005, 24(3): 34-36 (in Chinese). [俞鹏超, 杨建军. 工作流在MES中的设计与实现[J]. 兵工自动化, 2005, 24(3): 34-36.]
- [7] CHEN Jinliang, HE Weiping, DONG Rong, et al. Research of manufacturing execution system supporting rapid extended manufacturing [J]. Computer Engineering and Applications, 2007, 43(18): 207-210 (in Chinese). [陈金亮, 何卫平, 董蓉, 等. 支持快速扩散制造的制造执行系统研究[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(18): 207-210.]