

# 基于模糊数评估决策(FN-E&DM)的权重信息问题研究综述

李明辉 夏靖波

(空军工程大学电讯工程学院 西安 710077)

**摘 要** 在评估决策过程中,获取属性权重是一个复杂的问题。研究模糊数评估决策(FN-E&DM)的权重信息问题便是通过属性信息,建立数学模型进而求得权重的一类模糊评估决策问题。从属性权重确知、属性权重部分确知和属性权重完全未知 3 个方面综述基于 FN-E&DM 的权重信息问题的研究进展,通过分析评估决策模型详细论述了权重确定方法,最后展望了 FN-E&DM 权重信息问题的研究前景。

**关键词** 模糊数,评估决策,权重信息

中图分类号 C934 文献标识码 A

## Survey on Weight Information Problem Based on FN-E&DM

LI Ming-hui XIA Jing-bo

(Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

**Abstract** The acquisition of attribute weight is a complex problem in the process of evaluating & decision making. To research the attribute weight information based on FN-E&DM is obtaining the weights by solving the model. Main developments of weights based on FN-E&DM were surveyed from three aspects that weight information is known completely, incompletely and unknown completely. The solving model was analysed and acquisition method of attribute weight was discussed. Finally, the future researches of weights based on FN-E&DM were prospected.

**Keywords** Fuzzy number, Evaluating & decision making, Weight information

### 1 引言

由于客观事物的不确定性以及人类思维的模糊性,模糊理论的研究显得越来越重要。基于模糊数(FN)的评估决策(E&DM)问题是一种考虑模糊信息和属性权重的评估决策问题,目前已成为国内外的研究热点,引起人们的广泛关注<sup>[1-6]</sup>。基于模糊数的评估决策包括 3 类属性权重信息,即属性权重确知、属性权重部分确知和属性权重完全未知。其中,属性权重确知和属性权重部分确知的模糊数评估决策问题已经取得了丰富的成果;而属性权重完全未知的模糊数评估决策问题起步较晚,研究成果也不多见,成为当前的一个突破点。

本文对基于模糊数评估决策的 3 类属性权重信息进行研究,首先分析了属性权重确知的 FN-E&DM 问题的特点,并对其与其它评估决策方法的结合进行了阐述;其次,研究了属性权重部分确知的 FN-E&DM 问题,包括基于交互式的评估决策模型和基于方案有偏好的评估决策模型;然后详细阐述了属性权重完全未知的 FN-E&DM 问题,包括基于离差理论的评估决策模型、基于极差理论的评估决策模型和基于判断矩阵信息的评估决策模型,最后对 FN-E&DM 权重信息问题

的研究做出展望。

### 2 属性权重确知的 FN-E&DM 问题

属性权重确知的模糊评估决策问题已经较为完善。这类问题是评估决策理论中最基本也是最简单的研究内容<sup>[7]</sup>。由于它减少了由相关信息确定属性权重的过程,大大增强了模糊评估的可信程度,因此人们对属性权重确知的 FN-E&DM 问题的研究更趋向于与其它评估决策方法结合,提出一些新颖而且有效的决策方案,使其更好地呈现事物属性的等级,而不是停留在如何确定权重上。

文献[8]在已知属性权重的基础上引入向量间的投影,并分别针对三角模糊数序列、区间数和三角模糊数混合序列提出了其投影算子,并证明了投影算子满足线性变换性质,为不同数值类型无法排序的问题提供了解决办法。

由于属性权重确知的 FN-E&DM 权重信息问题相对较为简单,在此不做详细讨论。

### 3 属性权重部分确知的 FN-E&DM 问题

由于属性权重信息不能完全确知容易引起评估决策方案的不确定性,因此仅凭已有的客观信息进行评估决策往往会

到稿日期:2009-11-24 返修日期:2010-01-28 本文受军队武器装备部科研项目(KJ09xxx),陕西省自然科学基金研究计划项目(2009JM8001-1),西安电子科技大学综合业务网理论与关键技术国家重点实验室基金项目(ISN-9-08),空军工程大学电讯工程学院博士生创新基金(002)资助。

李明辉(1983-),男,博士生,主要研究方向为宽带通信、军事通信网络性能评估与决策,E-mail:airminghui@163.com;夏靖波(1963-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为军事通信网络性能评估与决策、网络安全与管理等。

导致决策失误。为此,许多学者对属性权重不能完全确定的多属性评估决策问题产生了兴趣,也取得了一些进展,较好地解决了属性权重部分确定的 FN-E&DM 问题。

### 3.1 基于交互式的评估决策模型

近年来,交互式决策方法已经越来越受到学者的重视。文献[9]提出了基于目标达成度和目标综合度的交互式多目标决策方法;文献[10]将此方法运用于多属性决策问题中,提出了基于方案达成度和方案综合度的多属性决策方法;文献[11,12]提出利用历史数据优化主观权重,且用关联度对主、客观权重进行综合的交互式优化权重方法,并分别应用到产品研制决策和路网规划评估中,对所提方法的实用性进行了验证。然而,上述几种方法只能用于处理数字型的多属性决策问题。

文献[13]提出了部分权重信息下的一种语言型多属性决策问题的交互式方法,该方法通过不断地给定和修正方案的满意度直到达到最佳满意度来选择最佳方案。但是,在该文献中,方案的满意度比较简单,与实际情况相差较大,并且事实上在交互式过程中,决策者的满意度这样一个主观度量值简单地用一个数量指标来表达,不仅较为困难,而且在一定程度上剥夺了决策者的主导作用。而且,由于客观事物的复杂性和不确定性,以及人类思维的模糊性,当专家受此主、客观因素所制约时,如时间紧迫、专业知识结构和水平,对某些评估不感兴趣,或者对某些比较敏感的问题不想发表意见,他们给出的评估信息往往是不确定的,即决策矩阵中的元素是以不确定语言变量形式给出的,且该方法不能处理不确定语言决策信息的情形。

文献[10]研究了部分权重信息下并且属性值为不确定语言的多属性决策问题。在部分权重信息下的不确定语言环境中,提出一种交互式多属性决策方法。定义了不确定语言变量的相似度、不确定语言方案的期望水平、不确定语言负理想点、不确定语言的方案达成度、不确定语言的方案综合度等概念。

方案达成度反映的是各方案的达成情况,而方案综合度则反映了方案总属性值的大小。综合考虑这两方面因素,可在交互式决策过程中使方案在总体上达到决策者的要求,并使各方案尽可能达到自己的良好状态,从而得到合理的方案排序。基于上述思想,建立单目标优化模型:

$$\begin{aligned} \max & c(w) \\ \text{s. t. } & w \in H, \end{aligned} \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1, w_j \geq 0, j=1, 2, \dots, n$$

由此可以解得初始最佳权重和方案初始综合度、达成度。

方案综合度指标值越好,则方案在总体上越能满足决策者的要求。但是这有可能使某些方案的达成度偏低,从而远离自己的良好状态;另一方面,如果仅用方案达成度,则它不可能有效地实现不同方案之间的平衡;并且各个方案之间是公平竞争的。综合这些因素,建立下列单目标决策模型,求解最优权重:

$$\begin{aligned} \max & J = \sum_{i=1}^m \lambda_i \\ \text{s. t. } & c(w) \geq c_0, \\ & \mu(z_i(w)) \geq \lambda_i \geq \lambda_i^{(0)}, \\ & w \in H \end{aligned} \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1, w_j \geq 0, j=1, 2, \dots, n$$

然后在此基础上提出了一种实用的交互式选择最佳方案的方法。该方法不仅充分利用了已有的客观信息,而且最大限度地考虑了决策者的交互要求,是交互式评估模型的一个范例。

### 3.2 基于方案有偏好的评估决策模型

由于种种条件限制,评估决策者的主观偏好与客观偏好之间往往存在着一定的偏差。为了使评估决策具有合理性,属性权重向量  $w$  的选择应使评估决策者的主观偏好值与客观偏好值(属性值)的总偏差最小。文献[14]对不完全信息下方案有偏好的多指标决策问题进行了研究;文献[15]针对属性权重信息不完全确定,提出了一种基于相似度的、对方案有偏好的三角模糊数型多属性决策模型。该模型根据三角模糊数比较相似度的概念,建立一个单目标线性规划:

$$\begin{aligned} \max & F(w) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n s(r_{ij}, v_j) w_i \\ \text{s. t. } & w = (w_1, w_2, \dots, w_m)^T \in H, \\ & w_i \geq 0, \sum_{i=1}^m w_i = 1 \end{aligned} \quad (3)$$

式中,  $s(r_{ij}, v_j)$  表示在第  $i$  属性下评估决策者对第  $j$  个方案的主观偏好值  $v_j$  与相应的客观偏好值  $r_{ij}$  之间的相似度,  $w_i$  为属性权重。解此模型,即可得到最优属性权重向量  $w$ 。然后,根据三角模糊数两两比较的可能度公式及互补判断矩阵排序公式,即可对决策方案进行评估决策。该模型运用三角模糊数相似度的概念把所有已知的模糊客观信息和评估决策者的主观信息相结合,并能充分利用已有的部分权重信息,且易于上机实现。

文献[16]针对部分属性权重信息且对方案有偏好的多属性决策问题,提出了一种新的决策方法。其属性权重确定标准为:先在所有方案的主、客观偏差中选取最大的偏差,然后使得该最大偏差最小化。这样不仅能使每个方案主、客观之间的偏差都最小,而且同样能达到所有方案主、客观的总偏差最小的效果。为此,建立了如下最小最大优化模型:

$$\begin{aligned} \min \max & \left| \sum_{i=1}^m r_{ij} w_i - p_j \right| \\ \text{s. t. } & \sum_{i=1}^m w_i = 1, w_i \geq 0, i=1, 2, \dots, m \\ & w = (w_1, w_2, \dots, w_m) \in H \end{aligned} \quad (4)$$

式中,  $r_{ij}$  是决策者在属性  $f_i$  下对方案  $x_j$  的客观偏好值,  $p_j$  为主观偏好值。该方法在不完全信息的情况下,既能充分利用已有的客观信息,又能最大限度地实现决策者的主观愿望。同时,还具有如下特点:(1)最小化最大的主、客观偏差的数学优化模型经过转化后即为经典的线性规划模型,求解非常容易;(2)不仅所有方案的主、客观总偏差最小,而且能保证每一方案的主、客观偏差都最小,因此能充分、合理地使得各方案主、客观偏好值之间越接近,达到客观偏好与主观偏好的有机统一;(3)该方法既适合实数、区间数,同时适合于各种模糊数。

文献[17]通过融合 VIKOR 方法、PROMETHEE 方法和基于粗集理论的权重确定方法的特点,建立了基于决策者偏好信息的合作伙伴选择决策模型,来求解合作伙伴选择决策问题,充分利用了决策者对评价指标的偏好、决策者对评价指标权重产生力式的偏好和决策者对决策制定力式的偏好等 3 个方面的偏好信息。该模型无需对评价指标进行无量纲化处

理,避免了其它一些方法中无量纲化处理导致的信息损失与扭曲,而且权重可以根据决策者的意向和实际决策应用背景的不同灵活确定,思路清晰,简洁实用,易于计算机上实现。

除以上两类模型外,对属性权重部分确知的 FN-E&DM 问题的研究还取得了一些成果<sup>[18-23]</sup>,这些方法也为我们解决属性权重不能完全确知的评估决策问题提供了思路。

#### 4 属性权重完全未知的 FN-E&DM 问题

与属性权重确知和部分确知的 FN-E&DM 问题相比,属性权重信息完全未知的 FN-E&DM 问题的研究起步相对较晚,加之在完全未知属性权重的情况下判断属性信息显得更加复杂,故该领域越来越成为广大学者研究的热点,同时产生了一些成果。

##### 4.1 基于离差理论的评估决策模型

基于属性值离差最大化思想,文献[24]提出了几种决策模型,从而较好地处理了属性值以区间数形式给出的决策问题。这些模型一般都涉及到方差或离差的计算,但用方差或离差这样的概念来反映属性值的分散程度并不利于属性值以模糊语言形式给出的评估决策问题。

文献[25]在引入离差平方理论的基础上,利用集对分析中“同一度”概念建立了评标模型。离差平方是一种加权综合法,不需要人为确定各种权重系数,而是以单个权重接近多种权重平均值的程度确定权重。假定有  $n$  种权重,这些权重的平均值为  $\bar{x}$ ,设想存在一个权重函数,当第  $k$  种权重的系数  $x_k$  偏离均值  $\bar{x}$  较大时,说明该种方案权重的精度较差,利用权重函数求出的权重系数应该较小;反之,当偏离均值较小时,说明该种权重的精度较好,利用权重函数求出的权重系数应该较大。

文献[26]针对属性权重完全未知且属性值为三角模糊数的多属性决策问题,提出了一种基于线性规划和模糊向量投影的评估决策方法。该方法基于加权属性值离差最大化建立一个线性规划模型,通过求解此模型得到属性的权重。然后通过计算各方案的加权属性值在模糊正理想点和负理想点解上的投影,计算相对贴程度,并据此对方案进行排序。

因为属性权重未知,所以属性权重的不确定性会引起决策方案排序的不确定性。一般,若所有决策方案在属性  $X_i$  下的属性值  $a_{ij}$  ( $j=1,2,\dots,n$ ) 差异越小,则说明该属性权重对方案决策的作用越小;反之,如果属性  $X_i$  能使所有决策方案的属性值  $a_{ij}$  有较大的离差,则说明该属性对方案决策将起重要作用。所以,从对决策方案进行排序或择优的角度考虑,无论方案属性值本身重要程度如何,方案属性值离差越大,则应该赋予越大的权重,离差越小则应该赋予越小的权重。特别地,若所有决策方案在属性  $X_i$  下的属性值  $a_{ij}$  无差异,则此属性对方案的决策将不起作用,可令权重为零。

基于上述思想,在加权规范化矩阵  $Z$  中,对第  $i$  个属性  $X_i$ ,方案  $A_j$  的加权属性值  $z_{ij}$  与其它方案属性值的离差定义为:

$$d_j(w_i) = \sum_{k=1}^n d(z_{ij}, z_{ik}) = \sum_{k=1}^n d(r_{ij}, r_{ik}) w_i \quad (5)$$

则对第  $i$  个属性  $X_i$ ,所有决策方案与其它决策方案的总离差为:

$$d(w_i) = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n d(r_{ij}, r_{ik}) w_i \quad (6)$$

从而,权重向量  $w$  的选择应使所有属性对所有决策方案的总离差最大。为此建立线性规划模型:

$$\max d(w_i) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n d(r_{ij}, r_{ik}) w_i \quad (7)$$

$$\text{s. t. } \sum_{i=1}^m w_i^2 = 1, w_i \geq 0$$

求解并归一化处理,可得权重表达式:

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n d(r_{ij}, r_{ik})}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n d(r_{ij}, r_{ik})}, i=1,2,\dots,m \quad (8)$$

##### 4.2 基于极差理论的评估决策模型

如上所述,文献[24]提出的几种决策模型较好地实现了用方差或离差这样的概念来反映属性值的分散程度,但不利于属性值以模糊语言形式给出决策问题。基于上述分析,文献[27]用计算量相对较小的极差来反映一组模糊语言的分散程度,以代替方差或离差,建立了一种基于极差理论的决策模型,在极差概念的基础上给出了求解属性权重的一个简洁公式。其过程如下:

设  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  为方案集,  $G = \{f_1, f_2, \dots, f_m\}$  为属性集。  $y_{ij} = f_i(x_j)$  ( $i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n$ ) 为方案  $x_j$  在属性  $f_i$  下的模糊属性值,并设评估矩阵为  $Y = (y_{ij})_{m \times n}$ 。将矩阵  $Y = (y_{ij})_{m \times n}$  模糊化,得到模糊数矩阵  $Z = (z_{ij})_{m \times n}$ 。对  $Z = (z_{ij})_{m \times n}$  的每一行向量  $Z_i$ ,取范数  $D_i$  为相应于该向量的所有属性值的极差  $(y_{ij} - y_{ik})$  ( $1 \leq j, k \leq n$ ) 的范数最大者,则用其反映该属性在评估决策过程中的权重为:

$$D_i = \max \| y_{ij} - y_{ik} \|, 1 \leq j, k \leq n \quad (9)$$

将  $D_i$  按照属性次序组成  $m$  元有序数组  $D = (D_1, D_2, \dots, D_m)$ ,对其进行归一化处理,即可得属性权重向量:

$$W = (w_1, w_2, \dots, w_m), w_i = \frac{D_i}{\sum_{i=1}^m D_i} \quad (10)$$

通过以上描述可以看到,该方法简洁,直观,便于计算,而在评估决策信息完全未知的属性评估决策中值得推广。

##### 4.3 基于判断矩阵信息的评估决策模型

在决策问题中,常用的主观赋权法往往需要决策者给出两两指标比较的偏好信息,由此构成判断矩阵,再根据判断矩阵确定各指标的权重。这种确定指标权重的方法在决策分析中得到了广泛应用。根据判断矩阵中元素的构成方式可将其分为两类:一类是 AHP 判断矩阵(互反判断矩阵);另一类是模糊判断矩阵(互补判断矩阵)。在实际问题中,由于被评价事物的不确定性,其评价价值常常用模糊数来描述。目前,文献中关于互反判断矩阵<sup>[28-34]</sup>和模糊数互补判断矩阵<sup>[35-38]</sup>的研究已经取得了丰硕成果。

文献[39]根据带有梯形模糊数的互补判断矩阵确定各指标的权重:聘请  $L(L \geq 1)$  位专家(各专家处于平等地位),分别对同一指标集  $X$  中的指标进行两两比较判断,并分别给出梯形模糊数互补判断矩阵。记第  $k$  位专家给出的判断矩阵为:

$$R^k = (r_{ij}^{(k)})_{n \times n} \quad (11)$$

式中,  $r_{ij}^{(k)} = (a_{ij}^{(k)}, b_{ij}^{(k)}, c_{ij}^{(k)}, d_{ij}^{(k)})$  ( $k=1,2,\dots,L; i,j \in N$ )。

根据式(11)综合各专家的偏好信息,有:

$$\frac{1}{L} \otimes (r_{ij}^{(1)} \oplus r_{ij}^{(2)} \oplus \dots \oplus r_{ij}^{(L)}) = \left( \frac{1}{L} \sum_{k=1}^L a_{ij}^{(k)}, \frac{1}{L} \sum_{k=1}^L b_{ij}^{(k)}, \frac{1}{L} \sum_{k=1}^L c_{ij}^{(k)}, \frac{1}{L} \sum_{k=1}^L d_{ij}^{(k)} \right) \quad (12)$$

然后计算各指标  $x_i$  得到的模糊评价值  $\tilde{v}_i$  和指标  $x_i$  的模糊评价值的期望  $I(\tilde{v}_i)$ , 由此即可得到各指标的权重:

$$\omega_i = \frac{I(\tilde{v}_i)}{\sum_{i=1}^n I(\tilde{v}_i)} \quad (13)$$

该方法简便, 合理, 具有较强的可操作性和实用性, 尽管是用于确定梯形模糊数的权重, 但经过简单变换即可处理三角模糊数等。

关于属性权重信息完全未知的 FN-E&DM 问题研究还有一些其它方法: 文献[40]利用三角模糊数期望值公式, 定义各方案到理想点的距离矩阵, 通过求解基于多维偏好分析的线性规划模型, 得到属性的权重向量。根据各方案到理想点的加权距离给出方案的排序结果。该方法非常适用于方案数目和属性数目较大、决策者无法给出每一方案的具体偏好值的情形。

针对属性值以模糊语言形式给出、属性权重完全未知且有方案偏好的模糊多属性决策问题, 文献[41]给出一种新的决策方法, 即将模糊语言给出的属性评估及方案偏好转换为梯形模糊数, 通过建立一个不确定二次规划模型来确定属性的权重, 基于加权平均法则来对规范化的模糊属性值及权重进行集结, 利用模糊数大小比较的期望值方法来对方案进行排序和择优。

另外, 关于有序加权平均(OWA)算子在不确定环境下的拓展及其 OWA 算子与其它算子结合起来在评估决策中的应用引起权重信息未知研究领域的关注<sup>[42-49]</sup>。OWA 算子的特点是: 先对一组数据按从大到小的顺序重新进行排序, 然后通过加权进行集成, 其权重只与相应的位置有关。OWA 算子运用了属性值之间大小顺序的信息, 具有较为丰富的性质, 现已广泛应用于决策分析、模糊逻辑控制、神经网络、遗传算法、专家系统、市场研究、数学规划、图像压缩等许多领域。例如, 文献[48]基于模糊数 Vague 值的有序加权平均(FV-OWA)算子, 提出一种属性权重完全未知, 且方案的属性评估信息以模糊数 Vague 值形式给出的不确定多属性决策方法, 从而充实和发展了 OWA 算子理论、Vague 集理论; 文献[49]将连续区间数据 OWA(C-OWA)算子扩展到模糊环境, 提出了一些新的模糊 C-OWA(FC-OWA)算子, 如加权 FC-OWA(WFC-OWA)算子、悲观 WFC-OWA(PWFC-OWA)算子和乐观 WFC-OWA(OWFC-OWA)算子, 并在此基础上提出了基于 PWFC-OWA 算子和 OWFC-OWA 算子的属性值以及以属性权重为梯形模糊数的多属性决策模型, 给出了权重确定方法。

**结束语** 本文综述 FN-E&DM 权重信息问题, 包括属性权重确知、部分确知和完全未知 3 个方面。FN-E&DM 权重信息问题由于注重实际评估决策可行性和对不确定信息的处理与分析, 使其在控制决策等工程上具有广阔的应用前景。关于 FN-E&DM 权重信息问题的研究, 以下几个问题值得进一步研究和思考:

1) 虽然基于模糊数评估决策的权重信息问题研究相对比较前沿, 而且随着研究的深入也取得了一些成果, 但对于属性权重完全未知、权重属性为模糊数、评估决策具有主观偏好等多种因素限制的 E&DM 问题的研究才刚起步。因此, 对于属性权重完全未知的 FN-E&DM 问题的研究将是一个突破点。

2) 对于属性权重确知的 FN-E&DM 问题的研究已经比较成熟, 目前大部分工作都是与其它评估决策方法结合起来,

在属性权重确定的前提下, 研究不确定多属性决策问题。对于属性权重部分确知和完全未知的 FN-E&DM 问题, 除现有研究成果外, 仍有许多工作要进行, 尤其是针对评估决策结果的科学性、合理性以及权重确定的一致性问题。

3) 属性权重部分确知和完全未知的 FN-E&DM 问题比起一般的辅助决策问题具有更大的普适性, 它在管理、控制与决策、评价等诸多领域具有广阔的应用前景。特别是信息化条件下的军事作战性能评估、网络性能评估与决策等方面, 呈现出明显的模糊性和不确定性。因此, 在军事通信等领域开展模糊评估决策的权重信息问题的研究也将具有重要的意义和价值。

4) 基于三角模糊数的属性权重部分确知和完全未知问题的研究, 对于解决评估决策问题显得越来越重要。但是对于既有模糊数又有实数的指标值信息, 如某通信网络时延指标值为 3.6ms, 而网络抗毁能力指标值为“良好”, 如何将其融合起来进行综合评估决策, 将是一个现实问题, 并且该问题的解决将为综合评估决策提供思路。

## 参 考 文 献

- [1] Dong W M, Wong F S. Fuzzy weighted averages and implementation of the extension principle[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1987, 21(1): 183-199
- [2] Liou T S, Wang M J. Fuzzy weighted averages: An improved algorithm[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1992, 49(1): 307-315
- [3] Liou T S, Wang M J. Ranking fuzzy numbers with integral value[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1992, 50(3): 247-255
- [4] Guh Y Y, Hong C C, Wand K M, et al. Fuzzy weighted averages: A max-min paired elimination method[J]. Computer Mathematic Application, 1996, 32(2): 115-123
- [5] Lee D H, Park D. An efficient algorithm for fuzzy weighted average[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1997, 87(1): 39-45
- [6] Kao C, Liu S T. Fractional programming approach to fuzzy weighted average[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2001, 120(2): 435-444
- [7] 徐南荣, 仲伟俊. 科学决策理论与方法[M]. 南京: 东南大学出版社, 1996
- [8] 闫书丽, 赵丽英, 王传丽. 基于投影的不确定多属性决策方法[J]. 河南科技大学学报: 自然科学版, 2009, 30(1): 85-87
- [9] 蒋尚华, 徐南荣. 基于目标达成度和目标综合度的交互式多目标决策方法[J]. 系统工程理论与实践, 1999, 19: 9-14
- [10] 徐泽水. 基于方案达成度和综合度的交互式多属性决策方法[J]. 控制与决策, 2002, 17: 435-438
- [11] 谢梅芳, 李孟军. 交互式权重优化法及其在产品研制决策中的应用[J]. 系统工程, 2005, 23(2): 124-126
- [12] 刘晓佳, 孔祥臣, 施其洲, 等. 交互式权重优化法在路网规划方案综合评价中的应用[J]. 重庆交通学院学报, 2006, 25(5): 136-138
- [13] 许叶军, 达庆利, 赵辰希. 部分权重信息下一种交互式不确定语言多属性决策法[J]. 系统工程与电子技术, 2009, 31(3): 597-601
- [14] 高峰记. 不完全信息下对方案有偏好的多指标决策[J]. 系统工程理论与实践, 2000, 4: 94-97
- [15] 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[J]. 系统工程与电子技术, 2002, 24(8): 9-12

- [13] Bartlett F. The homogeneous poisson point process [M]. Case Studies in Spatial Point Process Modeling. New York : Springer Verlag;153-167
- [14] Liu B, Towsley D. A study of the coverage of large-scale sensor networks[C]//Proc. of the 1st IEEE Int Conf on Mobile Ad hoc and Sensor Systems. Fort Lauderdale, FL: IEEE Press, 2004: 475-483
- [15] 陶丹, 马华东, 刘亮. 基于虚拟势场的有向传感器网络覆盖增强算法[J]. 软件学报, 2007, 18(05): 1152-1163
- [16] Kershner R. The Number of Circles Covering a Set[J]. American Journal of Mathematics, 1939, 61: 665-671
- [17] 任彦, 张思东, 张宏科. 无线传感器网络中覆盖控制理论与算法[J]. 软件学报, 2006, 17(03): 422-433
- [18] Bai X, Kumer S, Xuan D, et al. Deploying wireless sensors to achieve both coverage and connectivity[C]//Proc. of ACM Annual International Symposium on Mobile Ad-Hoc Networking and Computing. Florence, Italy, ACM, 2006: 131-142
- [19] Iyengar R, Kar K, Banerjee S. Low-coordination Topologies for Redundancy in Sensor Networks[C]//Proc. of the 6th ACM Annual Int Symp on Mobile Ad-Hoc Networking and Computing. Urbana-Champaign, Illinois, USA: ACM, 2005: 332-342
- [20] Wang X, Wang S, Ma J. Dynamic deployment optimization in wireless sensor networks[J]. Lecture Notes in Control and Information Sciences, 2006, 344: 182-187
- [21] Howard A, Mataric M J, Sukhatme G S. Mobile sensor network deployment using potential fields: A distributed, scalable solution to the area coverage problem[C]//Proc. of the 6th Int Symp on Distributed Autonomous Robotic Systems. Japan: Springer-Verlag, 2002: 299-308
- [22] Zou Y, Chakrabarty K. Sensor deployment and target localization based on virtual forces[C]//Proc. of the IEEE INFOCOM. Sun Francisco, USA: IEEE Press, 2003: 1293-1303
- [23] Poduri S, Suklatme G S. Constrained Coverage for Mobile Sensor Networks[C]//Proc. of the IEEE Int Conf on Robotics and Automation. New Orleans, LA, USA: IEEE Press, 2004, 1(1): 165-171

(上接第 26 页)

- [16] 万树平. 对方案有偏好的最小最大偏差多属性决策方法[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(19): 195-197
- [17] 柳玉鹏, 李军. 基于决策者偏好信息的合作伙伴选择决策模型[J]. 系统工程与电子技术, 2009, 31(3): 602-605
- [18] Lee K S, Park K S, Eum Y S, et al. Extended methods for identifying dominance and potential optimality in multi-criteria analysis with imprecise information[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 134(3): 557-563
- [19] 王晓玲. 不完全信息下对方案有偏好信息的多指标决策[J]. 系统工程理论与实践, 2000, 20(4): 136-140
- [20] Pan Jiuping, Rahmans T Y. An interval based MADM approach to the identification of candidate alternatives in strategic resource planing[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2000, 15(4): 1441-1446
- [21] 樊治平, 龙天慧, 张尧. 属性权重信息不完全的区间数多属性决策方法[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2005, 26(8): 798-800
- [22] 卫贵武. 权重信息不完全的区间数多属性决策 GRA 方法[J]. 系统工程与电子技术, 2006, 28(12): 1834-1836
- [23] 刘德峰. 求解信息不完全多目标问题的两种决策方法[J]. 系统工程与电子技术, 1998, 21(12): 59-61
- [24] 许叶军, 达庆利. 不确定型多属性决策的权系数确定及其应用[J]. 系统工程理论方法应用, 2005, 14(5): 434-437
- [25] 宋慈勇, 赵新宇, 孙吉刚, 等. 基于离差平方集对分析评标模型[J]. 中国水运, 2009, 9(3): 78-79
- [26] 杨静, 邱菀华. 基于投影技术的三角模糊数型多属性决策方法研究[J]. 控制与决策, 2009, 24(4): 637-640
- [27] 姚炳学, 张方伟. 一种基于模糊语言评估的多属性决策方法[J]. 模糊系统与数学, 2008, 22(4): 120-123
- [28] 姚敏, 张森. 模糊一致矩阵及其在软科学中的应用[J]. 系统工程, 1997, 15(2): 54-57
- [29] Chang D Y. Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP[J]. European Journal of Operational Research, 1996 (3): 649-655
- [30] Xu R N, Zhai X Y. Fuzzy Logarithmic Least Squares Ranking Method in Analytic Hierarechy Process[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1996, 92(2): 175-190
- [31] Kwifisielewicz Z M. A Note on the Fuzzv Extension of Satty's Priority Theory [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1998, 98(2): 161-172
- [32] Leung L C, Cao D. On Consistency and Ranking of Alternatives in Fuzzy AHP [J]. European Journal of Operational Research, 2000, 116(1): 102-113
- [33] Chein C J, Tsai H H. Using Fuzzy Numbers to Evaluate Perceived Service Quality[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2000, 117(2): 289-300
- [34] Chen C T. Extensions of the TOPSTS for Group Decision Making under Fuzzy Environment [J]. Fuzzy Sets and Systems, 2000, 116(1): 1-9
- [35] 徐泽水. 模糊互补判断知阵排序的最小方差法[J]. 系统工程理论与实践, 2001, 21(10): 93-96
- [36] 徐泽水. 模糊互补判断知阵排序的一种算法[J]. 系统工程学报, 2001, 16(4): 311-314
- [37] 樊治平, 姜艳萍. 一种三角模糊数互补判断矩阵的排序方法[J]. 系统工程与电子技术, 2002, 24(7): 34-36
- [38] 姜艳萍, 樊治平. 三角模糊数互补判断矩阵排序的一种实用方法[J]. 系统工程, 2002, 20(2): 89-92
- [39] 牟琼, 杨春德. 一种基于梯形模糊数互补判断矩阵确定权重的方法[J]. 重庆邮电学院学报: 自然科学版, 2006, 18(6): 809-812
- [40] 万树平. 基于多维偏好分析的三角模糊数型多属性决策方法[J]. 统计与决策, 2009(1): 42-44
- [41] 马淑兰, 刘宣会. 投资决策中有方案偏好的模糊多属性决策方法[J]. 唐山师范学院学报, 2009, 31(2): 39-41
- [42] Yanger R R. Families of OWA operators [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1993, 59(1): 125-148
- [43] Xu Z S, Da Q L. An overview of operators for aggregating information[J]. International Journal of Intelligent Systems, 2003, 18(9): 953-969
- [44] Yanger R R. Induced ordered weighted averaging operators[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics; Part B, 1999, 29(2): 141-150
- [45] Mitchell H B, Schaefer P A. Multiple priorities in an induced ordered weighted averaging operator[J]. International Journal of Intelligent Systems, 2000, 15(4): 317-327
- [46] Xu Z S, Da Q L. The uncertain OWA operators[J]. International Journal of Intelligent Systems, 2002, 17(6): 569-575
- [47] Herrera F, Herrera V E, Verdegay J L. Direct approach processes in group decision making using linguistic OWA operators [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1996, 79(2): 175-190
- [48] 汪新凡, 杨小娟. 基于 FV-OWA 算子的不确定多属性决策方法[J]. 系统工程与电子技术, 2009, 31(2): 380-383
- [49] 龚艳冰, 梁雪春. 基于模糊 C OWA 算子的模糊多属性决策方法[J]. 系统工程与电子技术, 2008, 30(8): 1478-1480