

文章编号: 1001-0920(2008)06-0601-06

模糊多准则决策方法研究综述

王 坚 强

(中南大学 商学院, 长沙 410083)

摘 要: 模糊多准则决策是当前决策领域的一个研究热点,在实际决策中有着广泛的应用.为此,介绍了基于模糊数、直觉模糊集和 Vague 集的多准则决策方法和语言多准则决策方法的研究现状,定义了直觉梯形模糊数和区间直觉梯形模糊数,扩展了模糊数和直觉模糊集.最后探讨了目前模糊多准则决策要解决的问题和发展方向.

关键词: 模糊多准则决策; 模糊数; 直觉模糊集; 直觉梯形模糊数; 区间直觉梯形模糊数; Vague 集

中图分类号: C934

文献标识码: A

Overview on fuzzy multi-criteria decision-making approach

WANG Jian-qiang

(School of Business, Central South University, Changsha 410083, China. E-mail: jqwang@csu.edu.cn)

Abstract: As one of the advanced research direction in decision-making fields, fuzzy multi-criteria decision-making is of wide applications in real decision-making. The current research on the multi-criteria linguistic decision-making methods and fuzzy multi-criteria decision-making methods based on fuzzy number, intuitionistic fuzzy set and Vague set are reviewed. The definition of intuitionistic trapezoidal fuzzy number and interval intuitionistic trapezoidal fuzzy number are given, and the fuzzy number and intuitionistic fuzzy set are extended. Some problems and future research directions on fuzzy multi-criteria decision-making are also proposed.

Key words: Fuzzy multi-criteria decision-making; Fuzzy number; Intuitionistic fuzzy set; Intuitionistic trapezoidal fuzzy number; Interval intuitionistic trapezoidal fuzzy number; Vague set

1 引 言

在社会经济生活中,存在着大量多准则决策(MCDM)问题.这些问题可分为选择、排序和分类3类.目前求解多准则决策问题的方法很多^[1-5],其中 ELECTRE, PROMETHEE, UTA/UTADIS 是应用较广的有效方法.这些方法要么准则权系数和准则值确定,要么其权系数或准则值通过训练集建立规划模型推导得出.但在一些决策问题中,方案的准则权系数或/和准则值不准确、不确定和不能完全确定,Roy 解释了这种现象^[6].这些不准确和不确定性主要有模糊性、随机性、灰色性、不确定性和泛灰性和多重不确定性等^[7].对于 MCDM 中模糊性的研究由来已久,已经成为当前研究的一个热点.

1965 年 Zadeh 提出了模糊集理论,1970 年 Bellman 和 Zadeh 将模糊集理论引入多准则决策,提出了模糊决策分析的概念和模型,用于解决实际决策中的不确定性问题.自此,模糊多准则决策

(FMCDM)取得了众多研究成果.模糊数的提出使得人们可以利用它较好地描述多准则决策中的模糊性,从而基于模糊数的 MCDM 便成为 FMCDM 的一个重要方向.

直觉模糊集和 Vague 集是 Zadeh 的模糊集理论最有影响的扩展和发展,它们均是在 Zadeh 的模糊集理论中“亦此亦彼”的模糊概念的基础上增加一个新的参数——非隶属函数,进而可以描述“非此非彼”的模糊概念.因此,基于直觉模糊集和 Vague 集的 MCDM 问题引起了众多学者的关注.

准则权系数信息也可以是确定的实数、模糊数、直觉模糊集、Vague 集和不完全确定信息,这样就构成了多类 FMCDM 问题.本文对各类模糊多准则问题进行分析,指出不同方法的优点和不足,并讨论了 FMCDM 问题中可能的研究方向.

2 权系数的不完全确定信息

准则权系数的确定方法有主观确定和客观确

收稿日期: 2007-01-18; 修回日期: 2007-05-29.

基金项目: 国家自然科学基金项目(70771115); 湖南省软科学项目(06FJ4126); 湖南省哲学社会评审委员会项目(0608064A).

作者简介: 王坚强(1963—),男,湖南湘潭人,教授,博士,从事决策理论与应用、风险管理与控制、物流管理等研究.

定两类. 客观确定方法不能反映决策者的偏好, 不同方法得到的权系数可能不一致, 因而其决策结果存在差异^[8]. 主观确定方法常用的有 AHP, ANP 和 CNP. 在实际决策时, 决策者很难准确地给出准则权系数或很难对一些准则的重要性程度进行两两比较, 但能以不完全确定信息的形式给出准则权系数间的关系^[9]. 文献[10]将其分为 5 类, 实际决策问题中不完全权系数信息是这 5 类中的一类或几类的组合. 文献[9]在分析权系数间线性关系的基础上, 将不完全确定信息分成下列 3 类:

$$\{w : A_1 \quad b, \quad > 0, b \quad 0\}; \quad (1)$$

$$\{ : A_1 \quad b, \quad > 0, b \quad 0\}; \quad (2)$$

$$\{ : A_1 = b, \quad > 0, b \quad 0\}. \quad (3)$$

其中: $= (\quad , \quad , \dots, \quad)^T$, A_1 是 $l \times n$ 矩阵.

上述 3 类不完全确定信息是不完全信息、不确定信息和部分确定信息的扩展^[9].

3 基于模糊数的模糊多准则决策方法

模糊数的提出使得 MCDM 问题中的模糊性有了较好的刻画工具. 常用的模糊数有三角模糊数和梯形模糊数. 区间数和三角模糊数都是梯形模糊数的特例.

模糊数的排序有多种方法^[1,11], 常用的有: 基于可能性测度和必然测度的可能性理论, 区间数比较法, 总和积分值或面积补偿法, 利用中心点与原点之间的确定面积定义模糊数之间的测度方法等. 这些方法各有优点, 但都存在一定的不足^[11].

人们将许多准则权系数和准则值确定的 MCDM 方法推广到 FMCDM 问题中, 提出了众多的 FMCDM 方法^[1,2,12-14], 如模糊 TOPSIS 方法、模糊 ELECTRE 方法和模糊 PROMETHEE 方法等.

目前, 主要集中研究 2 类 FMCDM 问题: 一是准则权系数确定或为模糊数, 且准则值为模糊数的 MCDM 问题; 二是准则权系数信息不完全确定, 且准则值为模糊数的 MCDM 问题.

对权系数确定或为模糊数且准则值为模糊数的 MCDM 或群决策问题的研究较多^[1,12-14]. 这些研究主要集中在利用集成函数将各准则的模糊数和准则权系数集成起来, 再利用某一模糊数的比较方法, 得到方案的排序或分类. 在这些方法中, 重要的一步是对准则值进行规范化处理, 但规范化处理存在一定缺陷^[15], 它不能反映决策者的偏好, 而且可能影响决策结果.

在实际决策中, 决策者给出准则权系数的不完全确定信息更容易. 这样, 权系数信息不完全确定且准则值为模糊数的 MCDM 问题在实际决策中经常遇到, 但研究较少^[2,9,16,17]. 如文献[2]提出了一种方

法, 该方法针对权系数信息不完全、主观偏好值和属性均为三角模糊数的 MCDM 问题, 若不考虑主观偏好值, 该方法将失效; [16] 提出了一种方法以克服前述方法的不足; [17] 定义了模糊效用函数, 提出了信息不完全确定的模糊多准则 UTA 方法, 避免了对模糊数进行规范化处理的不足.

在实际决策中, 准则值的数据可能缺失. 目前, 对准则值数据有缺失的 FMCDM 问题的研究很少. Yang 等提出的模糊证据推理算法为这类决策问题提供了一种解决方法^[18], 但只考虑了准则权系数确定的情形. 而对于数据有缺失的准则权系数为模糊数或信息不完全确定且准则值为模糊数的 MCDM 问题的研究尚未见报导.

4 基于直觉模糊集的模糊多准则决策方法

模糊集概念有多个扩展, 其中重要的一个是直觉模糊集. 直觉模糊集是由 Atanassov 提出的^[19], 它是对传统模糊集的一种扩充和发展. 直觉模糊集增加了一个新的属性参数——非隶属度函数, 能更加细腻地描述和刻画客观世界的模糊性本质, 因而引起众多学者的研究和关注.

自直觉模糊集被提出以来, 很多学者对直觉模糊集进行了研究^[20-24], 并将其应用于决策中. 如 Szmidi 和 Kacprzyk 将直觉模糊集应用于有不精确信息的群体决策中^[22,23]; De 等将其用于医学诊断决策中^[24].

在 MCDM 问题中, 如果准则值或 / 和准则权系数为直觉模糊数, 则称这类问题为基于直觉模糊集的 MCDM 问题. 由于没有实数和直觉模糊集的运算, 求解这类决策较为困难. 文献[25]研究了准则权系数和准则值均为直觉模糊集的 MCDM 问题, 通过构建线性规划模型来求解最优准则权系数, 进而得到方案的排序. [26] 通过利用记分函数和精度函数定义决策方案的适应度; 然后利用适应度建立线性规划模型, 求解得到最优准则权系数; 通过计算最优准则权系数时方案的适应度值来确定方案的排序. [27] 研究了准则权系数为实数且准则值为直觉模糊集的 MCDM 问题, 通过对点运算的分析和扩展, 提出了一种记分函数方法来确定方案的排序. [9] 对准则值为实数或 / 和不完全确定信息且准则值为直觉模糊数的 MCDM 问题进行了研究, 提出了求解这类问题的 TOPSIS 方法、VIKOR 方法及基于证据推理的求解方法. 但相对于基于模糊数的 MCDM 方法, 基于直觉模糊数的 MCDM 方法还显得太少.

区间直觉模糊集、直觉三角模糊数和直觉梯形模糊数是直觉模糊集的扩展.

目前相关文献大多主要研究区间直觉模糊集的性质和相关性等,而讨论将其应用于 MCDM 中的文献则较少^[19,28,29].当然,基于直觉模糊集的 MCDM 方法均可扩展到基于区间直觉模糊集的 MCDM 中,但由于目前通用的区间数的减运算不是加运算的逆运算,除运算不是乘运算的逆运算,这样就增加了求解这类决策问题的难度.文献[9,29]将求解基于直觉模糊集的 MCDM 的 TOPSIS 方法、VIKOR 方法及基于证据推理方法推广到了基于区间直觉模糊集的 MCDM 中.

区间直觉模糊集是将直觉模糊集的隶属度和非隶属度由实数扩展到区间值,它们是对传统模糊集的扩展.一般情况下,它与直觉模糊集一样,其论域是离散集合.直觉三角模糊数和直觉梯形模糊数从另一个方向对直觉模糊集进行了扩展,即将离散集合扩展到连续集合,是对模糊数的扩展.

定义 1 设 A 是实数集上的一个正规的凸子集,它的隶属函数为

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}\mu_A, & a \leq x \leq b; \\ \mu_A, & b \leq x \leq c; \\ \frac{d-x}{d-c}\mu_A, & c \leq x \leq d; \\ 0, & \text{其他.} \end{cases} \quad (4)$$

它的非隶属函数为

$$v_A(x) = \begin{cases} \frac{b-x+v_A(x-a)}{b-a}, & a \leq x \leq b; \\ v_A, & b \leq x \leq c; \\ \frac{x-c+v_A(d-x)}{d-c}, & c \leq x \leq d; \\ 0, & \text{其他.} \end{cases} \quad (5)$$

其中: $0 \leq \mu_A \leq 1, 0 \leq v_A \leq 1, \mu_A + v_A \leq 1$. 则称 $A = ([a, b, c, d]; \mu_A), ([a_1, b, c, d]; v_A)$ 为直觉梯形模糊数.

当 $b = c$ 时,梯形直觉模糊集则变成直觉三角模糊数.

如果 μ_A, v_A 均为区间 $[0, 1]$ 的闭子区间,则称 $A = ([a, b, c, d]; [\mu_A^L, \mu_A^R]), ([a_1, b, c, d]; [v_A^L, v_A^R])$ 为区间直觉梯形模糊数.

目前,关于直觉三角模糊数的研究较少,文献[30]定义了 4 种运算,并将其应用于故障树分析中,取得了较好效果.而对于直觉梯形模糊数和区间梯形模糊数的研究尚未见报导.

5 基于 Vague 集的模糊多准则决策方法

1993 年, Gau 和 Buehrer 提出了 Vague 集的概念^[31],它是模糊集的一种扩展. Vague 集具有比模

糊集更好的表达不确定性的能力,已引起众多学者的关注,被广泛应用于人工智能、决策分析、模式识别和智能信息处理等领域.虽然 1996 年 Bustince 和 Burillo 证明了 Vague 集是直觉模糊集^[32],但还是有不少研究人员在研究基于 Vague 集的 FMCDM 问题,提出了相应的决策模型和方法^[33-38].

目前,利用 Vague 集主要研究下列 FMCDM 问题:设方案集为 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$, 约束条件集或准则集 $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$, 各决策方案在各准则下的值用 Vague 集表示.决策者要在方案中选取一个同时满足约束条件 C_1, C_2, \dots, C_p 或约束条件 C_s 的最优方案.针对这类问题,人们提出了一系列基于 Vague 集的 FMCDM 方法^[33-38].如评价函数法,记分函数法,加权记分函数法,距离法,基于包含度的决策方法,基于相似度的决策方法,基于利益函数的决策方法,基于 Vague 集的模糊一致性关系的决策方法等.

区间 Vague 集是 Vague 集的扩展.目前,基于 Vague 集的 FMCDM 方法均可扩展到基于区间 Vague 集的 FMCDM 中,如评价函数法、记分函数法和基于距离的相对优属度法.

前面已经提到, Vague 集是直觉模糊集.因此,基于直觉模糊集的 MCDM 方法也适应于基于 Vague 集的 MCDM;同时,基于 Vague 集的 MCDM 方法也能推广到基于直觉模糊集的 MCDM 中.类似于直觉模糊集,也可将 Vague 集推广成为三角 Vague 集、梯形 Vague 集和区间梯形 Vague 集,并对其进行研究.

6 语言多准则决策方法

语言多准则决策(LMCDM)作为 FMCDM 的一个分支,其理论和方法尚未完全成熟.然而,在决策过程中,决策者的评价信息以自然语言短语给出,更接近于实际,对于难以量化的决策问题的作用尤为突出,从而语言多准则决策近年来得到了国内外学者的关注,取得了众多研究成果,已广泛应用于各种实际决策中.

LMCDM 问题可分为纯 LMCDM 问题和混合 LMCDM 问题.纯 LMCDM 问题是指准则权重信息和准则值都是以语言短语形式给出的 MCDM 问题.纯 LMCDM 问题又可分为单值 LMCDM 问题、区间纯 LMCDM 问题和信息不完全确定的纯 LMCDM 问题.单值纯 LMCDM 问题是指准则权系数和准则值均为单个语言短语的 MCDM 问题.区间纯 LMCDM 问题是指准则权系数和准则值均为语言区间的 MCDM 问题.如果权系数或 / 和准则值不完全确定,即有某准则权系数或准则值类似于式(1)~

(3) 形式的信息,如某方案的第1个准则值比“良”好,这样的LMCDM问题称为信息不完全确定的纯LMCDM问题.混合LMCDM问题是指准则权重信息和准则值只有部分以语言短语形式给出的决策问题.混合LMCDM问题又可分为准则权系数是确定实数且准则值为语言值的决策问题,准则权系数信息不完全确定且准则值为语言值的决策问题,准则权系数和准则值部分为语言值且部分为实数或其他形式信息的决策问题.

求解LMCDM方法主要有3类:第1类方法是先将语言评价信息转化成模糊数^[2,39,40];然后采用基于模糊数的MCDM方法进行求解.该类方法需事先假设隶属函数,即确定语言短语对应的模糊数,而这种假设或精确确定语言短语和模糊数的对应关系在实际应用中有一定的难度;同时,采用三角模糊数和梯形模糊数能较好地表示语言信息,容易理解,但在处理过程中容易丢失信息,且计算较为复杂.第2类方法是利用语言评价集自身的顺序和性质对语言评价信息进行处理,并利用OWA算子及其扩展算子^[2,41-42],如FIOWA,GIOWA,OWG,IOWA,LOWA,T-OWA,F-OWA,HA,LWD,LWC和EOWG等对方案进行集结.这类方法由于事先定义的语言评价集是离散的,语言信息经运算后,很难精确对应到初始的语言评价信息集,通常需要一个最贴近的语言短语进行近似,可能会产生信息的丢失;同时,最终得到的结果也难以区分方案的优劣.第3类方法是采用二元语义表示语言评价信息并进行运算^[43,44].该类方法可有效避免在语言决策中语义信息的丢失,从而保证决策结果的合理性和有效性;同时,二元语义在运算和对结果的解释上具有优势,较好地克服了以往研究方法的缺陷.

目前,对于单值纯LMCDM问题已有很多研究,提出了一些方法^[2,39-44].上述提到的3类方法都可用于求解这类问题.对于区间纯LMCDM问题,也有一些研究^[2],但在这类语言决策中,大部分文献没有对有方案偏好的情况进行研究.针对信息不完全确定的纯语言决策问题的研究则较少,只有文献[45]针对权系数信息和方案的准则值为确定语言等级或位于两个语言等级之间,甚至缺失的群决策问题,提出一种决策方法.

对于准则权系数为确定实数且准则值为确定语言短语的多准则混合LMCDM问题,提出了一些求解方法,这些方法有的采用模糊数处理语言值,有的采用语言算子集结,也有的利用二元语义进行处理.

对于准则权系数信息不完全确定且准则值为

语言短语的混合LMCDM问题的研究较少.采用将语言短语转化为模糊数,利用基于模糊数的多准则决策方法,完全可求解这类问题.利用二元语义进行处理的较少,只有文献[46]提出了一种方法.而采用语言算子集结求解这类问题则未见相应报导.

对于准则权系数和准则值部分为语言值且部分为实数或其他形式信息的混合LMCDM问题,有2种处理方法:一是将语言值等信息均转变为模糊数,然后采用信息不完全确定的模糊决策方法求解;二是将实数、模糊数等信息转化为语言值,然后利用二元语义或语言集结算子进行处理.

在LMCDM中,有时准则的语言信息的粒度不同,即要处理不同粒度语言信息的一致化问题,也就是语言决策过程中涉及的语言评价集的数目不是唯一且意义有所差异.如果采用将语言值转化为模糊数的处理方式,这一问题就不需要考虑,但采用二元语义和语言集结算子来处理,不同粒度的语言信息的一致化问题就必须考虑.文献[47]中通过定义基本语言短语集,分别从短语的隶属度和二元语义角度给出了一种信息一致化的方法;[48]首先构建一个基本语言评价集作为信息一致化的参考集合,并将不同粒度语言判断矩阵形式的偏好信息均转化为二元语义形式,然后采用基于二元语义的有序加权算术平均(T-OWA)算子进行集结;[2]定义了虚拟术语和虚拟术语指标等概念,给出了与语言决策矩阵相对应的指标矩阵,并给出了一种混合集结(HA)算子,但该方法在转换不同语言信息评价过程中,可能造成信息的丢失.目前,在实际应用中大都由决策者给出不同粒度语言信息间的关系,这样带有一定的主观性,有时并不能真实反映不同粒度语言信息间的关系.

7 结论及展望

FMCDM理论和方法经历了40多年的发展,已成为决策理论的一个重要分支,并广泛应用于投资决策、供应商选择等各类决策中.目前,它仍是决策理论研究的一个热点.虽然在理论方法和应用方面取得了许多进展,但还有不少问题亟待解决,这正是今后的研究方向.主要有:

1) 在实际决策中,由于决策者的知识和经验不同,有时决策者不能确定准则的值,即准则值可能存在缺失的情况.这类存在信息缺失的FMCDM问题是值得研究的.

2) 基于直觉模糊集和区间直觉模糊集的MCDM方法目前还较少,而直觉模糊集和区间直觉模糊集更能反映决策参数的模糊性,因而这类FMCDM问题有必要进一步研究.

3) 直觉梯形模糊数和区间梯形模糊数是对梯形模糊数的扩展. 目前对直觉梯形模糊数和区间梯形模糊数的运算、性质、距离和相似性等都没有研究,更不用说基于直觉梯形模糊数和区间梯形模糊数的 MCDM 方法的研究了. 因此,对直觉梯形模糊数、区间梯形模糊数及基于直觉梯形模糊数和区间梯形模糊数的 MCDM 问题的研究是值得关注的.

4) 语言信息是表达模糊性最直接的形式. 对于 LMCDM 理论方法和应用的研究虽取得了较大进展,但有必要进一步丰富和完善.

5) 不确定信息除模糊信息外,还有随机信息、灰色信息和不确定信息等. 目前,基于多重不确定性,如模糊随机性、随机模糊性和灰色模糊性等 MCDM 问题的研究较少,这也是今后的一个研究方向.

参考文献(References)

- [1] 李荣钧. 模糊多准则决策理论与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
(Li R J. Fuzzy multi-criteria decision-making theory and applications[M]. Beijing: Science Press, 2002.)
- [2] 徐泽水. 不确定多属性决策方法及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
(Xu Z S. Uncertain multiple attribute decision making: Methods and applications [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004.)
- [3] Jacquet-Lagrange E, Siskos Y. Preference disaggregation: 20 years of MCDA experience [J]. European J of Operational Research, 2001, 130 (2): 233-245.
- [4] Zopounidis C, Doumpos M. Multi-criteria classification and sorting methods: A literature review [J]. European J of Operational Research, 2002, 138 (2): 229-246.
- [5] Zopounidis C, Doumpos M. Multi-criteria decision aid in financial decision making: Methodologies and literature review [J]. J of Multi-criteria Decision Analysis, 2002, 11 (2): 167-186.
- [6] Roy B, Present M, Silhol D. A programming method for determining which Paris metro stations should be renovated [J]. European J of Operational Research, 1986, 24 (2): 318-352.
- [7] 王清印, 刘志勇. 不确定性信息的概念、类别及其数学表述 [J]. 运筹与管理, 2001, 10 (4): 9-15.
(Wang Q Y, Liu Z Y. The conception, sort and mathematical expression of uncertainty information [J]. Operations Research and Management Science, 2001, 10 (4): 9-15.)
- [8] Xu Z H. A note on the subjective and objective integrated approach to determine attribute weights [J]. European J Operational Research, 2004, 156 (3): 530-532.
- [9] 王坚强. 几类信息不完全确定的多准则决策方法研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2005.
(Wang J Q. Research on multi-criteria decision-making methods with incomplete certain information [D]. Changsha: Central South University, 2005.)
- [10] Soung H K, Chang H H. An interactive procedure for multi-attribute group decision making with incomplete information [J]. Computers & Operations Research, 1999, 26 (8): 755-772.
- [11] 王绪柱, 单静. 模糊量排序综述 [J]. 模糊系统与数学, 2002, 16 (4): 28-34.
(Wang X Z, Shan J. An overview of ranking fuzzy quantities [J]. Fuzzy Systems and Mathematics, 2002, 16 (4): 28-34.)
- [12] Aouam T, Chang S I, Lee E S. Fuzzy MADM: An outranking method [J]. European J of Operational Research, 2003, 145 (2): 317-328.
- [13] Chu T C. A fuzzy number interval arithmetic based fuzzy MCDM algorithm [J]. Int J Fuzzy Systems, 2002, 4 (4): 867-872.
- [14] Liu M, Li F C, Wu C. The order structure of fuzzy numbers based on the level characteristics and its application to optimization problems [J]. Science in China Series F, 2002, 45 (6): 433-441.
- [15] 郭勇, 邱志明. 用 PROMETHEE 方法解决舰炮武器系统方案优化问题 [J]. 兵工学报, 1999, 20 (2): 97-101.
(Guo Y, Qiu Z M. The PROMETHEE method in optimizing a number of selection schemes of naval gun weapon system [J]. Acta Armanentar, 1999, 20 (2): 97-101.)
- [16] 王坚强. 信息不完全的 Fuzzy 群体多准则决策的规划方法 [J]. 系统工程与电子技术, 2004, 26 (11): 1604-1608.
(Wang J Q. Programming method of fuzzy group multiple criteria decision making with incomplete information [J]. Systems Engineering and Electronics, 2004, 26 (11): 1604-1608.)
- [17] 王坚强. 信息不完全确定的多准则模糊 UTA 方法 [J]. 系统工程与电子技术, 2006, 28 (4): 545-550.
(Wang J Q. Fuzzy multi-criteria UTA approach with uncertain information [J]. Systems Engineering and Electronics, 2006, 28 (4): 545-550.)
- [18] Yang J B, Wang Y M, Xu D L, et al. The evidential reasoning approach for MADA under both probabilistic and fuzzy uncertainties [J]. European J of Operational Research, 2006, 171 (2): 309-343.
- [19] Atanassov K T. Intuitionistic fuzzy sets [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1986, 20 (1): 87-96.
- [20] De S K, Biswas R, Roy A R. Some operations on

- intuitionistic fuzzy sets[J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 2000, 114(3): 477-484.
- [21] Li D F, Cheng C T. New similarity measures of intuitionistic fuzzy sets and application to pattern recognitions[J]. *Pattern Recognition Letters*, 2002, 23(1-3): 221-225.
- [22] Szmidt E, Jacprzyk J. Intuitionistic fuzzy sets in group decision making[J]. *NIFS*, 1996, 2(1): 15-32.
- [23] Szmidt E, Jacprzyk J. Remarks on some applications of intuitionistic fuzzy sets in group decision making[J]. *NIFS*, 1996, 2(3): 22-31.
- [24] De S K, Biswas R, Roy A R. An application of intuitionistic fuzzy sets in medical diagnosis[J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 2001, 117(2): 209-213.
- [25] Li D F. Multiattribute decision making models and methods using intuitionistic fuzzy sets [J]. *J of Computer System Sciences*, 2005, 70(1): 73-85.
- [26] Lin L, Yuan X H, Xia Z Q. Multicriteria fuzzy decision-making methods based on intuitionistic fuzzy sets[J]. *J Computer and System Sciences*, 2007, 73(1): 84-88.
- [27] Liu H W, Wang G J. Multi-criteria decision-making methods based on intuitionistic fuzzy sets [J]. *European J of Operational Research*, 2007, 179(1): 220-233.
- [28] Atanassov K T, Gargov G. Interval valued intuitionistic fuzzy sets[J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 1989, 31(3): 342-349.
- [29] 王坚强. 信息不完全确定的多准则区间直觉模糊决策方法[J]. *控制与决策*, 2006, 21(11): 1253-1256.
(Wang J Q. Multi-criteria interval intuitionistic fuzzy decision-making approach with incomplete certain information[J]. *Control and Decision*, 2006, 21(11): 1253-1256.)
- [30] Shu M H, Cheng C H, Chang R J. Using intuitionistic fuzzy sets for fault-tree analysis on printed circuit board assembly[J]. *Microelectronics Reliability*, 2006, 46(12): 2139-2148.
- [31] Gau W L, Buehrer D J. Vague sets[J]. *IEEE Trans on Systems Man Cybernet*, 1993, 23(3): 610-614.
- [32] Bustince H, Burillo P. Vague sets are intuitionistic fuzzy sets[J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 1996, 79(3): 403-405.
- [33] 刘华文. 多目标模糊决策的 Vague 集方法[J]. *系统工程理论与实践*, 2004, 24(5): 103-108.
(Liu H W. Vague set methods of multicriteria fuzzy decision making [J]. *Systems Engineering-theory & Practice*, 2004, 24(5): 103-108.)
- [34] 刘华文. 基于 Vague 集包含度的模糊多目标决策[J]. *中国管理科学*, 2004, 12(4): 89-93.
(Liu H W. Multi-criteria fuzzy decision making based on inclusion degree of vague sets [J]. *Chinese J of Management Science*, 2004, 12(4): 89-93.)
- [35] 叶军, 徐永灿. 一种 Vague 集相似度量量的方案决策方法[J]. *计算机仿真*, 2006, 23(4): 90-93.
(Ye J, Xu Y C. A decision method of schemes using similarity measures between Vague sets[J]. *Computer Simulation*, 2006, 23(4): 90-93.)
- [36] 符海东, 卢正鼎. 基于 Vague 集的模糊决策方法[J]. *小型微型计算机系统*, 2004, 25(9): 1484-1486.
(Fu H D, Lu Z D. Fuzzy decision making method based on Vague set[J]. *Mini-micro Systems*, 2004, 25(9): 1484-1486.)
- [37] 周珍, 吴祈宗. 基于 Vague 集的多准则模糊决策方法[J]. *小型微型计算机系统*, 2005, 26(8): 1350-1353.
(Zhou Z, Wu Q Z. Multicriteria fuzzy decision making method based on Vague set[J]. *Mini-micro Systems*, 2005, 26(8): 1350-1353.)
- [38] Ye J. Improved method of multicriteria fuzzy decision-making based on Vague sets [J]. *Computer-aided Design*, 2007, 7(4): 164-169.
- [39] Delgado M, Verdegay J L, Vila M A. Linguistic decision making models [J]. *Int J of Intelligent Systems*, 1992, 7(4): 479-492.
- [40] Herrera F, Herrera-Viedma E, Mart ez L. A fusion approach for managing multi-granularity linguistic term sets in decision making[J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 2000, 114(1): 43-58.
- [41] Herrera F, Herrera-Viedma E. Aggregation operators for linguistic weighted information[J]. *IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics—Part A: Systems and Humans*, 1997, 27(5): 646-656.
- [42] Herrera F, López E, Cristina Mendaña, et al. A linguistic decision model for personnel management solved with a linguistic biobjective genetic algorithm [J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 2001, 118(1): 47-64.
- [43] Herrera F, Mart ez L. A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words [J]. *IEEE Trans on Fuzzy Systems*, 2000, 8(6): 746-750.
- [44] 王欣荣, 樊治平. 基于二元语义信息处理的一种语言群决策方法[J]. *管理科学学报*, 2003, 6(5): 1-5.
(Wang X R, Fan Z P. Method for group decision making based on two-tuple linguistic information processing[J]. *J of Management Sciences in China*, 2003, 6(5): 1-5.)
- [45] 王坚强. 一种多准则纯语言群决策方法[J]. *控制与决策*, 2007, 22(5): 545-548.
(Wang J Q. Multi-criteria group decision-making approach with linguistic assessment information [J]. *Control and Decision*, 2007, 22(5): 545-548.)

(下转第 612 页)

等领域中的应用是需进一步研究的问题。

参考文献(References)

- [1] Atanassov K T. Intuitionistic fuzzy sets[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1986, 20(1): 87-96.
- [2] Gau W L, Buehrer D J. Vague sets[J]. IEEE Trans on System, Man and Cybernetics, 1993, 23(2): 610-614.
- [3] Bustince H, Burillo P. Vague sets are intuitionistic fuzzy sets[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1996, 79(3): 403-405.
- [4] Xu Z S. Intuitionistic fuzzy aggregation operators[J]. IEEE Trans on Fuzzy Systems, 2007, 15(6): 1-10.
- [5] Xu Z S, Yager R R. Some geometric aggregation operations based on intuitionistic fuzzy sets[J]. Int J of General Systems, 2006, 35(4): 417-433.
- [6] Atanassov K, Gargov G. Interval-valued intuitionistic fuzzy sets[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1989, 31(3): 343-349.
- [7] 徐泽水. 区间直觉模糊信息的集成方法及其在决策中的应用[J]. 控制与决策, 2007, 22(2): 215-219.
(Xu Z S. Methods for aggregating interval-valued intuitionistic fuzzy information and application to decision making [J]. Control and Decision, 2007, 22(2): 215-219.)
- [8] 徐泽水, 陈剑. 一种基于区间直觉判断矩阵的群决策方法[J]. 系统工程理论与实践, 2007, 27(4): 126-133.
(Xu Z S, Chen J. An approach to group decision making based on interval-valued intuitionistic judgment matrices [J]. Systems Engineering-theory and Practice, 2007, 27(4): 126-133.)
- [9] 刘锋, 袁学海. 模糊数直觉模糊集[J]. 模糊系统与数学, 2007, 21(1): 88-91.
(Liu F, Yuan X H. Fuzzy number intuitionistic fuzzy set[J]. Fuzzy Systems and Mathematics, 2007, 21(1): 88-91.)
- [10] Liu T S, Wang M J. Ranking fuzzy numbers with integral value[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1992, 50(2): 247-255.
- [11] Chen S M, Tan J M. Handling multi-criteria fuzzy decision-making problems based on vague set theory [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1994, 67(2): 163-172.
- [12] Hong D H, Choi C H. Multi-criteria fuzzy decision-making problems based on Vague set theory[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2000, 114(1): 103-113.
- [13] 刘华文. 多目标模糊决策的 Vague 集方法[J]. 系统工程理论与实践, 2004, 24(5): 103-109.
(Liu H W. Vague set methods of multicriteria fuzzy decision making [J]. Systems Engineering-theory and Practice, 2004, 24(5): 103-109.)
- [14] 张韬, 陆廷金, 马建军. 基于 Vague 集模糊多准则决策记分函数法改进性探讨[J]. 系统工程, 2006, 24(7): 120-123.
(Zhang T, Lu T J, Ma J J. Discussion on improvement of score function methods based on Vague sets for fuzzy multi-criteria decision-making [J]. Systems Engineering, 2006, 24(7): 120-123.)
- [15] Xu Z S. An overview of methods for determining OWA weights[J]. Int J of Intelligent Systems, 2005, 20(8): 843-865.
- [16] 叶跃祥, 糜仲春, 王宏宇. 一种基于集对分析的区间数多属性决策方法[J]. 系统工程与电子技术, 2006, 28(9): 1344-1347.
(Ye Y X, Mi Z C, Wang H Y. Set-pair-analysis-based method for multiple attributes decision-making with intervals [J]. Systems Engineering and Electronics, 2006, 28(9): 1344-1347.)

(上接第 606 页)

- [46] 王坚强. 一种信息不完全确定的多准则语言群决策方法[J]. 控制与决策, 2007, 22(4): 394-398.
(Wang J Q. Group multi-criteria linguistic decision-making method with incomplete certain information[J]. Control and Decision, 2007, 22(4): 394-398.)
- [47] Henera F, Martinez L. A model based on linguistic 2-tuple for dealing with multi-granularity hierarchical linguistic contexts in multi-expert decision-making[J]. IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics — Part B: Cybernetics, 2001, 31(2): 227-234.
- [48] 姜艳萍, 樊治平. 基于不同粒度语言判断矩阵的群决策方法[J]. 系统工程学报, 2006, (3): 249-254.
(Jiang Y P, Fan Z P. Approach to group decision making with multi-granularity linguistic comparison matrices[J]. J of Systems Engineering, 2006, (3): 249-254.)