



双极值模糊集研究综述

摘要

大数据时代背景下,不但数据的不确定性愈发明显,数据的冲突性(不相容)现象亦越来越突出.两极性和模糊性一样是事物的本质属性,模糊集虽然是处理不确定信息的有力工具,却一直忽略了不相容两极性问题.双极值模糊集首次将不相容两极性引入到模糊集理论中,为分析和解决带有不相容特性的的大数据问题提供了新的思路和方法,其研究渐渐成为热点.综述首先阐述了两极性的种类与特点,以及双极值模糊集的相关概念、理论,特别是和其他已有模糊集的区别;接着分析了双极值模糊集国内外发展现状;最后分析了双极值模糊集未来的发展方向.通过综述,将对双极值模糊集有一个全面的认识,为下一步研究打下基础.

关键词

模糊集;双极值模糊集;两极性;不相容两极性;大数据

中图分类号 O159

文献标志码 A

收稿日期 2015-11-06

资助项目 国家自然科学基金(61503191,61502239);江苏省自然科学基金(BK20150924;BK20150933);2015年江苏省高校优秀中青年教师和校长境外研修基金;江苏省高校自然科学基金(13KJB2007)

作者简介

韩莹,女,博士,讲师,主要研究方向为不确定推理与决策的理论与方法,大数据分析处理.hanyings@163.com

0 引言

人类进化过程中最为宝贵的成果就是人类的思维,而思维的基本要素就是信息.人工智能研究的核心问题之一就是如何使计算机具有模拟人进行处理信息的能力.对于精确数据处理的计算机技术已经取得了巨大成就,但现实世界并不完全精确,日常生活乃至科学技术中都存在着大量不确定信息.特别是在大数据时代背景下,信息的不确定性更加的复杂多样化.如何利用数学工具处理这些不确定信息已经成为研究者们急需解决的问题.为了描述不确定信息,Zadeh^[1]提出了模糊集的概念.现实的不确定性复杂多变,Zadeh模糊集在描述复杂不确定性问题上存在一定局限,一些扩展理论,如区间值模糊集^[2]、直觉模糊集^[3]、扰动模糊集^[4]等被相继提出.

模糊集的出现无疑改变了人们长期以来的二值观,但却忽略了事物的两极性.而在信息爆炸的大数据背景下,数据之间的冲突性表现得却越来越明显.以化工业为例:工业生产与污染,对一般工业而言,其产值与能耗、盈利与污染的两极性可以视为互补关系(对应于相容数据),但化工过程的产值与能耗、盈利与污染等两极就不是简单的互补关系,冲突性特别严重.2013年,国家禁止6000 t/a以下聚乙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯等合成树脂装置项目的发展,就是因为虽然项目盈利空间大,但因规模小且工艺落后,最终可能是以污染严重的长期后果换取短期的经济效益.此案例中,盈利和污染完全是两种相反的状态,但却同时存在于对一个项目的评价中,且两者可能同时达到较大极值的状态,是典型的两极不相容实例.

传统的模糊集显然在对含有不相容两极性的不确定信息进行分析处理方面显得力不从心.这一现象最终于1994年打破,Zhang^[5]首次将不相容两极性引入到模糊集理论中,提出了双极值模糊集.模糊理论创始人Zadeh教授也充分肯定了双极值模糊理论对传统模糊理论的突破^[6].Zemankova等^[7]讨论了更为广义的多极值模糊问题,指出多极值模糊问题最终可以化解为多个双极值模糊问题来处理,从另一个侧面反映了双极值模糊问题研究的意义.双极值模糊集理论与方法为带有不相容特性的不确定信息,特别是不相容大数据的分析与处理开启了新的一页.

本文对双极值模糊集近20年的研究成果进行总结回顾,并对其未来发展进行了展望.下一章,将分析两极性的种类与特点,通过探讨

¹ 南京信息工程大学 江苏省大数据分析技术重点实验室,南京,210044

现有模糊集在处理不相容两极模糊性方面的缺陷,并列举现实中存在的不相容两极性的实例,论述双极值模糊集研究的必要性.第二章分析双极值模糊集理论与方法的国内外发展现状.第三章将分析双极值模糊集未来的发展方向.

1 两极性与双极值模糊集

任何事物都有两极性,两极性如同模糊性一样,是事物的固有属性^[5].老子哲学中指出阴阳是事物的两极,两极的平衡是一切系统正常运转的关键.传统中医诊断中,病症通常被视为阴阳失调.事实上,小到微观的量子世界,大到宏观的宇宙,从社会结构到物理层次,两极性无处不在.两极性通常用正负两极来表示,比如好/坏,对/错,美/丑等.普遍认为两极性可以分为三类:对称单变量型、对称双变量型和非对称双变量(不相容)型.

在对称单变量型两极中,负极是正极的补,单极的信息就可以代表两极信息.

模糊集 设 U 为有限论域,任意 $u \in U$,定义 $F: U \rightarrow [0, 1], u \rightarrow F(u) \in [0, 1]$,则称 $F(u)$ 为论域 U 上的模糊集. $F(u)$ 称为元素关于模糊集 F 的模糊隶属度.

从模糊集的定义不难发现,定义中虽未明确指出,却是默认了对称单变量两极性思想.比如我们对人的年龄进行评价,“年老”和“年轻”显然是年龄的两极.而普通模糊集一般选择其中的单极,“年老”或者“年轻”进行建模.例如,给定“年老”的隶属函数,一个50岁的人其“年老”模糊隶属度定义为0.65,这个时候其实是假定了其另一极“年轻”的隶属度为0.35.“年老”和“年轻”两极显然是互补的.

作为普通模糊集的扩展,区间值模糊集和直觉模糊集最为著名.已经证明两者在语构上是等价的,但在两极性语义方面却完全不同.当无法用一个确定的数值来描述元素对集合的隶属程度的时候,选用一个区间来描述隶属度,这就产生了区间值模糊集的概念,其着重的是对模糊程度的扩展.

区间值模糊集 设 U 为有限论域,任意 $u \in U$,定义 $IV: U \rightarrow [0, 1] \times [0, 1], u \rightarrow IV(u) = (IV^-(u), IV^+(u))$,其中 $IV^-(u), IV^+(u) \in [0, 1]$,且 $IV^-(u) \leq IV^+(u)$,则称 $IV(u)$ 为论域 U 上的区间值模糊集,其中, $IV(u)$ 称为元素关于区间值模糊集 IV 的区间值模糊隶属度.

继续上述年龄的例子,在区间值模糊集的思想

下,认为对50岁的人,无法确切地判读其对“年老”的准确隶属度,而是认为其“年老”的隶属度在区间 $[0.6, 0.7]$ 之间.从模糊性角度看,区间值模糊集显然进一步扩展了普通模糊集的模糊性,但从两极性角度来看,区间值模糊集却和普通模糊集一样,仍然隶属于对称单变量两极性.因为此时,实际上是默认了50岁的人对“年轻”的隶属度为 $[0.3, 0.4]$ ，“年老”和“年轻”两极仍然是互补的.

直觉模糊集 设 U 为有限论域,任意 $u \in U$,定义 $IN: U \rightarrow [0, 1] \times [0, 1], u \rightarrow IN(u) = (IN_i(u), IN_f(u))$,其中 $IN_i(u), IN_f(u) \in [0, 1]$,且 $IN_i(u) + IN_f(u) \leq 1$,则称 $IN(u)$ 为论域 U 上的直觉模糊集,其中, $IN(u)$ 称为元素关于直觉模糊集 IN 的直觉模糊隶属度.

直觉模糊集定义为一对普通模糊集,分别代表属于和不属于两种隶属度,且要求两者隶属度的和小于等于1.继续上述年龄的例子,在直觉模糊集的思想下,对50岁的人,决策者认为其对“年老”的隶属程度为0.6,对“年轻”的隶属度为0.3,同时对这个概念持有0.1的不确定程度.直觉模糊集最大的创新就是允许两极隶属度之和小于1,允许了两极之间非互补情形的存在,它极好地诠释了对称双变量两极性的思想.

对称双变量两极性中虽然允许不完备存在,但因为其正负两极仍然是同源的,因而不允许正负两极之间冲突的存在.现实中正负两极的评价是可以完全独立的,因此会自然的导致不相容(冲突)现象的产生.现在备受关注的一种情感疾病,双向情感障碍就是这类不相容两极性最好的实例:狂躁和抑郁完全是两种相反的状态,但在双向情感障碍病例中却同时存在于一个体中,且两者可能同时达到极值的状态.事实上,这种冲突在现实中还有很多实例.比如,在国际关系中,两个超级大国之间的合作与竞争关系往往共存,且可能存在极限冲突状态.显然,上述模糊集及其扩展理论因为不允许冲突的存在、排斥不相容条件,因此无法对带有不相容信息的现实问题进行建模.为了将不相容两极性纳入到模糊集理论中,Zhang^[5]提出了双极值模糊集.

双极值模糊集 设 U 为有限论域,任意 $u \in U$,定义 $B^P: U \rightarrow [0, 1], B^N: U \rightarrow [-1, 0]$,则称 $B = (B^P(u), B^N(u))$ 为论域 U 上的双极值模糊集. $B^P(u)$ 表示元素 u 关于双极值模糊集 B 对某性质的满足程度,而 $B^N(u)$ 则表示对该性质的相反性质的

满足程度.

这里需要强调的是,双极值模糊集首次将模糊定义域扩展到了 $[-1,0]$.从语构上 $[0,1] \times [0,1]$ 和 $[0,1] \times [-1,0]$ 可以证明是等价的,但是从语义上, $[0,1] \times [-1,0]$ 更加直观地反映了两极性,而现实应用中,往往语义是至关重要的.显然, $\forall u \in U, B^P(u) = 0$ 或 $B^N(u) = 0$ 时,双极值模糊集退化为普通模糊集. $\forall u \in U, B^P(u) - B^N(u) = B^P(u) + |B^N(u)| \leq 1$ 时,双极值模糊集退化为直觉模糊集.双极值模糊集和其他主要模糊集的关系如图 1 所示.

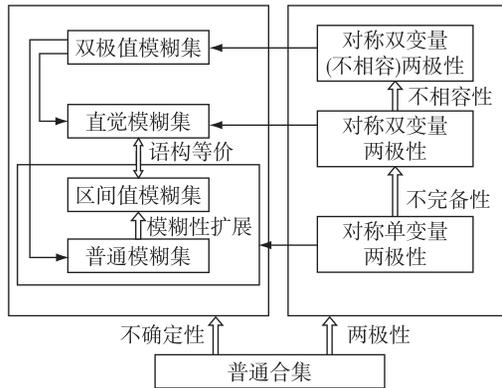


图 1 双极值模糊集和其他模糊集的关系
Fig. 1 Relationship between bipolar-valued fuzzy set and other fuzzy sets

综上,双极值模糊集不仅仅是现有模糊集理论的简单扩展,更为有意义的是其首次将不相容两极性引入到模糊集理论中,在冲突情形愈发凸显的大数据时代,双极值模糊思想显然具有重要意义.

2 双极值模糊集研究进展

Zhang^[5]首次提出了双极值模糊集的概念,本文从理论与应用两个方面进行总结.

2.1 理论方面

文献[8]研究了多值型双极值的格结构,并将其应用于信息融合和可视化.Lee^[9]专门研究了双极值模糊集与区间值模糊集、直觉模糊集之间的区别.Akram^[10]提出了双极值模糊图,并相继研究了双极值模糊图的度量、应用和正规双极值模糊图问题^[11-13].在 Akram 工作的基础上, Samanta 等^[14]研究了非正规双极值模糊图问题, Niesink 等^[15]研究了双极权重有向模糊图的传递闭包的计算问题,而 Talebi 等^[16]则研究了双极模糊图的补及其同构问题. Dubois 等^[17]研究了推理及决策中的双极性问题,并

认为正是粒度、不确定性和双极性才真正使模糊集理论有意义. Dubey 等^[18]研究了双极模糊的多目标优化理论. Bouzarour 等^[19]研究了双极的一致性群决策问题. Mesiarova 等^[20]研究了多极平均集结算子理论,并将其应用到了多极分类问题中. Borkotokey 等^[21]研究了双极合作博弈理论.文献[22-24]从语义真值的角度,从双极信念出发,研究了双极命题的基本理论. Greco 等^[25]研究了离散型的双极广义积分问题. Han 等^[26]则首次将粗糙集和双极模糊概念相结合,提出了双极粗糙模糊集的概念,并研究了双极粗糙模糊系统的特征选取以及决策规则获取方法.其研究表明,对同一问题,是否考虑冲突性的存在,在特征选取和最后的规则获取方面将会得到不同的结果.

国内基于双极值模糊集理论的研究近几年来才刚刚起步.杨文华在其博士论文中较为系统地研究了双极值模糊图问题,并与区间值模糊图进行了比较^[27].杨京开^[28-29]研究了双极模糊有限状态机的代数结构.国内关于双极值模糊理论问题研究的另一个方向就是将双极值模糊集理论与其他不确定研究工具如软集、粗糙集相结合.在双极值模糊集与软集结合方面,国内学者开展了一系列的研究.在杨文华等^[30]提出了双极值模糊软集的概念,并在探讨其基本性质的基础上,分别研究了双极值模糊软集的子群、双极值模糊软集的理想、动态双极值模糊软集(软矩阵)群决策方法、时序关系下的双极值模糊软集的群决策方法^[31-36].而关于双极值模糊集与粗糙集相结合的工作基本还处于探讨阶段,仅见关于优势关系下双粒度粗糙集模型的研究^[37].

2.2 应用方面

文献[38]研究了双极值模糊平衡关系及其在聚类和优化中的应用,给出了一个国际关系管理控制的实例.文献[39]研究了双极值动态神经模型,将其用于双向情感障碍的诊断中.文献[40]研究了双极值模糊线性代数并通过构建双极值型细胞来对平衡的生物系统进行管理控制. Grabisch 等^[41]研究了双极值模糊双变模型及其在多准则决策问题中的应用. Zhou 等^[42]将双极值模糊应用于免疫系统和人类基因表示,从而用来实现对细胞增长和分化的整体控制. Bordogna 等^[43]研究了利用冲突性去探讨全球气候的共同特征. Delgado 等^[44]设计了基于灵活双极查询方法的决策支持系统,并将其应用于食品包装的开发设计领域. Guillard 等^[45]针对单值型属性和多

值型属性分别研究了目标数据库中的双极查询问题。De Tre' G 等^[46]针对可能性关系数据库,从不相容双极性语义角度,融合了概率思想,给出了如何在模糊查询中制定和评价查询条件。值得注意的是,该文还同时对区间值模糊集、直觉模糊集和双极值模糊集在模糊查询中的应用进行了比较。Bosc 等^[47]则是通过扩展单极关系中的各类基本算子,从双极模糊代数关系的角度探讨了双极模糊查询问题。对双极模糊查询问题,有兴趣的读者可以查询 Kacprzyk 等的最新的概述总结^[48]。Zhou 等^[49]通过设计一种基于离散循环神经网络的双极自关联存储器 and 指数型网络准则来精确地对网络外部输入进行存储,该方法考虑了时延并引入了槽激发函数,仿真结果证明因为引入了双极思想,新方法比其他方法具有更高的效率和更好的鲁棒性。Robati 等^[50]探讨了双极平衡模糊粒子群优化算法,并利用其解决经典的旅行商问题,仿真结果表明,与单极模糊方法相比,新算法具有更快的收敛性。Dubois 等^[51]从概率论的角度总结了不相容型双极信息的表示。Benferhat 等^[52]则从概率的角度,研究了双极模糊思想在偏好模型的可能应用。他们分别从表示、融合以及优化求解三个方面对双极模糊概率问题进行了较为深入的探讨。Labreuche 等^[53]指出,传统的 Choquet 积分和累积前景理论方法在处理存在正负两极偏好交互情形的决策问题时,都显得束手无策,继而针对双极交互决策问题,提出一类广义 Choquet 集结函数,并融合不相容两极性思想和累积前景理论,给出了一种全新决策优化算法。

国内关于双极值模糊应用方面的研究较少,邱飞岳等^[54]研究了带有双极偏好信息的决策问题,给出一种具有双极偏好优势的高维目标的优化算法。王丽萍等^[55]是从双极偏好的角度研究了模糊控制问题,提出了一种新的多目标粒子群优化算法。杨英芝^[56]从双极偏好语义出发,给出了一种带有双极语义的语言型多数行决策方法。王国俊等^[57]从理论的角度深入研究分析了双极信息的融合与分解问题。韩莹等^[58]提出了双极诱导函数的概念,在单极和双极之间构建了一座桥梁,在此基础上,研究了双极模糊推理的 3I 方法及其鲁棒性。

3 双极值模糊集研究展望

在大数据时代,数据的冲突愈发显著。双极值模糊集理论的出现,无疑为不相容两极信息的研究打

开了一扇窗户,然而双极值模糊集的研究仍然处在一个起步阶段。其中,双极模糊理论的研究还停留在数学建模、理论探讨阶段,尚未建立完整的理论体系,更无法应用于冲突型大数据的分析。而双极模糊方法的研究比较零散,大多是针对一个比较具体的问题进行方法分析,没有形成方法体系,更未见针对大数据的双极模糊分析方法的研究文献。因此,未来关于双极值模糊集理论与方法特别是针对冲突型大数据的研究仍然任重道远。

在双极值模糊基础理论方面,已有文献虽然探讨了利用单极运算相应的诱导双极运算的可能,但双极值模糊基础理论仍然缺乏系统性的研究。未来研究重点应放在通过类比单极模糊的基础理论并借助双极值诱导函数,层层递进、由浅入深,系统地探讨双极值模糊基础理论,合理地定义一系列与冲突大数据的双分析相关的如双极模糊度量与相似度、各类型双极模糊关系、双极模糊概率、双极模糊核函数、双极模糊集结算子、双极模糊关系矩阵等基本概念并研究相应的基本性质。

双极值模糊理论的另外一个方向,就是和其他处理大数据的理论相结合,比如粗糙集、软集等。关于双极值模糊集与软集结合的研究前期取得了一定的进展。粗糙集已经证明十分适合对大数据进行约简。然而,粗糙集模型中的信息库中的信息都是清晰的,即其上、下近似集合为一对清晰集,因此其无法描述模糊信息。而普通模糊集和粗糙集则都无法对不相容两极性问题进行建模。文献^[32]虽然证明了双极值模糊集和粗糙集结合的可能,并且通过类比仿真,论述了在数据分析中考虑冲突性的必要性,但是关于粗糙集和双极值模糊集的结合研究尚需进一步加深。未来应系统地研究双极值模糊粗糙集理论。由浅入深、层层递进地研究双极值模糊粗糙集、双极值模糊概率粗糙集和双极值模糊核概率粗糙集的相应理论。双极值模糊粗糙集理论的可能性扩展关系如图 2 所示。

双极模糊概念虽然已经显示出处理含有冲突信息的大数据的优势,但因论域中 $[-1, 0]$ 的特殊性和二维不可比关系的存在,其适用于大数据的分析方法体系的研究与单极情形相比显得更为复杂。未来研究应该在建立相应的基础理论研究的基础上,借鉴流行的单极大数据分析处理方法,构建较为完整的双极大数据的分析方法体系。如基于双极模糊粗糙的大数据特征选取方面,离散型和连续型数据在

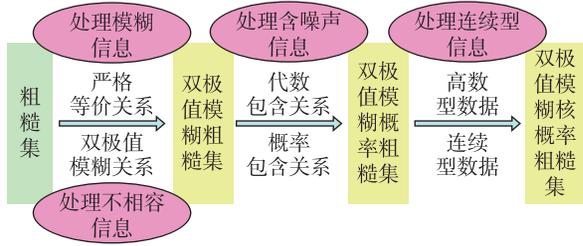


图2 双极值模糊粗糙集理论扩展

Fig.2 Theory extension of bipolar-valued fuzzy rough set

处理上存在很大差异,特别是连续型数据在离散化过程中很容易丢失有用的信息,因此应分别针对离散型和连续型的冲突数据,给出基于双极模糊粗糙集的特征选取方法,还应该系统地研究双极值模糊分类、聚类、优化、决策等一些列方法.同时在应用领域方面,从前文分析可以看出,实际上任何行业、领域都存在着不相容两极情形,因此,可以预见的是当双极模糊分析理论与方法建立起来后,其有着广泛的应用前景.

参考文献

References

[1] Zadeh L A. Fuzzy sets [J]. Information and Control, 1965, 8(3) : 338-353

[2] Zadeh L A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning: I [J]. Information Sciences, 1975, 8: 199-249

[3] Atanassov K T. Intuitionistic fuzzy sets [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1986, 20(1) : 87-96

[4] 陈图云,韩莹,廖士中.扰动模糊命题逻辑 I2 的最大子代数及其广义重言式 [J]. 工程数学学报, 2003, 20(2) : 118-120
CHEN Tuyun, HAN Ying, LIAO Shizhong. The largest sub-algebra and its generalized tautology in disturbing fuzzy propositional logic [J]. Chinese Journal of Engineering Mathematics, 2003, 20(2) : 118-120

[5] Zhang W R. Bipolar fuzzy sets and relations: A computational framework for cognitive modeling and multi-agent decision analysis [C] // Proceedings of the First International Joint Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society Biannual Conference, 1994: 305-309

[6] Zhang W R. YinYang bipolar relativity: A unifying theory of nature, agents and causality with applications in quantum computing, cognitive informatics and life sciences [M]. Hershey, Pennsylvania, US: IGI Global, 2011

[7] Mesiarová-Zemánková A, Ahmad K. Extended multipolarity and multi-polar-valued fuzzy sets [J]. Fuzzy Sets and Systems, 2014, 234: 61-78

[8] Zhang W R. YinYang bipolar lattices and L-Sets for bipolar knowledge fusion, visualization, and decision [J].

International Journal of Information Technology and Decision Making, 2005, 10(4) : 621-645

[9] Lee K M. Comparison of interval-valued fuzzy sets, intuitionistic fuzzy sets, and bipolar-valued fuzzy sets [J]. Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, 2004, 14(2) : 125-129

[10] Akram M. Bipolar fuzzy graphs [J]. Information Sciences, 2011, 181(24) : 5548-5564

[11] Akram M, Karunambigai M G. Metric in bipolar fuzzy graphs [J]. World Applied Sciences Journal, 2011, 14: 1920-1927

[12] Akram M, Dudek W A. Regular bipolar fuzzy graphs [J]. Neural Computing & Applications, 2012, 21 (Sup 1) : 197-205

[13] Akram M. Bipolar fuzzy graphs with applications [J]. Knowledge-Based Systems, 2013, 39: 1-8

[14] Samanta S, Pal M. Irregular bipolar fuzzy graphs [J]. International Journal of Applications of Fuzzy Sets, 2012, 2: 91-102

[15] Niesink P, Poulin K, Matejašajna M. Computing transitive closure of bipolar weighted digraphs [J]. Discrete Applied Mathematics, 2013, 161(1/2) : 217-243

[16] Talebi A A, Rashmanlou L. Complement and isomorphism on bipolar fuzzy graphs [J]. Fuzzy Information and Engineering, 2014, 61(4) : 505-522

[17] Dubois D, Prade H. Gradualness, uncertainty and bipolarity: Making sense of fuzzy sets [J]. Fuzzy Sets and Systems, 2012, 192(3) : 3-24

[18] Dubey D, Mehra A. A bipolar approach in fuzzy multi-objective linear programming [J]. Fuzzy Sets and Systems, 2014, 246(4) : 127-141

[19] Bouzarour-Amokrane Y, Tchangani A, Peres F. A bipolar consensus approach for group decision making problems [J]. Expert Systems with Applications, 2015, 42(3) : 1759-1772

[20] Mesiarová-Zemánková A, Ahmad K. Averaging operators in fuzzy classification systems [J]. Fuzzy Sets and Systems, 2015, 270: 53-73

[21] Borkotokey S, Hazarika P, Mesiar R. Fuzzy bi-cooperative games in multilinear extension form [J]. Fuzzy Sets and Systems, 2015, 259: 44-55

[22] Tang Y C, Lawry J. On truth-gaps, truth-gluts, and bipolar propositions [J]. International Journal of Approximate Reasoning, 2015, 56A: 137-151

[23] Lawry J, Tang Y C. On truth-gaps, bipolar belief and the assertability of vague propositions [J]. Artificial Intelligence, 2012, 191/192(15) : 20-41

[24] Lawry J, Gonzalez-Rodriguez I. A bipolar model of assertability and belief [J]. International Journal of Approximate Reasoning, 2011, 52(1) : 76-91

[25] Greco S, Mesiar R, Rindone F. Discrete bipolar universal integrals [J]. Fuzzy Sets and Systems, 2014, 252(1) : 55-65

[26] Han Y, Shi P, Chen S. Bipolar-valued rough fuzzy set and its applications to decision information system [J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2015, DOI: 10.1109/TFUZZ.2015.2423707

[27] 杨文华.关于区间值模糊图和双极值模糊图的几个问

- 题[D].西安:陕西师范大学数学与信息科学学院,2013
- YANG Wenhua. some problems about interval-valued fuzzy graph and bipolar fuzzy graph[D].Xi'an:School of Mathematics and Information Science, Shaanxi Normal University, 2013
- [28] 杨京开.双极模糊有限状态机的代数刻画[J].模糊系统与数学,2014,28(1):46-52
- YANG Jingkai. Algebraic characterizations of bipolar fuzzy finite state machine[J]. Fuzzy Systems and Mathematics, 2014, 28(1): 46-52
- [29] 杨京开.双极模糊有限状态机的半群[J].模糊系统与数学,2014,28(2):86-90
- YANG Jingkai. Semigroups of bipolar fuzzy finite state machines[J]. Fuzzy Systems and Mathematics, 2014, 28(2): 86-90
- [30] 杨文华,李生刚.双极值模糊软集[J].计算机工程与应用,2012,48(35):15-18
- YANG Wenhua, LI Shenggang. Bipolar-valued fuzzy soft sets[J]. Computer Engineering and Applications, 2012, 48(35): 15-18
- [31] 殷霞,廖祖华,章里程,等.双极值模糊(反)软子群[J].计算机工程与应用,2013,49(19):58-62
- YIN Xia, LIAO Zuhua, ZHANG Licheng, et al. Bipolar-valued fuzzy (anty-) soft subgroups[J]. Computer Engineering and Applications, 2013, 49(19): 58-62
- [32] 刘晓妮,廖祖华,罗晓棠.半群的双极值模糊软理想[J].小型微型计算机系统,2014,35(11):2515-2518.
- LIU Xiaoni, LIAO Zuhua, LUO Xiaotang. Bipolar-value fuzzy soft ideals of semigroups[J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2014, 35(11): 2515-2518
- [33] 罗晓棠,廖祖华,刘晓妮,等.半群的双极值模糊软双理想[J].江南大学学报:自然科学版,2014,13(2):222-227
- LUO Xiaotang, LIAO Zuhua, LIU Xiaoni, et al. Bipolar-value fuzzy soft bi-ideals of subgroups[J]. Journal of Jiangnan University: Natural Science Edition, 2014, 13(2): 222-227
- [34] 钱庆庆,吴涛,赵妍,等.基于动态双极值模糊软集的群决策方法[J].计算机工程与应用,2014,50(12):38-41
- QIAN Qingqing, WU Tao, ZHAO Yan, et al. Group decision making method based on dynamic bipolar-valued fuzzy soft sets[J]. Computer Engineering and Applications, 2014, 50(12): 38-41
- [35] 钱庆庆,吴涛,宋雷,等.基于动态双极值模糊软矩阵的群决策新方法[J].合肥学院学报:自然科学版,2015,25(1):14-18
- QIAN Qingqing, WU Tao, SONG Lei, et al. A new group decision making methods based on dynamic bipolar-valued fuzzy soft matrices[J]. Journal of Hefei University: Natural Science Edition, 2015, 25(1): 14-18
- [36] 胡永瑞,毛军军,赵愿.基于时序广义双极值模糊软集的群决策方法[J].佳木斯大学学报:自然科学版,2014,32(5):774-778
- HU Yongrui, MAO Junjun, ZHAO Yuan. Group decision making method based on the time-series generalized bipolar-value fuzzy soft sets[J]. Journal of Jiamusi University: Natural Science Edition, 2014, 32(5): 774-778
- [37] 钱庆庆,吴涛,赵妍.优势关系下的二粒度双极值粗糙模型[J].计算机工程与应用, <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2127.TP.20150320.1509.003.html>
- QIAN Qingqing, WU Tao, ZHAO Yan, et al. Two-granulation bipolar-valued rough model based on dominance relation[J]. Computer Engineering and Applications, <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2127.TP.20150320.1509.003.html>
- [38] Zhang W R. YinYang bipolar fuzzy sets and fuzzy equilibrium relations for bipolar clustering, optimization, and global regulation[J]. International Journal of Information Technology and Decision Making, 2006, 5(1): 19-46
- [39] Zhang W R, Pandurangi A, Peace K. YinYang dynamic neurobiological modeling and diagnostic analysis of major depressive and bipolar disorders[J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2007, 54(10): 1729-1739
- [40] Zhang W R, Zhang H J, Shi Y, et al. Bipolar linear algebra and YinYang-N-Element cellular networks for equilibrium-based bio-system simulation and regulation[J]. Journal of Biological Systems, 2009, 17(3): 547-576
- [41] Grabisch M, Greco S, Pirlot M. Bipolar and bivariate models in multi-criteria decision analysis: Descriptive and constructive approaches[J]. International Journal of Intelligent Systems, 2008, 23(9): 930-969
- [42] Zhou Q, Yik J H. The Yin and Yang of P-TEFb regulation: Implications for human immunodeficiency virus gene expression and global control of cell growth and differentiation[J]. Microbiology & Molecular Biology Reviews, 2006, 70(3): 646-659
- [43] Bordogna G, Boschetti M, Brivio P A, et al. Handling heterogeneous bipolar information for modelling environmental syndromes of global change[J]. Environmental Modelling & Software, 2012, 36(3): 131-147
- [44] Delgado M, Marín N, Pérez Y, et al. Bipolar queries on fuzzy univalued and multivalued attributes in object databases[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2015, <http://dx.doi.org/10.1016/j.fss.2015.04.003>
- [45] Guillard V, Buche P, Destercke S, et al. A decision support system to design modified atmosphere packaging for fresh produce based on a bipolar flexible querying approach[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2015, 111: 131-139
- [46] De Tre' G, Zadrozny S, Bronselaer A. Handling bipolarity in elementary queries to possibilistic databases[J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2010, 18(3): 599-612
- [47] Bosc P, Pivert O. On a fuzzy bipolar relational algebra[J]. Information Sciences, 2013, 219(1): 1-16
- [48] Kacprzyk J, Zadrozny S, De Tré G. Fuzziness in database management systems: Half a century of developments and future prospects[J]. Fuzzy Sets and System, 2015, 281: 300-307
- [49] Zhou C G, Zeng X Q, Jiang H B, et al. A generalized bipolar auto-associative memory model based on discrete recurrent neural networks[J]. Neurocomputing, 2015, 162: 201-208
- [50] Robati A, Barani G A, Pour H N A, et al. Balanced fuzzy

- particle swarm optimization [J]. Applied Mathematical Modelling, 2012, 36(5) : 2169-2177
- [51] Dubois D, Prade H. An overview of the asymmetric bipolar representation of positive and negative information in possibility theory [J]. Fuzzy Sets & Systems, 2009, 160 (10) : 1355-1366
- [52] Benferhat S, Dubois D, Kaci S, et al. Bipolar possibility theory in preference modeling: Representation, fusion and optimal solutions [J]. Information Fusion, 2006, 7 (1) : 135-150
- [53] Labreuche C, Grabisch M. Generalized Choquet-like aggregation functions for handling bipolar scales [J]. European Journal of Operational Research, 2006, 172 (3) : 931-955
- [54] 邱飞岳, 吴裕市, 邱启仓, 等. 基于双极偏好占优的高维目标进化算法 [J]. 软件学报, 2013, 24(3) : 476-489
QIU Feiyue, WU Yushi, QIU Qicang, et al. Many-objective evolutionary algorithm based on bipolar preferences dominance [J]. Journal of Software, 2013, 24 (3) : 476-489
- [55] 王丽萍, 江波, 蔡建湖, 等. 基于双极偏好控制的多目标粒子群优化算法研究 [J]. 信息与控制, 2009, 38 (6) : 711-717
- WANG Liping, JIANG Bo, JIANG Jianhu, et al. Multi-objective particle swarm optimization based on bipolar preferences control [J]. Information and Control, 2009, 38 (6) : 711-717
- [56] 杨英芝. 基于双极二元语义的语言型多属性决策方法研究 [M]. 南宁: 广西大学数学与信息科学学院, 2014
YANG Yingzhi. Study on multiple attribute decision making under linguistic environment by bipolar 2-tuple fuzzy linguistic representation model [M]. Nanning: School of Mathematics and Information Science, Guangxi University, 2014
- [57] 王国俊, 段景瑶. 双极信息的聚合与分解 [J]. 软件学报, 2014, 25(11) : 2518-2527
WANG Guojun, DUAN Jingyao. Aggregation and decomposition of bipolar information [J]. Journal of Software, 2014, 25(11) : 2518-2527
- [58] 韩莹, 陈胜. 类序关系下剩余型双极值 FMP 问题的 3I 推理方法及其鲁棒性 [J]. 模糊系统与数学 (已录用)
HAN Ying, CHEN Sheng. 3I reasoning method to residual bipolar-valued FMT problems and its robustness based on the category order relation [J]. Fuzzy Systems and Mathematics (accepted)

Research summary of bipolar-valued fuzzysets

HAN Ying¹ CHEN Sheng¹

¹ Jiangsu Key Laboratory of Big Data Analysis Technology, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

Abstract In the big data background, not only the uncertainty of data is getting increasingly apparent, but also the incompatibility of data is becoming more and more prominent. The bipolarity as well as the fuzziness, is the instinct nature of everything. Although fuzzy set is the powerful tool to handle uncertain information, it has always neglected the incompatible bipolarity. Bipolar-valued fuzzy set introduced the incompatible bipolarity into fuzzy set theory, providing a new way to analyze and solve big data with incompatible nature, which has become a research hotspot. In this research summary, the category and characteristics of bipolarity are illustrated, then some concepts and theories are reviewed, especially the difference between bipolar-valued fuzzy sets and other corresponding fuzzy sets. Secondly, the research situations on bipolar-valued fuzzy set in domestic and world circles are discussed. Last but not least, the future development trend of bipolar-valued fuzzy set is analyzed. The summary provides an overall insight, as well as constructs solid foundation for further study into bipolar-valued fuzzy set.

Key words fuzzy set; bipolar-valued fuzzy set; bipolarity; inconsistent bipolarity; big data