

自动谈判及其基于模糊集模型综述

罗旭东¹ 黄俏娟¹ 詹捷宇²

(广西师范大学计算机科学与信息工程学院 广西 桂林 541000)¹

(华南师范大学计算机学院 广州 510631)²

摘 要 谈判是两个或多个利益者为了达成协议进行交流沟通的过程,自动谈判就是用人工智能系统来自动化这一过程。文中首先讨论了自动谈判的研究意义。从国家层面上来看,研究和开发这样的系统是符合国家人工智能发展战略的,不仅能帮助人们在电子商务时代生活得更美好,而且能用计算机系统代替人工谈判来减少腐败现象。然后,勾画了关于谈判的研究在博弈论、管理科学和计算机科学中发展的脉络和趋势。在博弈论领域,是诺贝尔经济学奖获得者 Nash 开创了对谈判的研究。这类研究最大的问题是假设谈判的各方所有信息一定程度上是公开的,但这是不现实的。所以,管理科学领域的研究者着重研究了在各方所有信息不公开的情形下应该怎样进行人工谈判。一般,人工谈判是低效、困难的,并且常常不能达到最优的结果。于是计算机科学家就尝试用机器来代替人工谈判。早期主要研究计算机对计算机的自动谈判,现在研究的重点正转向计算机对人的自动谈判。最后,综述了将模糊逻辑和模糊约束应用于开发自动谈判智能代理的方法。文中着重说明了这两种模糊方法在自动谈判系统中的使用方法,以及模糊自动谈判系统的实际用途。

关键词 自动谈判,人工智能,电子商务,智能代理,模糊逻辑,模糊约束,机器学习

中图分类号 TP18 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/jsjx.190800129

A Survey of Automated Negotiation and Its Fuzzy Set Based Models

LUO Xu-dong¹ HUANG Qiao-juan¹ ZHAN Jie-yu²

(College of Computer Science and Information Engineering, Guangxi Normal University, Guilin, Guangxi 541000, China)¹

(School of Computer Science, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)²

Abstract Negotiation is a process in which two or more interested parties communicate with each other for an agreement, automated negotiation is to use artificial intelligence system to automate this process. This paper first discussed the significance of studying automated negotiation. At the national level, the research and development of such systems is consistent with the national AI development strategy of China. It can not only help people live a better life in the e-commerce era, but also reduce corruption by using computer systems instead of manual negotiation. Secondly, the development of negotiation proceeds in game theory, management science and computer science were outlined. The Nobel laureate in economics, Nash, started the study of negotiation in the field of game theory. However, the biggest problem in such study is the assumption that all information of negotiating parties involved is essentially public, which is unrealistic. Therefore, researchers in management science focus on how to conduct manual negotiation when all information of all parties is not disclosed. In general, manual negotiation is inefficient and difficult, and often fails to achieve optimal results. As a result, computer scientists are trying to replace manual negotiate with madnines. At the beginning, they focused on the computer-to-computer automated negotiation. Now their focus is turning to computer-to-human automated negotiation. Finally, methods of using fuzzy logic and fuzzy constraints to develop intelligent agents for automated negotiation were summarised. This paper focused on the application of these two fuzzy methods in the automatic negotiation system and the practical application of fuzzy automatic negotiation system.

Keywords Automated negotiation, Artificial intelligence, Electronic commerce, Intelligent agent, Fuzzy logic, Fuzzy constraint, Machine learning

到稿日期:2019-05-27 返修日期:2019-09-15 本文受国家自然科学基金项目(61762016),广西研究生教育创新计划项目(XYCSZ2019069)资助。

罗旭东(1963—),博士,教授,博士生导师,CCF 会员,主要研究方向为人工智能、管理科学和工程以及逻辑学,E-mail:luoxd@mailbox.gxnu.edu.cn(通信作者);黄俏娟(1992—),硕士生,主要研究方向为智能软件和自然语言处理;詹捷宇(1988—),博士,讲师,CCF 会员,主要研究方向为多主体系统等。

1 研究自动谈判的意义

目前,如何利用人工智能技术来提高社会生产效率、改善人民生活是我国政府的工作重点之一,也是全人类需要共同面对的问题。2017年“人工智能”首次被写入政府工作报告,加快人工智能技术研发转化成为政府的重点工作任务之一。特别地,2017年7月,国务院关于印发《新一代人工智能发展规划》的通知更是表明了我国对人工智能发展的重视和前所未有的支持力度。2018年3月,在十三届全国人大一次会议上“人工智能”再次被正式写入政府工作报告,表明了我国对人工智能的研究和开发的高度重视和决心。《2018年政府工作报告》要求:加强新一代人工智能的研发应用;在医疗、养老、教育、文化、体育等多领域推进“互联网+”;发展智能产业,拓展智能生活。因此,紧跟人工智能技术的发展战略,开展与自动谈判智能代理模型相关的基础研究和开发智能人机谈判平台的应用研究是十分有意义的。

目前,电子商务的发展也迫切需求自动谈判系统的支持。大数据公司星途统计显示,2018年双十一全网总销售额达3143亿元,产生包裹13.4亿个^[1]。143亿元相当于某些城市一年的GDP了。而中国电子商务研究中心发布的2018年度中国电子商务市场数据监测报告^[2]显示,2018年中国电子商务交易额达31.63万亿元。而2018年广东省的GDP只超过9.73万亿元,是国内首个超过9.73万亿元的省份^[3]。如此庞大的交易额反映了人们对电子商务的喜爱以及电子商务市场的巨大潜力。在电子商务中,商家和客户之间不可避免地需要进行大量的谈判协商,不仅针对商品的价格,还针对商品的发货方式、送货时间和售后服务等。因而,目前亟需帮助买卖双方进行协商的自动谈判代理。

然而,目前大部分的电子商务平台不存在谈判环节;部分C2C的交易平台支持人工谈判,但需要耗费买卖双方大量的时间成本和精力;部分B2C的交易平台也提供了谈判的入口,如京东电器的砍价功能,但谈判的功能相对简单,不能满足大部分用户的需求,而且用户进行人工谈判时如果谈判的内容较多且时间过长,容易出现谈判策略上的纰漏,难以达到最好的谈判结果。因此,对自动谈判的理论和方法进行广泛研究并且构建智能谈判平台,能够节省大量人力物力,免去部分不喜欢或者不擅长谈判的用户直接面对谈判的困境。

一般而言,谈判是两个或多个利益相关者在特定事情上为达成协议而进行的一个交流过程^[4-6]。广义上,谈判在生活中无处不在,小到在购物中心买东西、网上购物,大到国际贸易、国家外交。人工谈判是一件费时耗力的事情,特别是在参与者较多,涉及内容较多且较复杂时。而且对于普通人,谈判中常常会遇到以下4个具体问题:1)单靠个人的有限能力很难获得最优结果;2)在与实力不对等的对手(如个人对企业等)进行谈判时往往处于弱势,很难得到一个满意的结果;3)人与人的性格有所差异,有些人不喜欢与他人谈判,遇事往往采取逃避的方式或者一味地忍让,这样很难解决问题并使自己始终处于不利的地位;4)谈判者在谈判过程中也许会受到其文化背景的影响,表现出不同的谈判思路和谈判方式,难以使谈判取得进展和达成协议。根据自身文化理解不同文化背景

的对手,甚至可能使本来可以成功的谈判面临破裂的局面。

自动谈判的代理能够有效地解决上述问题,原因如下:

1)自动谈判代理能够同时与大量对手进行高效率谈判,在短时间求得最优的结果。人工谈判往往需要参与者在同一时间或地点进行交流,代价较高,而且难以找到解决办法。2)自动谈判代理没有情绪问题,可以使用户避免因为紧张、害羞等而遭受损失,也可以使不喜欢谈判的人士不必直接面对谈判仍能获得谈判益处。3)自动谈判代理能快速获取市场最新信息并迅速处理,精心设计的自动谈判代理也能让缺乏谈判经验的普通人得到专业谈判人员才能得到的结果。4)充足的数据基础能够整合不同文化下讨价还价的一般范式,减少不必要的文化差异。5)合理的模型和求解算法能够保证讨价还价的高成功率和高效率,同时兼顾公平,实现双赢的局面。所以,自动谈判系统能够很好地满足用户自动谈判需求,降低不理性谈判行为的发生,提高谈判效率和效益。

由于人们所处的具体情况不同,对事物的侧重点也不同,因此人们的需求和偏好往往不一致,甚至相矛盾。若要达到合作完成一项任务或合理分配资源的目的,就需要通过谈判找到彼此接受的方案。因此,自动谈判系统为我国集中力量、协调众多部门、统筹规划提供了有力的支持手段。

这具体表现为两个方面:1)当前很多突发社会问题的处理,必须依赖多个部门、多个团体的共同协作才能够完成,而解决方案必须是由这些部门和团体共同协商制定。所以,需要在自动谈判系统的辅助下快速制定方案,以应对随时发生、需要迅速处理的各种社会问题。例如对于跨国缉毒,只有各国缉毒部门根据本国情况和所要达到的目的,通过自动谈判系统快速地做出决策,才能抓到犯罪分子。2)自动谈判系统能够避免违法操作,减少腐败行为。例如,媒体揭露的高铁建设工程招标投标中就存在严重贿赂问题。用自动谈判系统代替人来讨价还价,可以减少谈判代表为了一己私欲而无视国家法规和企业利益而做出不合理的让步行为,可以避免公家或者企业的利益遭受不必要的损失,有效地抑制腐败。譬如可以在计算机系统中用“规则限制”方式,阻止不合理或者不理性的决策出现,而这是只有有限理性的个人难以做到的。当然如何设置这些限制规则,是值得深入研究的。

2 谈判中各个领域现状及发展趋势

谈判主要是在博弈论、管理科学和计算机科学这3个领域中进行研究。

2.1 博弈论

在博弈论领域,最早关于谈判的工作由诺贝尔经济学奖获得者Nash完成^[7]。其特点是假设谈判各方的信息都在一起,然后计算出满足预先设定的一组公理的解作为谈判的结果。具体地,Nash讨价还价的解要满足:1)帕累托最优性(Pareto optimality),即不存在别的解能利己不损人;2)对称性(Symmetry),即谈判者交换位置,解还是一样的;3)等价盈利不变性(Scale Invariance),即把所有谈判者的效用函数都扩大或缩小同样的倍数,解还是一样的;4)无关选择独立性(Independence of Irrelevant Alternatives),即解不受无关选择的影响。从上述4个公理角度来说,Nash讨价还价的解是合

理。但随着研究的深入,人们发现即使满足这4个公理,得到的解在现实中对于某些具体问题仍是不合理的。例如破产问题,此时的解就缺乏公平性。

于是一些学者提出了其他解的概念,而其中极具影响力的是由 Kalai 等^[8]提出的 K-S 解的概念。他们的基本思想是:首先找谈判双方在讨价还价问题中各自所能获取的最大效用;然后用直线将最大效用对应的组合点与谈判破裂组合点相连;最后从这条线与效用配置集的交集中,选取最接近最大效用的效用配置所对应的可行结果集,作为这个讨价还价问题的解。该解满足了 Nash 提出的帕累托最优性、对称性和等价盈利不变性,以及他的模型未考虑的单调性。

博弈论中除了这类直接找满足一组公理的解的讨价还价问题外,还有其他形式的讨价还价模型。其中最具有代表性的是 Rubinstein 提出的轮流出价模型^[9]。对这类问题的研究重点不是考虑谈判的结果应该满足什么样的公理和如何找到满足这些公理的解,而是确定在各种因素的影响下博弈的均衡点(即谈判结果)的位置。

Li 等^[10]从实验经济学的角度总结了以往在合作博弈和非合作博弈情况下讨价还价行为的实验结果与理论分析结果之间的区别和联系。一般而言,行为实验的结果与博弈论的理论分析结果存在较大的出入。特别是在非合作框架下,已有的大部分实验与非合作下讨价还价子博弈完美均衡的解是不一致的。这清楚地表明人们除了追求自身利益之外,还存在公平意识和利他行为。Du 等^[11]基于 Nash 讨价还价的博弈思想来构建公平关切参考框架,从而刻画出决策者对公平的感知,构建公平关切效用体系,探讨了公平关切行为倾向对供应链成员决策与协调的影响。Chen 等^[12]通过实验验证了决策者对自身及对手特定权利等的认知对其选择策略有一定影响(权利认知效应)。他们具体考查了 240 名不同年龄的被试在最后通牒和 Nash 议价中这两种议价博弈任务的决策表现。结果表明:1)6 到 12 岁的儿童和大学生中均存在权利认知效应;2)随着年龄增长,受权利认知影响的人数逐渐减少;3)在议价博弈决策中,儿童对分配权的认知程度较高。

2.2 管理科学

博弈论方法最大的弱点是要假设谈判各方的各种信息至少一定程度上对谈判的各方都是公共知识。这与现实相差甚远。例如,在当代商务谈判中,要谈判各方共享各自商业机密,基本上是不可能的^[13]。即使让一方去猜测另一方也很难。所以,很难用博弈论的方法共享所有私有信息为谈判的各方找到一个某种意义上合理的解作为谈判的结果。于是,管理科学提出了一套理论和方法来解决现实生活中的谈判问题。特别地,哈佛商学院提出的原则性谈判方法被广泛的采用^[14]。

当前跨文化的谈判是管理科学中的一个重要研究方向,因为谈判的过程和结果与文化背景有关^[15]。跨文化谈判者能够很好地理解各自的谈判规范时,就能在谈判中正确地解读对方的提议并调整自己的谈判策略。然而,当前的研究只专注于谈判者自身的文化背景(如价值观、规范、信念等)对谈判过程和结果的直接作用。但不止谈判者自身的文化背景能影响谈判结果,还有许多不同的因素也会影响谈判结果,例如谈判者如何准备以及考虑对方的文化,目前这类研究尚少。

2.3 计算机科学

基本上,管理科学中研究的主要是谈判的各种人工方法。但人工谈判效率很低,易受各种人为因素(如疲劳、不好意思、过于紧张)的影响,结果更是要取决于谈判者的谈判技巧。为了克服这些问题,在计算机科学领域,学者们开始研究如何将谈判自动化,他们提出的自动化模型包括双边谈判模型^[4-16]、多边谈判模型^[17-18]和并发谈判模型^[19-21]等。这些模型所用到的谈判方法包括了主要的人工谈判方法,如让步^[22]、权衡各种因素^[14]、奖励以及威胁^[23]、论证^[24-25]等。自动谈判系统的应用领域有电子商务^[26-27]、供应链^[28-29]、协同产品开发^[30]、网格/云计算^[31]、大数据^[32]、数据交换^[33]、自动驾驶汽车^[34-36]、医疗服务^[37]、教育^[38]、旅游业^[39]、环境资源管理^[40]等。英国帝国理工的 Jennings 院士等^[5]对自动谈判领域做了一个很好的综述,是该领域的重要文献。2012 年,Luo 等^[6]提出了一套完整的开发自动谈判系统的方法学。

在自动谈判领域中,最初的主要工作集中在研究计算机对计算机的谈判上,最近人们开始研究人机谈判^[41]。例如,Vahidov 等^[42]研究了软件代理与人类谈判的前景。在他们的实验中,大学生作为买方,软件代理作为卖方(具有不同的让步策略),双方通过网络进行手机买卖谈判,为期两天。实验结果表明,谈判任务的复杂性(由谈判中属性的数决定)与谈判策略之间的相互作用,对谈判的结果和人类参与者进行的主观评估有着显著的影响。特别地,相比软件代理用让步策略,其用竞争策略时任务复杂性对谈判的成功率影响更大。随着谈判变得越复杂,采用竞争策略的软件代理的谈判成功率变得越来越小,谈判成功后所得到的效用也越小。而采用让步策略的谈判代理在以上方面变化不明显。同时,受试者(即大学生)在与采用竞争策略的谈判代理进行复杂度更高的谈判时,会主观上认为谈判系统更容易使用。这是因为使用竞争策略的谈判代理的让步对于受试者来说太不明显了,受试者以为竞争代理用的是一个固定出价的机制,而固定出价比谈判中用变化较大的让步策略的认知负担轻。该工作的不足之处在于,为期两天的实验是在网上而不是在实验室中进行的,因此,缺少对受试者行为的可控性,这对实验结果可能有不明影响。未来可以研究在不同谈判复杂度(如谈判中有 1 个属性、3 个属性、5 个属性或 10 个属性等)下的谈判情况。此外,人类谈判者本身的性格也是一个可以考虑的因素,比如考虑了人类对冲突的不同管理风格,会更易理解谈判结果和受试者的主观评估。

一般地,若要进行人机谈判,由于谈判的一方是人,有必要考虑人的心理因素对谈判的影响^[43]。事实上,一些心理学实验证实了人的心理因素的确在谈判中起着重要作用。例如,Rothman 等^[44]发现一个人类谈判者表现出的矛盾情绪有助于获得较好的结果。Kleef 等^[45]探讨了愤怒和快乐在谈判中的人际效应,实验表明,谈判的一方对一个愤怒对手的让步多于一个快乐对手的,因为谈判的一方用情感信息识别了对手的局限,相应地调整他们的要求。Adam 等^[46]通过假设的谈判情景以及计算机模拟,观察到愤怒的情绪对不同的种群在讨价还价中的影响是不一样的:愤怒会使得欧美的谈判者让步比较多,而对于亚洲和美洲亚裔谈判者的影响相对较少。

他们另外一个实验为这种现象提供了依据,即不同种群对愤怒表达的适当程度有不同的文化规范。如果愤怒的表达方式符合亚洲人的文化规范,则可以得到与欧美谈判者一样的让步幅度。这就说明了文化在讨价还价中扮演了重要的角色。

Kleef 等^[47]又进一步研究了更多具有社会效应的情感因素对谈判的影响,例如失望、焦虑、内疚和后悔等情绪对让步程度的影响。他们从一个计算机模拟的谈判实验中观察到,参与者会对一个因失望、焦虑而处于恳求状态(Supplication)的对手做较大让步;相反,对一个因内疚、后悔而处于安抚状态(Appeasement)的对手让步较小。他们的另一个实验表明,失望和内疚对让步所起的影响会受到参与者对对手的信任程度制约。参与者对一个信任度比较高的失望对手做出的让步比对一个高兴对手做出的让步大;但是当信任度不高时,这种差异并不明显。他们在最后一个实验通过控制对手个性信息的方式来调节参与者的信任程度,得到了很好的模拟效果,验证了第二个实验的结果。

Hareli 等^[48]通过实验测试了两种影响谈判的因素(个人社交能力^[49-50]以及对手的情绪状态^[45-47])之间的相互关系。实验结果表明,虽然社交能力在谈判中是一个重要的因素,但是对手的情绪状态更能传递出有价值的信息,并且这种重要性会随着时间的推移而增加。

上述研究都揭示了情感因素对人与人谈判的影响。研究人员也发现情感因素对人与机器谈判的确有影响。例如进行谈判时, Lee 等^[51]发现,人与认知能力和情感能力高的自动谈判系统比与这两种能力差的系统进行谈判的获利更高,因此这两种能力差的系统与人类谈判反而获利较好。然而这并不意味着这样不利于自动谈判系统,因为人们能获利就会变成回头客^[52]。所以,这样的系统有利于与人类对手建立长期关系,使利益最大化。此外,对于人机谈判, Kim 等^[53]甚至用磁共振成像扫描的方法证明了对于谈判中自动谈判系统的 3 种类型提议,人大脑中与情感相关的区域会显示不同的活动模式。Kim 等^[54]还进一步用磁共振成像扫描方法证实了与人谈判或与计算机系统谈判时,人的行为是不一样的。因此,怎样在自动谈判系统中处理这种差别是值得深入研究的。

但也有研究者认为人机谈判中人们更少受情绪影响。事实上, Adam 等^[55]用神经心理学测量方法研究了人机谈判。他们发现,人对计算机系统谈判提议比对人的提议要求高;而对计算机的提议,人是否接受,情况较复杂。在情况紧急时,人比较愿意接受;否则就不愿意接受。这说明了人与计算机谈判更少受到情绪的影响,因此可以提高经济效应。总之,他们的实验说明了研发机器对自动谈判系统是有意义的。

尽管心理因素对谈判影响重大,现在人机谈判的研究中却很少涉及,因此值得开展这方面的深入研究。个别人机谈判系统考虑了人的情绪。例如, Cao 等^[56]研发了这样一个系统:在谈判中人若让步大,它也会让步大,以取悦人类谈判对手,尽快达到谈判协议的目的。若不考虑人的情绪,自动系统在对手让步大时应当让步小,以获取更多利益。这样做对于机器对机器的谈判没有问题,但很可能激怒人类对手退出谈判,最后一无所获。

若与文化背景不同的人进行谈判,自动系统还需要考虑

文化因素。在这方面相关研究非常少。实际上我们只找到两例,第一个是 Haim 等^[57-58]设计了一个跨文化的与人自动谈判的系统,它用机器学习的方法来预测文化背景不同的人对谈判提议的反应以及他们履行协议的情况。该系统与黎巴嫩、美国和以色列这 3 个谈判行为差别很大的国家的 157 人进行了比赛并取得了胜利。第二个是 Haim 等^[59]考虑了三方人机谈判:两方为服务提供商,双方竞争与一个服务需求者谈判,争取服务需求者与它们签合同。他们先用自动谈判系统代表服务需求方与代表服务提供商进行了谈判,发现用根据博弈论算出的均衡策略的自动谈判系统比与代表服务提供商谈判的人表现得好多;相反,用自动谈判系统代表服务提供商与代表服务需求者的人进行谈判,自动谈判系统也比人表现好。这个实验结论是通过自动谈判系统与来自美国、中国和以色列 3 个国家的 500 人进行人机谈判得出的,考虑了跨文化的人机谈判。

其实不考虑文化差异,也可把机器学习用于人机谈判。例如 Mell 等^[60]把深度反馈神经网络应用到人机谈判中来预测谈判结果。但如何把研究结果应用于与人的自动谈判中,以提高谈判的成功率、人类谈判者的成就感和自动谈判系统的用户利益,是值得进一步研究的。

在机器对机器的自动谈判的研究中,有许多工作也用到了机器学习方法。1)用机器学习方法来建立谈判对手的模型^[61]。例如, Eshragh 等^[62]用递归贝叶斯过滤器在谈判过程中实时学习对手的偏好(用模糊集来表示的),学到的对手偏好模型用于生成己方提议。2)用机器学习方法来预测谈判结果。例如, Rodriguez-Fernandez 等^[63]用强化学习方法从一组预测合同价格中选择一个在实际中最可能的价格,以准备最可靠的谈判方案。3)用机器学习方法来选择谈判机制。自动谈判对不同的问题可以采取不同的机制,以达到最佳的效果。问题是面对特定问题时如何选择特定的机制。Aydogan 等^[64]用机器学习方法解决了这一问题。4)用机器学习方法来建立和更新谈判策略。Krohling 等^[65]提出了自动谈判系统从其环境中查询可用信息,并进行建模,最后用强化学习方法建立和更新谈判策略。

3 基于模糊逻辑的自动谈判

模糊逻辑是经典布尔逻辑的扩展,能处理部分真实概念。布尔逻辑坚持所有事物和陈述都必须用非真即假来判定。而模糊逻辑却不这样认为,它用隶属度表示一个陈述为真的程度。这些表示实际上接近于日常人们对问题的语意陈述,因为事件的真实性在日常生活中有时是部分的、不精确的、不清晰的、模糊的。模糊逻辑已经被广泛应用于实际生活中,比如洗衣机、空调、相机、电饭煲、自动汽车,甚至航天飞机等。在谈判系统中,许多信息的描述往往是模糊的。比如,买方需要一个外观炫酷、价格适中的手机。外观炫酷和价格适中这两个描述非常模糊、不精确,使用传统方法很难解决谈判中的类似问题。而模糊逻辑在刻画这类不确定信息上具有天然的优势,因而近年来也被用于商业谈判和讨价还价模型中,以表达一些难以用确切数字描述的影响因素。

模糊逻辑在自动谈判模型中的应用主要分为以下 3 类:

评估谈判提议、生成谈判提议和分析谈判对手。

3.1 评估谈判提议

Kolomvatsos 等^[66]提出了一个基于模糊逻辑的自动谈判模型。在这个模型中,买方用一个模糊推理机根据卖方价格、谈判剩余时间和卖方的提议与自己需求的相关性等因素来决定多大程度上接受卖方的报价。Zuo 等^[67]也利用模糊逻辑来评估双边谈判过程中的提议;此外,他们还区分了贪婪、焦虑和平静态度下的让步策略。Kolomvatsos 等^[68]提出了一个自适应的模糊逻辑谈判系统,其中买方代理能用谈判中更新的信息来添加模糊规则并改变相关模糊集的隶属函数。但是这个系统只应用于买方代理用模糊逻辑来评估卖方的提议是否可以接受,并没有涉及谈判策略。Arapoglo 等^[69]在谈判中使用模糊规则来表示买方的知识和推算对卖方提议的接受程度;他们还讨论了如何从数据中自动生成这些模糊规则。

Francisco 等^[70]提出了一个基于模糊谈判的多主体分布式模型预测控制器。其中,模糊逻辑规则用来评估谈判中的提议(即对方提出的控制行动)。具体地,模糊规则的前提条件考虑了3个有关控制行动的变量。两个变量代表一些相关的过程量及其约束满足,另一个变量代表与特定控制动作相关的成本。这些变量都是用模糊集(模糊语言辞)评价的,例如接受对方提议是否导致成本变化。模糊规则的结果表示控制动作的适用性,用语言辞“好”“可接受”“差”(表示为3个模糊集)来评估。其缺点是语言辞过于简单,可以考虑将每个变量评价的语言辞增到5个。

Zhang 等^[71]提出了一种多层次多目标的模糊综合评价方法,并在该评价方法的基础上构建模糊逻辑系统来实现谈判策略的推理。类似地,张林兰等^[72]提出可以采用基于模糊准则的方法来刻画定性属性的满意程度,但是他们在案例分析过程中并未真正使用这种方法。

3.2 提议的生成

谈判模型用模糊规则来生成提议,这类方法主要用于以下几个方面。

3.2.1 供应链

Costantino 等^[73]提出了一个基于中介的谈判模型来分析供应链中的一些交互行为。其模糊推理系统的输出结果是谈判代理应该在多大程度上做出让步。但是该模糊推理系统中的输入参数只包含了上一轮谈判的提议和市场当前状态。同时,该谈判模型只做了一个案例分析,并没有相应的理论和实验分析。Yahia 等^[74]也用模糊规则来生成在供应链中的提议,以解决合作规划问题。

3.2.2 网格和云市场

为了解决网格市场中的资源分配问题,Adabi 等^[75]分别为网格资源的消费者和提供者设计了两套模糊规则系统,综合考虑竞争对手的压力、贸易伙伴的压力、资源收购/租赁的全球市场条件和谈判条件,来确定市场压力,然后根据市场压力来确定让步的幅度。Haberland 等^[76]在网格计算资源谈判的背景下提出了一种基于模糊规则的自适应谈判策略。他们主要使用模糊逻辑系统根据资源分配者的行为来推理新的谈判策略,同时根据网格资源变化的总体方向和平均速度来调整模糊规则。

为了应对动态云服务市场环境中对对手行为仅部分了解且不精确的情况,Rajavel^[77]等提出了基于自适应神经网络模糊推理的谈判策略。它们将神经网络与模糊推理相结合,用反向传播和最小二乘法的混合算法调整模糊规则前提参数和结论参数。基于这种模糊推理系统的谈判策略能保证云服务供应商和需求者双方的效用值和谈判的成功率。

Shojaiemehr 等的综述^[78]着重说明了:1)当前云服务自动谈判研究中的开发问题和挑战;2)能为交易双方达成最大效用值的自动谈判系统特征;3)当前系统的缺陷。

3.2.3 拍卖

He 等^[79]把模糊规则应用到连续的双向拍卖(一种特殊的谈判)中来确定每一轮买方的竞价(bids)(即买方提议)和卖方喊价(asks)(即卖方提议)。Kaur 等^[90]提出了一个使用模糊推理的自动动态竞标方法。通过实验,他们发现运用回归分析的模糊推理方法的代理在拍卖成功率和期望效用两方面比用其他方法的代理表现得更好。然而,他们的拍卖方式只限于英式拍卖,所设计的代理所用的两个方法不能用于其他拍卖方式(如荷兰拍卖、第一价格密封报价拍卖和第二价格密封报价拍卖等)。文献^[81-83]也做了类似的研究,但是所有的这些系统并没有考虑谈判智能代理的偏好改变,也不涉及模糊规则获取的问题。

3.2.4 价格谈判

Volkmer 等^[84]提出一种双边价格谈判模型。其谈判主体是用模糊语言辞来表达对谈判进展和对手的评估,然后根据这些评估用模糊逻辑系统推导出每一轮己方最优的让步值。换言之,该方法也是用模糊逻辑来生成谈判提议,但在模糊推理时考虑了其他因素,而这些因素与自动谈判系统实际应用场景紧密相关。因此,可以将其加以改进用于其他实际问题,如司法领域的庭前调解谈判。

Yu 等^[85]提出了一种通过模糊规则动态调整卖家代理报价的方法。改变报价的程度主要根据所观察到的当前买卖双方的报价与卖方报价的历史参考价格之间的差距。这个价格参考点是对过去若干次的历史交易价格进行平均所得,所以他们的动态调整是依赖于已经完成的谈判情况。另外,他们也提出了一种根据交易频繁程度和对利润满意程度来调整冒险程度的模糊逻辑系统。

也有学者用模糊逻辑来确定谈判价格范围。例如 Cheng 等^[86]提出了一种以模糊逻辑系统为基础的方法来处理谈判的定价问题,也就是有效地确定合适的谈判价格边界来平衡客户关系与企业的利润。他们研究的重点在于如何从历史数据中进行学习,为一个特定的客户定一个特定的价格。他们的模糊逻辑系统建立了合理谈判报价和影响因素之间的关系,并利用最小二乘学习算法对模糊系统的参数进行了更新。此外,他们提出了一种简化的模糊系统,配备了单输入单输出模块,用于解决影响因素众多的高维定价问题。

3.2.5 多需求的谈判

Zhan 等^[87]提出了一个多需求的谈判模型。在该模型中,谈判代理的设计中考虑了人的心理特征:风险偏好、耐心程度和后悔程度。在谈判中,谈判代理会根据一些与心理特征相关的模糊规则来推理如何改变它们的需求偏好结构,以

生成合适的提议,最终获得更好的谈判结果。这些模糊规则是通过心理学实验获得的,这是其工作的一个显著特点。

在 Zhan 等的多需求谈判模型^[87]中,谈判一方每次让步幅度是固定的,即放弃现在坚持的需求中偏爱程度最低的一个需求。而现实中谈判者每轮让步幅度取决于其自身的意愿。为此,Yang 等^[88]用不同的模糊规则表示不同的意愿,即不同的让步策略。然后,他们做了大量计算机模拟实验,揭示用不同模糊谈判策略的谈判者进行谈判的结果。这是十分有趣的计算机模拟实验研究。可以考虑给这些出谈判主体装备强化学习算法,然后让它们进行多次谈判,用模拟实验来观察谈判策略和结果会如何变化。虽然 Bakker 等^[89]也利用强化学习的方法来学习谈判策略,然而他们的谈判策略不是用模糊规则表示的。因此,深入研究如何用强化学习方法动态调整用模糊规则表示的谈判策略是有意义的。

此外,Zhan 等^[90]基于区间二型模糊逻辑的谈判系统提出了能自适应让步策略的谈判代理。在已知谈判剩余时间和对手的合作程度等信息的情况下,他们用二型模糊规则来决定谈判代理如何改变自身的谈判策略。然而,该工作中的模糊规则只是简单地基于作者的直觉,而不是基于心理学的实验或者机器学习、数据挖掘的方法。Cheng 等^[86]用模糊规则来表达代理产生提议时所用的各种策略,同时,使用了一种简单的启发式方法来学习对方的偏好。

3.3 谈判对手分析

Kolomvatsos 等^[91]提出了一个用模糊规则来估计对手谈判截止时间的谈判模型。谈判的截止时间对谈判的结果有重大的影响。一般而言,如果知道对手可用于谈判的时间不多,则己方不用做出较大的让步,因为对方急于达成协议会做出较大的让步。该模型中的模糊规则是由专家设定的,这对专家而言是个困难的任务。为了克服该缺点,Kolomvatsos 等^[92]提出了一种聚类算法,自动根据数据生成模糊规则。Li 等^[93]提出了一种基于模糊逻辑推理的自动谈判系统,该系统使用模糊规则来表示谈判策略,并且通过贝叶斯学习的方法来重新评估对手对各个谈判议题的权重,同时通过遗传算法来更新模糊规则库中的参数。

3.4 进一步的研究方向

本文将从以下方面讨论把模糊逻辑用于自动谈判的一般发展方向。

首先,上述 3 类基于模糊规则的自动谈判模型,基本上都是用一型模糊逻辑处理模糊性。因此,这些模型不能很好地处理二型模糊逻辑能处理的更复杂的模糊性^[94]。因此,将上述所有工作推广到二型模糊逻辑^[95]上是非常有意义的。

其次,将计算机对计算机的自动谈判改进成计算机对人的自动谈判是很值得做的工作。其除了涉及人的心理因素外,还会用到自然语言处理技术^[96]。人类谈判者的情绪和人跟机器以自然语言对话中的模糊性,都是研发计算机对人自动谈判系统的巨大挑战。

最后,只有少量研究涉及如何建立自动谈判系统中用到模糊规则,大部分研究是根据系统开发者直觉、专家指定、心理学实验、机器学习和数据挖掘的这几种方法进行设置。然而,这些方法都是静态的,不能帮助自动谈判系统,根据与

人的谈判经历,动态更新所用的模糊规则。要让机器对人的自动谈判广泛应用于网上购物,这是必须解决的问题。

4 基于模糊约束的自动谈判模型

求解模糊约束满足问题就是找一个解,使其尽可能地满足有关的模糊约束条件^[97-98]。在实际谈判中,各方也常对谈判结果有模糊的约束条件。

4.1 评估提议

目前有工作用模糊约束来评估自动谈判中的提议。在这类工作中,最著名的是 Luo 等^[4]开发的一个基于模糊约束的自动谈判系统。这个系统实际上是自动化哈佛商学院的 Fisher 等^[14]所提出的著名原则性谈判方法,其能达成相对公平的谈判协议,同时尽可能地提高谈判双方各自的收益。具体地,他们的谈判代理代表各自用户的利益,积极寻求彼此接受的议题等价交换方案,并且采用奖励的方法来促进协议的达成。因此,该谈判系统具备了一些优良的性质,比如能最小化信息披露,确保双赢的结果,有助于建立一个以长期利润为目标的买卖双方长期合作关系。此外,Luo 等的系统通过放松模糊约束来实现让步。最近,Okuhara 等^[99]把 Luo 等的这一思想推广到放弃整条约束来体现谈判中的让步。然而,其中模糊约束的满足情况直接被用于评估目标达到的程度,并不能很好地反映现实谈判中用户判断目标达到与否的犹豫程度和更复杂的不确定性。于是,Zhan 等^[100]提出了一个基于 Atanassov 直觉模糊约束的自动谈判模型,允许用户输入模糊、不确定的目标信息,并用有优先级的 Atanassov 直觉模糊限制来表示这些不确定的目标信息,然后根据对这些模糊限制的满意程度来评估一个提议是否可以接受。更进一步地,Zhan 等把他们模型与 Luo 等^[4]的进行了比较,并通过实验说明 Luo 等^[4]的模型只考虑了目标满意程度的特殊情形,而 Zhan 等的模型还考虑到了目标的不满意度和犹豫度。

类似地,Chen 等^[101]也采用了基于模糊约束的提议评估方法,他们将 Luo 等^[4]的工作扩展到多个并发的双边谈判模型(即为了获取更好的资源或服务,消费者可同时与多个资源或服务的提供者进行一对一谈判)。具体来说,在这个模型中一个买方智能代理通过一个协调智能代理来协调代表它的子买方智能代理同时与多个卖方智能代理展开的谈判。类似于 Luo 等^[4],Chen 等也用模糊约束表示消费者的需求和偏好,并提出了 3 种买方智能代理约束放松的方法以及买方智能代理与协调智能代理之间多线程协调的策略,并且分析比较了各种不同的协商策略和协调策略对谈判结果的影响。

Han 等^[102]基于模糊约束理论构建了一个 B2C 自动谈判模型,扩展了陈璐等^[101]关于可接受度评估的方法。具体地,在构建买方智能代理的认知模型时,除了考虑用模糊约束的满意度来表示买方需求达到的满意程度外,还考虑用一个商品限制模型来表示买方对一些商品限制的忍受程度,然后通过从全局满意程度和忍受程度这两个值中取最小值的方法来定义商品的可接受度。

Han^[103]基于 Luo 等^[4]的工作提出了卖方智能代理的一种模糊约束规划求解方法,从而避免卖方智能代理在每一轮谈判中都需要对谈判的数据库进行搜索的问题。也就是说,

卖方智能代理先和买方智能代理进行谈判得到理论上满足模糊约束的规划解,然后再根据相似性方法寻找与该解最相近的实际解。然而该方法建立在商品数据库足够丰富的假设上。

López-Carmona 等^[104]也开发了一个基于模糊约束模型的双边多议题谈判模型。其买方智能代理可以评估每个提交的约束的重要程度,并选择最佳议题权衡方案从而为双方都带来益处。而其卖方智能代理可以了解如何放宽约束条件,并选择更方便的销售优惠,以平衡放宽约束条件。他们使用模糊约束来表示需求并表达提议。与其他基于模糊约束的谈判模型比较,其特点是用论辩作为改进协议的关键机制,而其他模型只能做定量的提议和反提议。后来,基于上述模糊约束的谈判框架,López-Carmona 等^[105]评估了买卖双方的两种态度、表现力和接受力对谈判结果产生的影响。

Zhan 等^[100]改进了 Luo 等^[4]的工作,主要将 Luo 等使用的一型模糊集换成一种二型模糊集,即直觉模糊集^[106]。一个命题为真的程度与其否命题为真的程度之和,在一型模糊理论中等于 1,在直觉模糊理论中小于 1。还有两种二型模糊集,分别为毕达哥拉斯(Pythagorean)模糊集^[107-108]和费尔马(Fermatean)模糊集^[109-110],这两种模糊集理论允许程度之和大于 1。显然可以将 Luo 等模型以及其他人对其改进的模型在毕达哥拉斯模糊集理论上重新展开。然而目前还未见这方面的研究,值得学者进行探索。

对于谈判过程中的一个提议,Luo 等的模型^[4]用模糊集理论中的 uninorm 聚类算子^[111]从其满足每条模糊约束的程度来计算总的满意度。其实也可以考虑用模糊集中的其他聚类算子,因为现实世界是复杂的,uninorm 聚类算子不能体现所有的复杂情况。例如,可考虑 Luo 等^[112]提出的比 uninorm 更一般的聚类算子,或者最近提出的各种聚类算子^[113-115]。

云服务提供商和云服务需求者之间也需要谈判,因为需求者对服务的价格、响应时间和服务的水平有一定的要求,而云服务提供商也有自己的利益,两者不一致。为此,Li 等^[116-117]提出一种模糊约束导向的多对多自动谈判系统,为云计算的服务提供商和需求者自动达成服务协议。在这个系统,服务需求者对服务的价格、响应时间和服务水平的需求用模糊约束表示。因此,服务提供商的提议也是用这些模糊约束来评估的。该模型的新颖之处是:谈判中主体交换表示其对服务质量不精确偏好的模糊隶属函数。对云服务供应商而言,价格尤其重要,于是该系统装备了竞争、双赢、合作和复合型等灵活的各种价格谈判策略,这是该系统的优点。但可进一步考虑用模糊逻辑规则表达各种价格谈判策略,以便提供更高的灵活性和对谈判的不确定性的处理能力。

4.2 预测对手策略

模糊约束也被用于预测谈判中对手的策略。例如,Lai 等^[118]通过模糊概率约束导向方法提出了一种具备学习对手的自动谈判框架。具体地,基于模糊约束导向的信念学习模型包括 3 个阶段:策略识别、模糊实例匹配和自适应交互。在策略识别阶段,提出一种模糊聚类方法,将协商过程中对手的信息聚类为近似规律,消除对手的嘈杂假设或信念,以改善行为模式的收敛性。在模糊实例匹配阶段,使用模糊实例方法来重用对手的先验知识以加速问题的解决,并使近似规律在

预测对手行为时获得令人满意的结果。在自适应交互阶段,提出了一种方法使谈判代理能够根据自己的预期目标动态地做出让步。除了让步策略之外,他们还通过应用欧氏距离来度量替代方案之间的相似性,从而提出最合理的一篮子解决方案。实验结果表明,所提出的模型能实现更高的回报、更公平的交易,或更小的谈判成本。

4.3 调度问题

模糊约束不仅可以用于处理商品谈判,也可用于处理分布式调度问题。例如,Hsu 等^[119]开发了一个基于谈判智能代理和模糊约束导向的自动谈判方法来解决分布式作业车间调度问题。具体地,将调度问题视为一组模糊约束满足问题,由代理间的约束来连接。在模型中,模糊隶属函数用于表示工作代理和资源代理对任务开始时间的模糊偏好,并且通过共享所偏好的任务开始时间的信息来提高谈判的效率和数量。实验表明,与集中式方法相比,该模型能提供更高质量、更高性价比的作业车间调度解决方案;与基于代理的工作调度的其他协商模型相比,其在完工时间和平均流程时间方面的性能更优,谈判的成功率得到了提高。

类似于上述工作,Hsu 等^[120]引入了一个基于谈判智能代理和模糊约束导向的谈判模型来解决供应链计划和调度问题。该问题需要制造商确定产品配置,选择零部件供应商进行任务分配,并计划项目任务,同时考虑制造商和供应商之间的产品约束。他们将供应链计划和调度问题建模为分布式模糊约束满足问题。具体地,他们所构建的多智能代理系统中有项目经理智能代理和承包商智能代理,两者通过反复的报价、还价来消除冗余和不可行解,最终获得彼此可接受的任务分配和生产的时间和成本。模糊约束用于表示智能代理或者多个智能代理之间的约束、目标等。他们的模糊约束导向的谈判方法允许更多的信息在不同的企业之间共享,同时避免潜在的冲突,并提高全局的供应链可调度性能和效率。实验结果表明,所提出的模型不仅可以找到一个接近最优的解决方案,而且具有良好的时效性,但只考虑到模糊约束的满足程度。与该工作中模糊约束的应用不同,Zhan 等^[100]的贡献之一是将优先模糊约束的框架^[121]扩展到优先直觉模糊约束框架,不仅可以表示满意程度,而且可以表示犹豫程度。因此,Zhan 等^[100]的方法能处理用户的语言模糊性和犹豫态度。

结束语 自动谈判是一种自主的人工智能系统。对于人们在交际中面临的各种复杂的谈判,自动谈判系统不仅能减少谈判双方的困扰,而且能极大地提高谈判的效率,降低成本,并能使谈判各方得到更好的结果。自动谈判系统充分体现了人工智能如何把人们从各种繁琐、困难的工作中解放出来^[122],非常值得开展更深入和广泛的研究。因此,本文综述了自动谈判研究的现状和一些值得进一步研究的问题。特别针对基于模糊逻辑和模糊约束的自动谈判的研究,本文指出了 4 个重要的研究方向:1)将已有的基于一型模糊集的谈判模型拓展到各种二型模糊集上,以处理现实中各种更加复杂的模糊性;2)基于模糊集理论,研发机器对人的自动谈判系统,这是最具有实用价值的研究;3)用机器学习和数据挖掘技术,使自动谈判系统积累谈判经验(用模糊集所表示),表现得越来越好,或自适应谈判环境的变化;4)采用模糊集领域里最新

提出的各种聚类算子和多属决策方法来评估谈判中的提议。

参 考 文 献

- [1] LI S. The sales of double 11 reached 314.3 billion, making it the biggest shopping carnival in the world [EB/OL]. (2018-11-12) [2019-09-13]. <https://zhuanlan.zhihu.com/p/49481863>.
- [2] TENG F F. China's e-commerce transactions amounted to 31.63 trillion, ranking first in the world [EB/OL]. (2019-08-05) [2019-09-13]. <http://www.linkshop.com.cn/web/archives/2019/429898.shtml>.
- [3] ZHANG D D. Fabulously rich! Guangdong's GDP is approaching 100 billion. What's the global level [EB/OL]. (2019-01-28) [2019-09-12]. https://www.guancha.cn/economy/2019_01_28_488465.shtml.
- [4] LUO X D, JENNINGS N R, SHADBOLT N, et al. A fuzzy constraint based model for bilateral, multi-issue negotiations in semi-competitive environments [J]. *Artificial Intelligence*, 2003, 148(1/2): 53-102.
- [5] JENNINGS N R, FARATIN P, LOMUSCIO A R, et al. Automated negotiation: Prospects, methods and challenges [J]. *Group Decision and Negotiation*, 2001, 10(2): 199-215.
- [6] LUO X D, MIAO C, JENNINGS N R, et al. KEMNAD: A knowledge engineering methodology for negotiating agent development [J]. *Computational Intelligence*, 2012, 28(1): 51-105.
- [7] NASH J F. The bargaining problem [J]. *Econometrica*, 1953, 18(2): 155-162.
- [8] KALAI E, SMORODINSKY M. Other solutions to Nash's bargaining problem [J]. *Econometrica*, 1975, 43(3): 513-518.
- [9] RUBINSTEIN A. Perfect equilibrium in a bargaining model [J]. *Econometrica*, 1982, 50(1): 97-109.
- [10] LI Y T, YUAN J. The test of experimental economics on bargaining theory [J]. *Commercial Research*, 2013, 55(3): 186-191.
- [11] DU S F, ZHU J A, GAO D, et al. Optimal decision-making for Nash bargaining fairness concerned newsvendor in two-level supply chain [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2013, 16(3): 67-72.
- [12] CHEN J, HUANGFU H Y, LI H. The right cognition effect in bargaining game decision-making [J]. *Journal of Psychological Science*, 2012, 35(3): 647-653.
- [13] RAIFFA H. The art and science of negotiation [M]// The Belknap Press of Harvard University Press, 1982: 2-15.
- [14] FISHER R, URY W, PATTON B. Getting to yes: Negotiating agreement without giving in [M]// Getting to Yes Negotiating Agreement Without Giving in. New York: Penguin Books, 2011: 10-25.
- [15] ADAIR W L, TAYLOR M S, TINSLEY C H. Starting out on the right foot: Negotiation schemas when cultures collide [J]. *Negotiation and Conflict Management Research*, 2009, 2(2): 138-163.
- [16] MITTAL M, GABA D, RANA H, et al. An Optimized Multi-item Bilateral Negotiation Model [C]// 2019 Amity International Conference on Artificial Intelligence. 2019: 566-570.
- [17] THOMAS C J. An alternating-offers model of multilateral negotiations [J]. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 2018, 149: 269-293.
- [18] GAO T, HUANG M, WANG Q, et al. A systematic model of stable multilateral automated negotiation in e-market environment [J]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2018, 74: 134-145.
- [19] REN F, ZHANG M, LUO X D, et al. A parallel, multi-issue negotiation model in dynamic e-markets [C]// *Advances in Artificial Intelligence. Lecture Notes in Computer Science (AI 2011)*. 2011, 7106: 442-451.
- [20] ALRAYES B, KAFALI Ö, STATHIS K. Concurrent bilateral negotiation for open e-markets: the CONAN strategy [J]. *Knowledge and Information Systems*, 2018, 56(2): 463-501.
- [21] NIU L, REN F, ZHANG M. Feasible Negotiation Procedures for Multiple Interdependent Negotiations [C]// *Proceedings of the 17th International Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*. 2018: 641-649.
- [22] PAN L, LUO X D, MENG X, et al. A two-stage win-win multi attribute negotiation model: Optimization and then concession [J]. *Computational Intelligence*, 2013, 29(4): 577-626.
- [23] LUO X D, YANG Y F, LEUNG H F. Reward and penalty functions in automated negotiation [J]. *International Journal of Intelligent Systems*, 2016, 31(7): 637-672.
- [24] DIMOPOULOS Y, MAILLY J G, MORAITIS P. Argumentation-based negotiation with incomplete opponent profiles [C]// *Proceedings of the 18th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*. 2019: 1252-1260.
- [25] BECHERU A, BADICA C. Augmenting multi-agent negotiation in interconnected freight transport using complex networks analysis [C]// *Computational Science - ICCS 2019. Lecture Notes in Computer Science*, 2019, 11537: 434-448.
- [26] O'HALLORAN J. An automated negotiation system for e-commerce store owners to enable flexible product pricing [D]. Ireland: Technological University Dublin, 2019.
- [27] PINTO A, PINTO T, SILVA F, et al. Automated combination of bilateral energy contracts negotiation tactics [C]// 2018 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM). 2018: 1-5.
- [28] XIA W. Interdependent order allocation in the many-to-many supply chain using automated negotiation [D]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology, 2018.
- [29] YANG C, SUN J. Research on negotiation of manufacturing enterprise supply chain based on multi-agent [J]. *Journal of Internet Technology*, 2019, 20(2): 389-398.
- [30] HUANG M M, YUAN J J, CAO L. NSGAI Based Automated Negotiation in Collaborative Product Development Project [J]. *Operations Research and Management Science*, 2017(3): 90-95, 103.
- [31] ORTEGA A P, MERRETT G V, RAMCHURN S D. Automated negotiation for opportunistic energy trading between neighbouring wireless sensor networks [C]// 2018 IEEE International Conference on Communications, Control, and Computing Technologies for Smart Grids. 2018, 1-6.
- [32] SAID F B, ALIMI A M. MOANOF: Multi-objective automated negotiation based online feature selection system for big data classification [EB/OL]. (2018-10-11) [2019-10-08]. <https://arxiv.org/abs/1810.04903>.

- [33] BAARSLAG T, ALAN A T, GOMER R, et al. An automated negotiation agent for permission management [C]// Proceedings of the 16th Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems. 2017; 380-390.
- [34] GUPTA S, VASARDANI M, LOHANI B, et al. Pedestrian's risk-based negotiation model for self-driving vehicles to get the right of way [J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2019, 124: 163-173.
- [35] WONG P N. Who has the right of way, automated vehicles or drivers?: Multiple perspectives in safety, negotiation and trust [C]// Proceedings of the 11th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications. 2019; 198-210.
- [36] CHATER N, MISYAK J, WATSON D, et al. Negotiating the traffic; can cognitive science help make autonomous vehicles a reality? [J]. *Trends in cognitive sciences*, 2018, 22(2): 93-95.
- [37] GAO J, WONG T, WANG C. Coordinating patient preferences through automated negotiation: A multiagent systems model for diagnostic services scheduling [J]. *Advanced Engineering Informatics*, 2019, 100934: 42.
- [38] JOHNSON E, LUCAS G, KIM P, et al. Intelligent Tutoring System for Negotiation Skills Training [M]// *Artificial Intelligence in Education. Lecture Notes in Computer Science*. Cham: Springer, 2019.
- [39] BOUYAKOUB F M H, BELKHIR A, BELKACEMNACER A, et al. An E-negotiation agent for an e-tourism platform [J]. *International Journal of Web Services Research*, 2019, 16(2): 65-87.
- [40] ESHRAGH F, POOYANDEH M, MARCEAU D J. Automated negotiation in environmental resource management: Review and assessment [J]. *Journal of environmental management*, 2015, 162: 148-157.
- [41] YUAN L, CHEN S, ZHANG Z. A novel strategy for complex human-agent negotiation [C]// Proceedings of the 13th CCF Conference on Computer Supported Cooperative Work and Social Computing. Singapore: Springer, 2019, 917: 67-76.
- [42] VAHIDOV R, SAADE R, YUB B. The effects of interplay between negotiation tactics and task complexity in software agent to human negotiations [J]. *Electronic Commerce Research and Applications*, 2017, 26: 50-61.
- [43] FRANZONI V, MILANI A, VALLVERDU J, et al. Emotional affordances in human-machine interactive planning and negotiation [C]// Proceedings of the International Conference on Web Intelligence. 2017; 924-930.
- [44] ROTHMAN N B, NORTHCRAFT G B. Unlocking integrative potential; Expressed emotional ambivalence and negotiation outcomes [J]. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 2015, 126: 65-76.
- [45] KLEEF VAN G A, DREU DE C K, MANST- EAD A S. The interpersonal effects of anger and happiness in negotiations [J]. *Journal of KPersonality and Social Psychology*, 2004, 86(1): 57-76.
- [46] ADAM H, SHIRAKO A, MADDUX W W. Cultural variance in the interpersonal effects of anger in negotiations [J]. *Psychological Science*, 2010, 21(6): 882-889.
- [47] KLEEF VAN G A, DREU DE C K W, MANSTEAD A S R. Supplication and appeasement in conflict and negotiation; the interpersonal effects of disappointment, worry, guilt, and regret [J]. *Journal of Personality and Social Psychology*, 2006, 91(1): 124-142.
- [48] HARELI S, DAVID S, HESS U. The effect of the negotiator's social power as a function of the counterpart's emotional reactions in a computer mediated negotiation [J]. *Europe's Journal of Psychology*, 2013, 9(4): 1-99.
- [49] GALINSKY A D, GRUENFELD D H, MAGEE J C. From power to action [J]. *Journal of Personality and Social Psychology*, 2003, 85(3): 453-466.
- [50] KELTNER D, GRUENFELD D H, ANDERSON C. Power, approach, and inhibition [J]. *Psychological Review*, 2003, 110: 265-284.
- [51] LEE M, LUCAS G, MELL J, et al. What's on your virtual mind?: Mind perception in human-agent negotiations [C]// Proceedings of the 19th ACM International Conference on Intelligent Virtual Agents. 2019: 38-45.
- [52] 罗旭东, 杨彧锋, 伍桂花. 博弈的哲学 [M]. 广州: 中山大学出版社, 2014: 91-105.
- [53] KIM E, GIMBEL S I, LITVINOVA A, et al. Predicting decision in human-agent negotiation using functional MRI [C]// Proceedings of the 38th Annual Meeting of the Cognitive Science Society. 2016: 1-5.
- [54] KIM E, GILBERT J, HOROWITZ C, et al. Decoding partner type in Human-Agent negotiation using functional MRI [C]// Proceedings of the 39th Annual Meeting of the Cognitive Science Society. 2017: 12-23.
- [55] ADAM M T, TEUBNER T, GIMPEL H. No rage against the machine: How computer agents mitigate human emotional processes in electronic negotiations [J]. *Group Decision and Negotiation*, 2018, 27(4): 543-571.
- [56] CAO M, LUO X D, LUO X R, et al. Automated negotiation for e-commerce decision making: A goal deliberated agent architecture for multi-strategy selection [J]. *Decision Support Systems*, 2015, 73: 1-14.
- [57] HAIM G, AKOV Y, KRAUS S, et al. A Cultural Sensitive Agent for Human-Computer Negotiation [C]// Proceedings of the 11th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems. 2012, 1: 451-458.
- [58] HAIM G, NISIM D, TSATKIN M. Human-Computer agent negotiation using cross culture reliability models [C]// *Conflict Resolution in Decision Making, Lecture Notes in Artificial Intelligence*. 2016, 10238: 118-133.
- [59] HAIM G, AN B, KRAUS S. Human-computer negotiation in a three player market setting [J]. *Artificial Intelligence*, 2017, 246: 34-52.
- [60] MELL J, BEISSINGER M, GRATCH J. An Expert-Model & Machine Learning Hybrid Approach to Predicting Human-Agent Negotiation Outcomes [C]// Proceedings of the 19th ACM International Conference on Intelligent Virtual Agents. 2019: 212-214.
- [61] BAARSLAG T, HENDRIKX M J, HINDRIKS K V, et al. Learning about the opponent in automated bilateral negotiation;

- a comprehensive survey of opponent modeling techniques [J]. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 2016, 30(5): 849-898.
- [62] ESHRAGH F, SHAHBAZI M, FAR B. Real-time opponent learning in automated negotiation using recursive Bayesian filtering [J]. *Expert Systems with Applications*, 2019, 128: 28-53.
- [63] RODRIGUEZ-FERNANDEZ J, PINTO T, SILVA F, et al. Context aware Q-learning-based model for decision support in the negotiation of energy contracts [J]. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2019, 104: 489-501.
- [64] AYDOGAN R, MARSMA-MAESTRE I, KLEIN M, et al. A machine learning approach for mechanism selection in complex negotiations [J]. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 2018, 27(2): 134-155.
- [65] KROHLING D E, CHIOTTI O, MARTINEZ E. The importance of context-dependent learning in negotiation agents [J]. *Artificial Intelligence*, 2019, 22(63): 135-149.
- [66] KOLOMVATSOS K, ANAGNOSTOPOULOS C, HADJIEFTHYMIAS S. A fuzzy logic system for bargaining in information markets [J]. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, 2012, 3(2): 1-26.
- [67] ZUO B H, SUN Y. Fuzzy logic to support bilateral agent negotiation in e-commerce [C]// *Proceedings of the 2009 International Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence*. 2009, 4: 179-183.
- [68] KOLOMVATSOS K, TRIVIZAKIS D, HADJIEFTHYMIAS S. An adaptive fuzzy logic system for automated negotiations [J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 2015, 269(C): 135-152.
- [69] ARAPOGLOU R, KOLOMVATSOS K, HADJIEFTHYMIAS S. Buyer agent decision process based on automatic fuzzy rules generation methods [C]// *Proceedings of 2010 IEEE International Conference on Fuzzy Systems*. 2010: 1-8.
- [70] FRANCISCO M, MEZQUITA Y, REVOLLAR S, et al. Multi-agent distributed model predictive control with fuzzy negotiation [J]. *Expert Systems with Applications*, 2019, 129: 68-83.
- [71] ZHANG L, ZHENG P E, RAO G Z. Multi-agent negotiation: An approach based on fuzzy logic control [J]. *Journal of Computer Applications*, 2006, 26(11): 2648-2650.
- [72] ZHANG L L, LIU Q. Bilateral automated negotiation based on fuzzy method with incomplete information [J]. *Journal of Guangxi Normal University*, 2015, 33(4): 38-42.
- [73] COSTANTINO F, GRAVIO G D. Multistage bilateral bargaining model with incomplete information: A fuzzy approach [J]. *International Journal of Production Economics*, 2009, 117(2): 235-243.
- [74] YAHIA W B, AYADI O, MASMOUDI F. A fuzzy-based negotiation approach for collaborative planning in manufacturing supply chains [J]. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2015, 28(8): 1-20.
- [75] ADABI S, MOVAGHAR A, RAHMANI A M, et al. A new fuzzy negotiation protocol for grid resource allocation [J]. *Journal of Network and Computer Applications*, 2014, 37(39): 89-126.
- [76] HABERLAND V, MILES S, LUCK M. Adjustable Fuzzy Inference for Adaptive Grid Resource Negotiation [M]// *Next Frontier in Agent-based Complex Automated Negotiation*. 2015: 37-57.
- [77] RAJAVEL R, IYER K, MAHESWAR R, et al. Adaptive neuro-fuzzy behavioral learning strategy for effective decision making in the fuzzy-based cloud service negotiation framework [J]. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 2019, 36(3): 2311-2322.
- [78] SHOJAIMEHR B, RAHMANI A M, QADER N N. Cloud computing service negotiation: A systematic review [J]. *Computer Standards & Interfaces*, 2018, 55: 196-206.
- [79] HE M H, LEUNG H F, JENNINGS N R. A fuzzy-logic based bidding strategy for autonomous agents in continuous double auctions [J]. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 2003, 15(6): 1345-1363.
- [80] KAUR P, GOYAL M, LU J. A comparison of bidding strategies for online auctions using fuzzy reasoning and negotiation decision functions [J]. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2016: 25(2): 425-438.
- [81] CARBO J, MOLINA J, DAVILA J. Reaching agreements through fuzzy counter-offers [C]// *Proceedings of International Conference on Web Engineering*. 2003: 90-93.
- [82] SHOJAIMEHR B, RAFSANJANI M K. Erratum to: A supplier offer modification approach based on fuzzy systems for automated negotiation in e-commerce [J]. *Information Systems Frontiers*, 2016, 21(1): 161.
- [83] SHOJAIMEHR B, RAFSANJANI M K. A supplier offer modification approach based on fuzzy systems for automated negotiation in e-commerce [J]. *Information Systems Frontiers*, 2018, 20(1): 143-160.
- [84] VOLKMER T, METZGER O, SPENGLER T, et al. An extended fuzzy approach to multicriteria modelling of bilateral bargaining [M]// *Multikriterielle Optimierung und Entscheidungsunterstützung*. 2019: 89-105.
- [85] YU M, ZHAI Y Q. A Fuzzy logic based asking strategy for seller agents in e-commerce [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2004, 40(15): 201-205.
- [86] CHENG C B, CHAN C H, LIN C C. Buyer-supplier negotiation by fuzzy logic based agents [C]// *Proceedings of the 3rd International Conference on Information Technology and Applications*. 2005: 137-142.
- [87] ZHAN J Y, LUO X D, FENG C, et al. A multi-demand negotiation model based on fuzzy rules elicited via psychological experiments [J]. *Applied Soft Computing*, 2017, 67: 840-864.
- [88] YANG Y F, LUO X D. A Multi-demand negotiation model with fuzzy concession strategies [C]// *ICAISC 2019: Artificial Intelligence and Soft Computing*. *Lecture Notes in Computer Science*, 2019, 11509: 689-707.
- [89] BAKKER J, HAMMOND A, BLOEMBERGEN D, et al. RL-BOA: A Modular Reinforcement Learning Framework for Autonomous Negotiating Agents [C]// *Proceedings of the 18th International Conference on Autonomous Agents and Multi Agent Systems*. 2019: 260-268.
- [90] ZHAN J, LUO X D. Adaptive conceding strategies for negotia-

- ting agents based on interval type-2 fuzzy logic [C]// Proceedings of the 2016 International Conference on Knowledge Science, 2016;222-235.
- [91] KOLOMVATSOS K, HADJIEFTHYMIADES S. Implicit deadline calculation for seller agent bargaining in information marketplaces [C]// Proceedings of the 2008 International Conference on Complex, 2008;184-190.
- [92] KOLOMVATSOS K, HADJIEFTHYMIADES S. Automatic fuzzy rules generation for the deadline calculation of a seller agent [C]// Proceedings of International Symposium on Autonomous Decentralized System, 2009;1-6.
- [93] LI J Y, WU Y Y. Research on adaptive ANS based on fuzzy inference [J]. *Microcomputer Information*, 2009, 25 (24): 166-167.
- [94] MENDEL J M, JOHN R I B. Type-2 fuzzy sets made simple [J]. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2002, 10 (2): 117-127.
- [95] CASTILLO O, MELIN P. Type-2 Fuzzy Logic: Theory and Applications [C]// 2007 IEEE International Conference on Granular Computing (GRC 2007), 2007;145.
- [96] COLLOBERT R, WESTON J, BOTTOU L, et al. Natural Language Processing (Almost) from Scratch [J]. *Journal of Machine Learning Research*, 2011, 12(8): 2493-2537.
- [97] RUTTKAY Z. Fuzzy constraint satisfaction [C]// Proceedings of IEEE Conference on Evolutionary Computing, 1994; 1263-1268.
- [98] LUO X D, LEE H M, LEUNG H F, et al. Prioritised fuzzy constraint satisfaction problems: axioms, instantiation and validation [J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 2003, 136(2): 151-188.
- [99] OKUHARA S, ITO T. A compromising strategy based on constraint relaxation for automated negotiating agents [C]// Trends in Artificial Intelligence, Lecture Notes in Computer Science (PRICAI 2019), 2019, 11670; 675-687.
- [100] ZHAN J Y, LUO X D, JIANG Y. An Atanassov intuitionistic fuzzy constraint based method for offer evaluation and trade-off making in automated negotiation [J]. *Knowledge-Based Systems*, 2018, 139; 170-188.
- [101] CHEN L, QIU Y H, ZHANG Q. Fuzzy constraint-based model for multiple concurrent bilateral negotiations [J]. *Journal of Computer Applications*, 2007, 27(12): 2906-2898.
- [102] HAN H W, ZHENG W P. An PFCSP-based automatic negotiation model on B2C transaction [J]. *Journal of Northeast Normal University*, 2012, 44(4): 56-60.
- [103] HAN W. Automatic negotiation system based on fussy constraint programming [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2006, 44(3): 94-97.
- [104] LÓPEZ-CARMONA M A, VELASCO J R. An expressive approach to fuzzy constraint based agent purchase negotiation [C]// Proceedings of the 5th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, 2006;429-431.
- [105] LÓPEZ-CARMONA M A, VELASCO J R, MARSA-MAESTRE I. The agents' attitudes in fuzzy constraint based automated purchase negotiations [C]// Proceedings of the 5th International Central and Eastern European Conference on Multi-agent Systems and Applications, 2007;246-255.
- [106] ATANASSOV K T. Intuitionistic fuzzy sets; Theory and Applications [M]// *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, Physica, Heidelberg, 1999, 35; 15-36.
- [107] YAGER R R. Pythagorean fuzzy subsets [C]// Proceedings of Joint IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting, 2013;57-61.
- [108] YAGER R R. Properties and Applications of Pythagorean Fuzzy Sets [C]// *Imprecision and Uncertainty in Information Representation and Processing*, Studies in Fuzziness and Soft Computing, 2016, 332; 119-136.
- [109] SENAPATI T, YAGER R R. Fermatean fuzzy sets [J]. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 2019(S1): 1-12.
- [110] LIU D, LIU Y, CHEN X. Fermatean fuzzy linguistic set and its application in multicriteria decision making [J]. *International Journal of Intelligent Systems*, 2019, 34(5): 878-894.
- [111] YAGER R R, RYBALOV A. Uninorm aggregation operators [J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 1996, 80(1): 111-120.
- [112] LUO X D, JENNINGS N R. A spectrum of compromise aggregation operators for multi-attribute decision making [J]. *Artificial Intelligence*, 2007, 171(2/3): 161-184.
- [113] GARG, HARISH. A new generalized Pythagorean fuzzy information aggregation using Einstein operations and its application to decision making [J]. *International Journal of Intelligent Systems*, 2016, 31(9): 886-920.
- [114] WEI G, LU M. Pythagorean fuzzy power aggregation operators in multiple attribute decision making [J]. *International Journal of Intelligent Systems*, 2018, 33(1): 169-186.
- [115] JANA C, SENAPATI T, PAL M, et al. Picture fuzzy Dombi aggregation operators; Application to MADM process [J]. *Applied Soft Computing*, 2019, 74; 99-109.
- [116] LI L, YEO C S, HSU C Y, et al. Agent-based fuzzy constraint-directed negotiation for service level agreements in cloud computing [J]. *Cluster Computing*, 2018, 21(2): 1349-1363.
- [117] LI L, LAI K R, ZHU S. Data-Driven Behavior-Based Negotiation Model for Cyber-Physical-Social Systems [J]. *IEEE Access*, 2019, 7; 83319-83331.
- [118] LAI K R, LIN M W, YU T J. Learning opponent's beliefs via fuzzy constraint-directed approach to make effective agent negotiation [J]. *Applied Intelligence*, 2010, 33(2): 232-246.
- [119] HSU C Y, KAO B R, HO V L, et al. Agent-based fuzzy constraint-directed negotiation mechanism for distributed job shop scheduling [J]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2016, 53; 140-154.
- [120] HSU C Y, KAO B R, HO V L, et al. An agent-based fuzzy constraint-directed negotiation model for solving supply chain planning and scheduling problems [J]. *Applied Soft Computing*, 2016, 48; 703-715.
- [121] RUTTKAY Z. Fuzzy constraint satisfaction [C]// Proceedings of IEEE Conference on Evolutionary Computing, 1994; 1263-1268.
- [122] HUANG Q J, LUO X D. State-of-art and development trend of artificial intelligence combined with law [J]. *Computer Science*, 2018, 45(12): 1-11.