

· 科学论坛 ·

数字经济的博弈论基础性科学问题

李三希¹ 曹志刚² 崔志伟³ 高红伟⁴ 乔雪¹
 翁翁⁵ 俞宁⁶ 张博宇⁷ 杨晓光^{8*}

1. 中国人民大学 经济学院, 北京 100872
2. 北京交通大学 经济管理学院, 北京 100044
3. 北京航空航天大学 经济管理学院, 北京 100191
4. 青岛大学 数学与统计学院, 青岛 266000
5. 北京大学 光华管理学院, 北京 100871
6. 南京审计大学 社会与经济研究院, 南京 211815
7. 北京师范大学 数学科学学院, 北京 100875
8. 中国科学院 数学与系统科学研究院, 北京 100190

[摘要] 新冠肺炎疫情以来, 中国和世界经济变化显示, 数字经济有着“无限”的发展前景。中国政府将发展数字经济上升到国家战略高度, 数字经济是中国经济最为强劲的增长领域, 在国际上位于领先地位。数字经济发展过程中, 博弈论起核心作用, 其技术开发、商业模式以及治理体系很多是建立在博弈论基础之上。本文从数字经济中最为核心的发展需求出发, 从数字经济的基础建设、市场建设和市场交易三个角度, 凝练出“数据要素市场的顶层设计”“区块链技术和央行数字货币应用中的博弈问题”“数字经济的平台设计与监管”“数字经济中的市场设计理论与应用”“数字经济中的竞争与合作”“数字经济中的网络博弈问题”“数字经济的时间一致性问题”等七类数字经济中的博弈论基础性科学问题。这些问题的研究和解决, 有望助力中国数字经济的健康发展, 增强中国在世界经济中的竞争力, 推动中国博弈论学科跻身国际学术前沿。

[关键词] 数字经济; 博弈论; 基础性科学问题

1 博弈论视角下的数字经济

数字经济已经成为引领经济社会发展的先导力量, 也成为当今世界各国推动经济社会转型、培育经济新动能、构筑竞争新优势的重要抓手。从全球来看, 数字经济被公认是拉动经济增长的一个重要引擎, 数字经济发展的规模和质量已成为衡量各国竞争力的重要标志。目前, 数字经济在中国 GDP 中的占比已经超过 35%。2019 年政府工作报告明确指出, 要“深化大数据、人工智能等研发应用, 培育新一代信息技术、高端装备、生物医药、新能源汽车、新材料等新兴产业集群, 壮大数字经济”。可以看到, 全



杨晓光 中国科学院数学与系统科学研究院研究员, 中国科学院大学经济与管理学院教授; 国家杰出青年科学基金获得者。研究方向: 金融风险、博弈论、系统工程。



李三希 中国人民大学经济学院教授, 中国人民大学数字经济研究中心主任; 教育部青年长江学者, 国家自然科学基金委员会优秀青年科学基金项目获得者。研究方向: 博弈论和信息经济学、产业组织理论。

收稿日期: 2020-10-18; 修回日期: 2021-02-02

* 通信作者, Email: xgyang@iss.ac.cn

本文受到国家自然科学基金项目(7185008, 71773131)、中国人民大学“双一流”跨学科重大创新规划平台—数字经济跨学科交叉平台的资助。

面发展数字经济已经上升到国家战略高度。2020 年全球新冠肺炎疫情冲击之下,很多传统行业萎靡凋零,拖累各国经济大幅下滑,而数字经济高歌猛进,不仅极大地支撑了各国的抗疫防疫,而且有可能根本性地改变世界经济的发展模式。数字经济有可能在未来世界经济中起到升级换代的作用。

与传统经济不同,在数字经济中,博弈起着核心作用,相当多的技术开发建立在博弈基础上,运行机制依赖博弈而设计。其本质原因是数字经济的穿透力之大,连接力之强和交易速度之快,使得针对传统的、具有相近文化的“慢决策”的经济人交互机制失效。要对数字经济背后运行规律有深刻理解,需要充分结合数字经济的技术特征,对技术发展背后各经济主体的行为逻辑进行系统性分析,深入研究数字经济背后竞争与合作逻辑与传统经济的异同。如果说信息技术是数字经济的“经济基础”,那么博弈论就是数字经济的“上层建筑”。数字经济中各经济主体之间的关系和博弈如图 1 所示。

消费者网络是数字经济的基础活动单元;平台是数字经济的中枢;政府是数字经济的规则制定者和监管者。博弈存在于上述系统的每一个环节之中,消费者之间存在着竞争和合作;平台基于消费者数据信息流,在政府监管和市场纪律之下进行平台与市场设计;平台之间存在竞争与合作;政府与平台及消费者博弈,设计市场规则和监管制度。由此可以看出,博弈论在数字经济中起到核心作用。本文研究目的为凝练当前数字经济发展中急需解决的一些关键性博弈研究科学问题,推动数字经济博弈论基础的研究,促进数字经济的高质量发展。我们认为数字经济博弈论基础的研究有着重要的学术价值和现实意义:

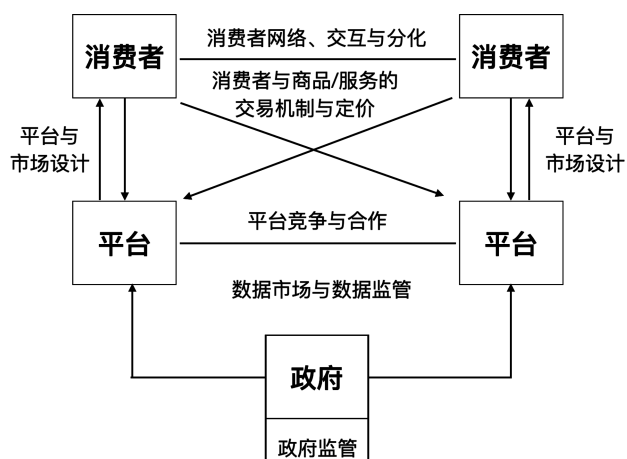


图 1 主体关系图

第一,解决数字经济的核心基础理论问题,为数字经济发展与经济高质量发展提供理论先导支持。一方面,中国的数字经济实践已经走在世界前列,创造了一批世界领先的数字技术,商业模式以及巨头企业。对成功经验的总结,有助于推动数字经济的进一步发展。另一方面,中国的数字经济实践仍然存在许多问题:数据要素市场发展需要顶层设计;平台内部机制设计需要进一步完善;平台监管与反垄断促竞争政策缺乏理论基础和实践参考;数字经济时代信息传播方式导致严重的信息孤岛问题等等。推动数字经济时代博弈论基础理论的发展,也能够为实践提供智力参考,更好地实现数字生产要素与其他生产要素之间协同发展,充分发挥数字经济在经济高质量发展中的重大作用。

第二,以点带面,推动博弈论基础理论研究,促进中国学者在博弈论研究走在国际前沿。博弈论是一门横跨数学、信息科学、经济学、管理学等多门一级学科的一个重大基础性研究方向,并且我国在博弈论研究领域具有优良的传统。数字技术对经济社会的运行方式产生了颠覆性的冲击;数据作为最重要的生产要素,呈现出与传统生产要素完全不一样的特征;平台作为全新的商业生态,商业策略与传统企业完全迥异;信息传播有着崭新途径和特征,人们社会网络关系发生重大转变;区块链和人工智能新技术使经济主体的竞争与合作基础发生了重大转变。这些问题之中蕴含着重要而丰富的博弈论问题,有可能导致博弈论学科的重大突破,推动学科发展。解决这些问题有助于推动中国博弈论基础理论研究和应用实践研究与时俱进,紧贴时代脉搏,占据国际学术研究高地。事实上,理论来源于实践,当经济中心在欧洲时,经济学研究中心在欧洲,而当经济中心转移到美国时,经济学研究中心也就转移到美国。中国的数字经济实践走在世界前列,也远远走在理论前面,我们有理由相信,对中国数字经济实践的提炼和攻关博弈论难题,能够诞生走在世界前沿的博弈论和数字经济理论,向形成中国学派的方向靠近。

第三,满足数字经济时代学科融合交叉发展,共同实现理论创新的需要。数字经济发展带来的冲击,对经济学、管理学、法学、新闻学、政治学、社会学等学科带来重大挑战,而数字经济与这些学科的交叉点很多情况下是博弈问题。因此,该系列研究产生的博弈论基础理论成果不仅能够推动这些学科的融合发展和理论创新、响应数字经济时代需要,而且

能够为这些学科的研究提供新的博弈论工具。数字经济中的博弈论与其他学科的融合发展可为社会治理的现代化提供良好的理论指导。

第四,有助于在数字技术快速发展的背景下培养高层次基础理论研究人才。数字经济的发展既需要培养应用型人才,更需要培养基础理论研究人才,夯实我国的基础理论研究。在应用型人才支持方面,大型数字企业具有雄厚的资金实力和足够的激励,但是基础理论人才的培养属于公共品,需要国家层面上的支持。中国目前在博弈论基础理论方面有一大批受过严格训练、基础扎实、处在国际理论研究前沿的学者。结合中国走在国际前沿的数字实践,本领域有望产生一批国际领先的科研成果,培养出一批高层次的基础理论研究人才。

2 数字经济中的博弈论基础性科学问题

我们把数字经济活动简单地划分为后台、中台和前台三部分。后台即数字经济的基础建设部分,中台即数字经济的市场建设部分,前台即数字经济的市场交易部分,本节对这三部分中的博弈论基础问题进行提炼。数字经济的基础建设,有着自己的特有“基础设施”:数据、区块链、数字货币。与传统经济不同,这些基础设施本身都蕴含着大量的博弈问题。数字经济的市场建设,主要是市场设计,包括平台的设计和交易的设计,是典型的机制设计问题。而数字经济的市场交易部分,主要是平台、买方、卖方和监管部门多方面的互动,存在着大量复杂的博弈问题。我们根据相关问题的实际背景在数字经济中的重要性,凝练出七个数字经济博弈论基础性科学问题,按照后台、中台、前台的顺序陈述如下。

2.1 数据要素市场的顶层设计

随着数字经济的发展,“连接—在线—数据”将是数字社会的永恒主题。连接和在线的结果是所有人类行为和经济活动数据化,数据既是过去人类行为的结果,也是预测未来人类行为的基础。因此,数据是数字社会的核心资源,是发展数字经济的关键要素,也是目前所有互联网公司最重要的资产。于是,打车公司会收集用户出行数据,音乐公司收集用户听音乐的习惯数据,搜索引擎收集用户搜索数据,移动支付厂商收集用户的支付数据等等。数据这种资源,和其他资源最大的区别在于,它具有非竞争性(Nonrivalry),可以无限复制、重复使用。非竞争性一方面意味着相比于传统的竞争性物质资本,数据资产能给社会带来更多的经济价值,但一方面也产

生了大量的隐私问题。一个机构无法把数据借出几天然后再收回,因为数据给出去就再也收不回来了。同时,数据这种资源也不是天生就属于公司的,数据里面含有大量用户的敏感信息,导致在数据交换的时候,还有道德和法律风险。因此,在现代社会中,别说公司和公司之间,就算是同一个公司的不同部门,在交换数据的时候也是格外的小心谨慎。不同公司之间建立在共享数据的前提下的合作,往往是很难达成的。于是,就产生了所谓的“数据孤岛”问题:各个机构组织各自拥有一部分的数据,却无法和其他的数据共同作用,产生新的收益。通过发展数据要素市场,促进数据交易,有助于打破现有的数据孤岛问题,更好地促进数字经济发展。

2020年4月9日,中共中央国务院发布《关于构建更加完善的要素市场化配置体制机制的意见》,成为构建更加完善的要素市场化配置体制机制的纲领性文件。其中特别提到要加快培育数据要素市场,加强数据资源整合和安全保护。如何在实现数据安全保护的前提下发展数据要素市场,成为数字经济领域的前沿战略课题。而且重视数据隐私和安全也已成为了世界性的趋势。每一次公众数据的泄露都会引起媒体和公众的极大关注,例如2018年Facebook的数据泄露事件就引起了大范围的抗议行动。同时各国都在加强对数据安全和隐私的保护。特别是欧盟在2018年5月25日开始实施的《通用数据保护条例》(General Data Protection Regulation, GDPR)对用户的个人隐私和数据安全进行严格保护,并依此对谷歌开出了5000万欧元的巨额罚单。因此“一方收集数据,转移到另一方处理和清洗并建模,最后再把模型卖给第三方”这样一种传统的数据处理模式已经变得不可行。如何重新设计数据要素市场交易机制和监管模式,成为数字经济未来发展亟待解决的问题。信息博弈论是解决上述问题的基础性理论工具。

数据是信息博弈论的基础。Blackwell提出的信息结构(Information Structure)包含了数据和模型两个基本要素。但信息博弈论理论往往是给定信息结构,探讨博弈参与者之间的策略性互动和机制设计问题。随着数字经济的飞速发展,数据不再是博弈参与者的外生约束,而成为一种新型生产要素。一方面,数字经济的发展催生了海量的数据。据统计,从计算机诞生以来到2003年,人类所产生的数据总量已经达到50亿GB。2014年时,我们每两天就能产生同等规模数据,现在是每小时就能产生

同等规模数据。另一方面,大数据处理技术的发展使得人们可以轻易从海量数据中获取信息。因此,相关研究需要放松传统信息博弈论中信息结构外生的假设,解决数据要素市场顶层设计中的两大基础性问题。

2.1.1 数据交易机制设计问题

这一研究的目的是主要基于信息博弈论和机制设计等方面的理论研究,探讨如何对数据交易的激励机制进行顶层设计,从而更好地促进数据交易。

随着数字经济的蓬勃发展,数据交易作为一种崭新的交易模式得到了越来越多经济学家的关注。数据交易机制设计的早期文献主要比较直接出售数据和间接出售数据(也即出售基于数据的模型结论)这两种不同的交易方式,指出出售模型结论往往比直接出售数据更好^[1-3]。出售模型结论的确在很长一段时间内也是数据交易的主要模式。但在 GDPR 之下,该交易模式已经变得不可行。因此最新的数据交易研究文献聚焦于直接出售数据的机制设计问题,主要基于 Kamenica 和 Gentzkow 提出的信息设计视角^[4],探讨数据卖家如何最优地设计数据披露机制以最大化其收益^[5-8]。但上述文献没有涉及任何数据安全保护的问题,同时也没有考虑到数据天然具有的非竞争性这一重要特性。基于现有研究的缺陷,我们认为下面两个研究有望填补现有研究的空白领域,有潜力成为重要的学科增长点。

(1) 数据安全保护前提下的数据交易机制设计

《关于构建更加完善的要素市场化配置体制机制的意见》将数据安全保护提高到前所未有的高度。而缺乏安全保护正是现在我国数据交易市场的一大痛点。特别是很多所谓的“大数据公司”用爬虫技术盗取数据,然后采用薄利多销的方式,用低廉的价格出售获利。从很多新闻媒体上,我们看到诸如“一个人的身份隐私单价只要 1 块多钱;当购买者所需要的数据量足够大,单价甚至可以低至 1 分钱”以及“一个人的脸照片只值 5 毛钱”这样的报道,引起了社会的广泛关注。

数据要素市场的发展必须要以数据的安全保护为前提。因此设计数据要素市场中数据交易机制必须要与计算机科学中的数据安全保护技术结合起来。安全多方计算技术(Secure Multi-party Computation, MPC)是计算机科学中数据安全保护的基础性技术,旨在解决两个或多个半可信或不可信的参与方之间在彼此不泄露隐私原始数据的前提下完成协同计算的问题。MPC 研究由图灵奖获得

者、中国科学院院士姚期智教授在 1982 年提出。近些年来,随着机器学习、神经网络等人工智能领域的蓬勃发展以及各国加强对隐私保护的监管,MPC 也焕发了新的光彩。计算机领域中的加密以及多方安全计算技术已经扩展到联邦学习、迁移学习、差分隐私、不经意传输、同态加密、秘密共享、混淆电路等等许多不同的技术。这些技术被广泛应用于在保证数据保护隐私的情况下完成模型的训练以及预测等过程。不同的技术有不同的功能,同时在安全性和效率方面也有不一样的表现,比如在诸如算力负担、通信开销、数据使用效率损失、对数据毒化和对抗性样本等恶意攻击的抵御程度等维度上存在差异。这些差异使得博弈者的策略空间和收益函数在不同技术下均不一样,因此数据要素市场交易机制的设计需要考虑到到底采用什么样的加密以及多方安全计算技术。基于不同的技术特性,有针对性地设计不同的交易机制。

(2) 非竞争性资产的交易机制设计

数据作为一种非竞争性资产,无法直接套用传统的机制设计、理论设计及交易机制。传统的机制设计理论主要考虑竞争性的私有物品。以拍卖为例,只有最终拍卖的赢家可以获得被拍卖的物品,而其他买家均一无所获。但是对于数据资产,一个机构提供的数据能够被多个买家同时使用于模型的训练以及预测。在这种情况下,采用“出价最高者得”的拍卖机制来交易数据显然不是最有效的资源配置方式。因此,一个好的数据交易机制需要设计数据提供方提供什么样的数据给不同的买家,以及从不同买家处索取什么样的价格。

数据的非竞争性同时也打破了传统交易模式中买家和卖家的天然区分。在数据要素市场中,一个机构完全可以既是数据的卖家又是数据的买家。也就是说,该机构可以一方面向市场提供数据,另一方面利用其它机构提供的数据和自己的数据一起训练模型。买家和卖家的双重身份也是对传统机制设计模型的全新挑战。特别是在有信息不对称的情况下,一个机构拥有的私人信息可能既包括其买家身份下的数据价值信息,也包括其卖家身份下的数据总量和提供数据成本信息。传统的机制设计理论往往只关注于买家或买家单边的信息不对称问题(比如物品拍卖机制设计问题只关注买家的信息不对称,而采购拍卖机制设计问题只关注卖家的信息不对称),而在数据要素市场机制设计中必须统筹考虑买家、卖家多个维度的信息不对称问题。

2.1.2 数据要素市场的监管设计问题

数据交易作为一种随着数字经济发展诞生的崭新交易模式,其监管设计也是一个空白领域,有许多亟待解决的问题,以下三方面的问题是其中的重点。

(1) 数据确权

确权是要素交易的前提条件。但与传统的资本、劳动和土地等要素不同,数据资产如何确权在研究和实践两方面都存在极大争议。比如消费者在电商平台上的消费数据应该是消费者还是平台所有?在最新的一篇研究中,Jones 和 Tonetti 从数据的非竞争性这一特性出发^[9],讨论数据的最优产权问题。该文认为厂商拥有数据时会向竞争对手隐瞒其数据,导致数据无法被充分利用;相比而言,当消费者拥有数据时,可以通过收取一定费用把数据给予不同的厂商使用,从而实现数据的充分有效利用。这是不是意味着数据一定要消费者所有呢?答案显然是否定的。特别是电商平台上的交易数据不是自然产生,需要厂商通过埋点、设置 cookie 等方式来获取。如果消费者完全拥有数据,厂商没有动力去付出成本获取数据,从而导致大量的潜在数据被浪费。因此在数据确权问题上,必须要综合考虑数据的使用、获取等多方面因素,同时可以考虑多维度的确权,比如在确定数据所有权的基础上,进一步分配数据的使用权、处置权和收益权。

(2) 对隐私的最优保护

虽然世界各国纷纷加强对隐私保护的监管,但 Goldfarb 和 Tucker 两位经济学家发表的一篇文章指出在隐私保护和效率之间存在权衡取舍:更严格的隐私保护会降低数据的使用效率,从而阻碍了数字经济的发展^[10]。特别是在我国当下的数字经济发展阶段,人口基数大产生的海量数据是数字经济产业发展的重要比较优势之一。因此,我国是否应该像欧盟那样出台 GDPR 这样的严格隐私保护政策,还是应该根据不同发展阶段以及不同的数据使用场景对隐私的保护力度也相应进行调整?正如 Abowd 和 Schmutte 一文所指出的,隐私保护力度不是一个 0 或 1 的选择,而是一个连续的选择^[11]。该文借用计算机科学中的差分隐私概念讨论社会最优的隐私保护力度。相比于弱隐私保护,更严格的隐私保护监管在使消费者受益的同时也增加了企业保护消费者隐私的成本以及降低了企业使用数据的效率。社会最优的隐私保护力度一方面需要考虑到企业层面使用数据的价值以及保护消费者隐私的成本;另一方面需要考虑到隐私对消费者的价值。隐

私对消费者的价值会受到文化、意识形态、消费习惯等多方面因素的影响,进而产生“西方社会比中国社会更重视隐私”这样的现象。因此,在决定我国最优的隐私保护力度时,必须基于博弈论的理论工具,并结合中国的具体国情进行探讨。

(3) 政府数据开放共享

《关于构建更加完善的要素市场化配置体制机制的意见》也提出了促进政府数据的开放共享。政府数据的开放共享是一个全新的课题,有许多亟待解决的问题。比如政府数据最优开放共享模式是什么?应该对什么样的数据需求方开放,对什么样的数据需求方不开放?通过借鉴信息经济学中的公共信息披露文献,可以对上述问题进行回答。现有文献中提出了许多公共信息披露的好处和坏处。比如,Angeletos 和 Pavan 指出当存在协调问题时,公共信息透露的越精确就越能提高社会福利^[12];但 Goldstein 和 Yang 指出公共信息披露会有挤出效应;当公共信息披露过多的话,会导致个人信息获取的动力不足^[13, 14];Kurlat 和 Veldkamp 则认为公共信息披露在有些情形下会导致个人交易机会的丧失^[15]。因此最优的公共信息披露需要综合考虑上述好处和坏处。

2.2 区块链技术和央行数字货币应用中的博弈问题

区块链技术创新及应用是国家信息化规划中的一个重要组成部分。2016 年底,国务院出台的《“十三五”国家信息化》中提到:2020 年,“数字中国”建设取得显著成效,信息化能力跻身国际前列,其中区块链技术首次被列入了《规划》。2019 年 10 月中共中央政治局就区块链技术发展现状和趋势进行了集体学习,学习中强调了区块链技术的集成应用在新的技术革新和产业变革中起着重要作用。

区块链技术在金融领域得到了广泛的关注和应用,除了基于区块链技术的比特币,稳定币等非法加密货币之外,一些国家也在积极布局央行数字货币 CBDC。在这一方面,中国和法国走在前列。中国四大国有银行不仅已在深圳等主要城市测试央行研发的数字人民币 DC/EP,央行也在积极探索未来可能的落地场景。法国央行 2020 年 5 月宣布完成基于区块链技术的数字欧元首次测试,并将继续在银行进行更多实验,包括探索在银行间发送数字货币。而韩国、加拿大、日本也相继成立与央行数字货币相关的研究部门,计划在未来进行试点。值得关注的是,在国际金融体系中占主导地位的美国和英国反而对央行数字货币持有谨慎态度。这可能是由

于它对支付和银行体系的良性运转有着重要的影响。

在这个背景下,基于区块链技术的各种应用不可避免地将对人类经济社会产生根本性的影响,现有社会中的个人与机构,机构与机构之间的互动及交易模式可能与以往不同,因此有必要对区块链底层技术以及应用过程中涉及到的 C2B、B2B 等互动进行策略分析和研究。

2.2.1 区块链底层技术中共识机制的博弈问题

区块链的共识机制是基于算力(Mining Power)的工作量证明(Proof-of-work)。其基本概念是在把候选区块写入区块链时,必须要找到某个值 nonce 让候选区块(等待确认的打包交易记录)的 hash 满足一定条件才能使候选区块合法,而要满足此条件只能进行尝试。矿工尝试的次数越多,算出来的概率才越大,就越能写入区块链。Biais 等采用随机博弈来研究矿工的策略并对此共识机制进行了分析^[16]。Biais 等的研究发现在最长的链条上进行挖掘是一个马尔科夫均衡且没有分叉,但由于区块链协议是一个合作博弈,因此会存在有分叉的多重均衡。比如,如果矿工写入区块的能力(也即算力)不是平均分布的,或者对以往区块记录进行修改的价值足够大时,长链共识就无法阻止矿工对以往数据进行修改。此外,Biais 等还发现信息延迟和软件升级会引起分叉。

Ebrahimi 等提出了一个新的博弈论框架来研究一个通用的区块链共识协议^[17]。由于每个矿工对区块都可读取和写入,矿工们事实上能够提议不同的分布式账户版本。他们发现只有当矿工的策略满足达成“共识”(所有用户都同意某一个版本的账户是正确的)和“永久性”(所有用户都没有激励去忽略或修改历史记录)时,区块链才有用。Ebrahimi 等表明当矿工在算力上的异质性足够大时,比特币的现有共识——在最长的链条上进行写入——无法满足共识或永久性这两个条件^[17]。这个发现与 Budish 等的发现是一致的^[18]。他们进而证明存在满足这两个条件的新均衡,也就是新共识协议的存在性。在实践中,这种新均衡即使在 51% 算力攻击下也是稳健的。

以上这些文献集中讨论区块链中的共识机制,也就是现有的长链共识是否稳定和可靠的问题。在他们的研究背景中,只考虑了区块链中的公开链,而没有考虑其他形式。事实上,根据参与者的不同,区块链还包含联盟链 Consortium 和私有链 Private

Blockchain。私有链有许可机制,只有内部少数人可以使用,信息不完全公开。而联盟链则介于两者之间,若干组织一起合作来维护和管理,对于区块链的使用必须是有权限的管理。可以看到,三者的区别在于参与权限的不同。公开链完全开放,不需要许可,任何用户都可以参与使用和维护,所以如何达成社会共识和信任是一个关键问题。而联盟链和私有链都需要许可,数据的维护、读取和写入只能内部人进行,也类似于设置了某种准入障碍,同时由于具备区块链数据“不可篡改”的特性,又突破了传统数据库无法避免数据篡改或删除的问题。

由于以上这些区别,三者的应用场景各有不同,比如联盟链多应用于跨行清结算等场景,如银联。这些区别同时也决定了公开链的共识机制不一定适用于私有链和联盟链。第一,公有链没有权限许可和准入门槛,链上的成员和节点很多,为了维持信任而形成的共识机制可能产生高能耗(比如电力消耗),但私有链和联盟链设置了权限许可,本身就降低了信任成本,因此不一定需要公有链中高能耗的共识机制。第二,公有链的开放性意味着没有进入门槛,节点可以无限制增加,除非节点之间形成同谋或者单个节点的算力超强,否则节点们大都遵守长链共识。然而,在私有链和联盟链中,节点数量固定,组织之间的权限或能力有差异,尽管信任基础高,也有可能因为利益关系出现共识协议破裂。

因此,需要运用博弈论对这三种不同的区块链下的共识协议进行研究,既需要考虑节点之间的异质性差异,也需要考虑节点之间的合谋以及时间空间上的动态博弈。由于不同领域如金融和供应链等行业都在发展相应的区块链底层技术创新和应用,对这些场景的研究也能为这些行业提供重要的参考价值。

2.2.2 中央银行数字货币中的博弈问题

基于区块链技术的中央银行数字货币,越来越受到各国中央银行的青睐。中国和法国研发了各自的数字货币并进行测试。

在传统货币体系中,商业银行通过吸纳存款和发放贷款来进行货币创造,而中央银行可以通过使用公开市场操作、改变准备金率和锚定基准利率等货币工具来应对经济波动,同时还要满足其稳定通货膨胀率的目标。然而,央行数字货币的介入有可能彻底改变个人与机构、机构与机构之间的互动与协作关系,会对宏观经济中的价格和资源配置产生重要的影响。同时,央行数字货币以何种方式引入

也可能通过改变个体和机构的预期及行为对传统货币政策的有效性和必要性产生影响。基于这些影响,非常有必要对在央行数字货币应用中的各方博弈(央行、商业银行、个体储户)进行研究。

最近两年,越来越多的学者开始关注央行数字货币对宏观经济的影响。Brunnermeier 和 Niepelt 发现如果中央银行把数字货币存在私有银行,那么它的发行并不改变资源配置的结果^[19]。Florian 和 Gersbach 研究央行数字货币和私有银行存款之间的竞争,发现引入央行数字货币会把银行的违约风险转移给中央银行^[20]。Skeie 在一个私营数字货币和央行数字货币之间存在竞争的名义变量模型中分析通货膨胀驱动的数字货币挤兑问题^[21]。Böser 和 Gersbach、Keister 和 Sanches 研究央行数字货币的出现如何影响银行存款的流动性溢价和投资^[22, 23]。Fernández-Villaverde 等把博弈论引入宏观模型中,考虑央行数字货币如何影响银行挤兑风险^[24, 25]。Fernández-Villaverde 等考虑了一个只有央行和储户的环境,央行面向储户开设个人数字货币账户,进行长期投资,同时需要维持物价稳定,模型假设储户和中央银行的数字货币存款协议是一个名义合同^[24]。在另一项研究中,Fernández-Villaverde 等用博弈论为挤兑构建了一个微观基础,给定对中央银行政策(包含清算政策 liquidation policy 和名义利率政策)的预期,储户决定是否在中期支取存款来满足消费需求;在加总的名义消费决策实现之后,中央银行选择清算政策和名义利率政策。由于有发行数字货币的能力,中央银行总能满足储户提前支取名义存款的要求,但这会引起后期物价的上升,降低储户在后期支取存款后的真实消费。给定这种情况,储户提前支取进行消费是最优行为,即会发生中央银行挤兑^[25]。Fernández-Villaverde 等发现引入央行数字货币后,作为唯一金融中介的央行将无法同时满足避免银行挤兑、最优风险分担和物价稳定三个目标,会出现央行数字货币困境^[24]。Fernández-Villaverde 等进行了扩展,考虑了一个央行、私有银行和储户同时存在的环境,发行账户式数字货币的央行和可吸纳存款的私有银行之间存在竞争,发现之前的结论依然存在^[25]。

由上述研究可以看出,目前对于央行数字货币的引入方式,引入后如何定位央行和商业银行的功能,以及央行和商业银行之间在数字货币和存款上的竞争或互补关系如何影响宏观中的实体经济(消费和投资)和价格都尚无定论,值得深入的挖掘和探

讨。尤其值得思考的是,在中央银行数字货币可能是大势所趋的前提下,最优的银行体系应该如何设计。而这就需要在一个简化的宏观模型中引入个人和机构、机构和机构的动态博弈,从而在此基础上进一步思考均衡策略和社会最优设计的问题。

2.3 数字经济的平台设计与监管

网络交易和共享平台是中国数字经济发展的最大亮点。2019年,全球前30大互联网公司中,中国公司占了7席,其中阿里巴巴、美团和京东三家网络平台企业排名分别为6、17和18。共享经济方面,2018年,我国共享经济参与者人数约7.6亿人,诞生了滴滴、哈啰、摩拜、自如、途家等独角兽企业。其中共享交通领域交易规模达到2478亿元,网约车用户在网民中的普及率达到43.2%,共享住宿市场交易规模约为225亿元,参与人数达到2亿人。网络交易和共享平台的发展也带来了一系列新的问题,如平台企业和地方政府间的关系、平台安全保障和应急处理、平台用户管理等,都是目前亟待解决的问题,需要从博弈论角度,考虑如何设计合理的平台机制以促进市场良性发展,以及如何对平台用户进行管理。

2.3.1 平台机制设计

近年来以淘宝、拼多多、京东、Amazon、e-bay、滴滴、Uber、Airbnb、美团为代表的网络交易平台和共享平台得到了蓬勃的发展。通过互联网平台对资源实现有效配置,符合创新、绿色、可持续的发展理念,有利于促进经济社会发展。网络平台本质上是市场提供了一个交易场所,通过促成双方或多方用户之间的交易,并收取交易费用而获得收益。近年来,基于平台的双边或多边市场研究受到越来越多学者的关注,领军学者包括2014年诺贝尔经济学奖得主Jean Tirole等。其中的典型问题包括平台的定价和收费策略和平台用户行为分析等。

(1) 多边市场平台定价

网络交易平台和共享平台定价属于多边市场中的机制设计问题。多边市场中,不同类型的用户通过一家或多家平台联系在一起,并通过平台进行交易。从2003年起,Rochet等学者在基于平台的多边市场领域开展了大量开拓性研究^[26-29]。典型的基于平台的多边市场包括以下三个特征。一是,市场包括一家平台企业,以及两种以上的用户群体,用户们通过平台进行交易。二是,市场中存在跨组外部性,即市场中一方参与者的收益不仅取决于和同类的竞争,而且依赖于另一方参与者的数量

和供需等特征。三是,平台可以为多方市场定价,促成多方的交易并从中收取费用。以网约车平台为例,在网约车服务系统中,司机乘客和平台三方之间存在着复杂的博弈关系。司机之间存在着竞争关系,乘客之间也存在着竞争关系,但是司机和乘客的收益是互相促进的。最后,平台可以对网约车服务进行定价,对司机和乘客进行匹配,并从中收取费用。

Weyl 指出多边市场中的关键问题是平台定价和收费策略^[30]。在双边市场中,平台可以通过设计定价和收费策略引导用户决策。如何根据用户群体的特征设定合理的价格,不仅会影响到平台的收益,还会对市场的长期发展起到决定性作用。当前的一个挑战性问题平台动态定价。例如,对于初创期的平台,一般会采用价格补贴等方式快速吸引用户,而当平台达到一定规模后,往往会逐步降低补贴、提高收费以实现盈利。需要注意的是,尽管市场规模增加会给平台带来更多的收益,但是平台追求利益最大化并不总能使市场整体收益达到最优。因此有必要通过博弈论方法,为平台设计合理的定价和收费机制,促进市场良性发展,并最终实现买方、卖方和平台的三方共赢。

(2) 基于用户行为的策略设计

以往对多边市场的研究中,大多假设平台用户是完全理性的,并总是会根据平台当前的定价机制和市场的整体情况选择收益最高的行为。特别是当市场中存在唯一的交易平台时,平台定价问题可以转化为平台收益的最优化问题。但是在现实中,平台用户往往不是完全理性的。一方面,平台用户不具有完全信息,既不了解其他用户的选择,也不了解平台匹配和定价的内在机理,因此难以计算出当前的最优策略。另一方面,平台用户在决策时会有众多非理性特征,如羊群效应、认知偏差、轻信虚假信息和极端情绪等。这就导致了平台的定价策略调整后,往往难以起到预期效果,有时甚至会起到反作用。

因此,当前的前沿研究领域之一是数据驱动的用户行为的辨识和平台定价策略研究。通过分析用户行为数据,建立不同类型用户的决策模型,然后基于用户决策模型研究平台的定价策略。随着数字经济的快速发展,众多网络平台已经积累了海量的用户数据,这为分析用户行为奠定了数据基础,这一方面有大量的实证研究问题需要深入。目前一些平台已经开始对用户的消费习惯进行建模,并对不同类

型用户推送不同的交易信息。这不仅能够提升交易匹配效率,还能够增加平台的收益。同时一些平台也会根据不同类型用户的消费行为变化,通过发红包和优惠券等方式,动态调整定价。这些都是平台机制设计需要考虑的新问题。

2.3.2 平台用户管理

随着平台经济的快速发展,也产生了众多社会问题,如淘宝、拼多多等网络交易平台中假货横行,滴滴等共享出行平台安全事故频发。如何对平台用户进行评估,对不合理行为进行监管,并对涉嫌欺诈的用户进行治理,是当前亟待解决的问题。目前业界和管理学界对平台用户监管和治理的主要方式是引入信誉机制,奖励诚信行为,惩罚欺诈行为^[31]。平台信誉机制设计的主要难点在于,网络上的用户具有较大的流动性,一些匿名交易平台存在着追责困难的问题,并且用户的行为往往具有众多非理性特征,影响了信誉机制的有效性。因此需要采用博弈论和行为经济学相结合的方式,从实际数据出发,系统分析不同信誉机制对买方和卖方用户决策的影响。然后以此为基础,设计合理的信誉机制和激励机制,帮助提升平台的整体诚信水平。

(1) 平台用户管理和信誉机制设计

通过信誉机制对平台用户进行管理是当前的主流方法^[32-34]。1997 年 e-bay 推出了打分机制,通过星级来评估用户在交易时的信誉程度。这一机制有效减少了交易中的信息不对称,让信誉高的商家有机会获得更多的用户并赚取更高的利润,而信誉低的商家则会失去用户。这一机制如今已经被众多平台采纳,并产生了多种变体。例如淘宝、京东、美团等平台都通过细化评分规则以及引入同类商家的对比,进一步完善了打分机制的合理性。

目前平台信誉机制设计面临着以下两个挑战。第一,对于单一指标的信誉机制,当不同商家有相似的评分时,信誉机制就会失去比较的效果。例如淘宝星钻冠体系经过一段时间的发展后,大部分的商户好评率都超过了 99%,导致评分不再有效。因此淘宝进一步发展了细化评分的 DSR 机制,从多个维度对商户进行评价。但是,评分的细则过多不仅增加了打分的难度,而且会使消费者难以权衡。因此如何设计合理的评分体系,既能保证一定的区分度,又能够帮助消费者做出准确判断是一个亟待解决的问题。

第二,如何设计合理的信誉机制,能够体现出商户的真实特征。目前主流平台会对差评或评分低的

商户进行惩罚,如减少广告引流,不再进行推荐,甚至关店。因此,一些商户通过刷单的方式提升评分,对好评的买家返现或发红包,对差评的买家进行辱骂甚至人身威胁。另一方面,一些买家也对商户进行恶意评价,并以此威胁商家,提出不合理要求。这些行为都严重影响了信誉机制的有效性。从本质上看,买家打分是一个公共品博弈,做出真实准确的评价有利于其他买家并有助于提升平台整体质量,但是对个人的收益有限。因此平台如何设计合理的评价激励机制,引导用户做出真实准确的评价,对信誉机制的有效性起着关键的作用^[34]。

(2) 基于用户行为的信誉机制研究

大量研究指出,信誉机制对平台用户的行为有很强的引导性。如 e-bay 和淘宝上,信誉评分高的商户不仅有更高的成交量,成交价格也往往高于评分低的商户。但是 Cabral 和 Hortacsu 指出,信誉机制在实施时也存在着一一些问题^[34]。一方面,由于买卖双方沟通不足,买方缺乏经验,及恶意差评等原因,会导致出现不真实的差评。另一方面,基于 e-bay 的研究发现,买家在对商户评价时会受到其他人近期对该商户评价的影响。当商户得到一个差评后,接下来得到差评的概率会大幅上升。这些因素综合作用,会使信誉评分不能准确反映实际情况。

信誉机制的有效性依赖于用户评价的真实性和准确性。近年来,一些学者已经开始关注不真实的评价对信誉机制的负面影响,指出在设计信誉机制时需要考虑买方的历史行为,并以此为基础分析该用户评分的有效性。例如淘宝等平台,已经开始对买方的历史信用、交易记录及评价等信息进行分级,并以此为基础对信誉机制进行改进。目前信誉机制的行为研究中主要有以下三个问题:第一,如何评估买方的诚实程度,区分真实和恶意的评价;第二,如何评估差评是由于卖方有意欺诈还是买卖双方沟通不畅等原因造成的;第三,如何根据用户的行为特征改进信誉机制,调整不同类型用户评分的权重,使得评分能够更加真实的反应商户的实际情况等。

2.4 数字经济中的市场设计理论与应用

传统经济的市场法则主要靠自然演化,常常有一个漫长的走向成熟的过程。数字经济以信息技术为载体,有着强大的市场穿透力,能够在短时间内覆盖到社会的各个角落,其自然演化的试错过程可能会带来巨大的社会成本,甚至断送其发展前景,例如中国的 P2P 金融。因此对数字经济进行市场设计,有望促进数字经济的健康发展。而大数据、人工智

能等数字技术的发展使得数据刻画更加精准,让海量数据的分析、使用成为可能,为市场设计提供了“透明”的信息基础;同时市场设计的理论和方法发展及成功应用,也昭示着数字经济市场设计有着很高的可行性。当然,数字经济的广泛应用使经济活动环境发生了改变,庞大的用户基础、精准算法的实现、数字化平台的巨大市场空间,都给市场设计理论带来了很大的挑战,需要对传统的市场设计理论进行拓展与创新。

市场设计理论产生于 20 世纪 60 年代,是近二三十年来微观经济领域中迅速发展的一个分支,大量应用于解决现实问题。市场设计理论可以视为对博弈论与社会选择理论的综合运用,旨在研究如何设计出一套显示微观主体真实偏好,最终达到既定社会目标的机制。并以此解决激励扭曲和市场失灵方面的问题,是一种有效且激励相容的经济资源配置的重要方式。以是否引入价格机制为区分,市场设计理论主要包括拍卖理论与匹配理论,那么在数字经济之下如何创新发展和应用拍卖理论与匹配理论。

2.4.1 拍卖理论与应用

拍卖是转让财产权利最古老的方式之一。以公开竞价形式进行买卖的拍卖方式现今被广泛应用于物品售卖,特别是难以定价的物品,例如艺术品、土地使用权、公交线路运营权等。在经济学的研究范畴内,拍卖理论充分运用博弈理论与信息经济学的知识,旨在设计出合理机制实现期望收益最大化与提高分配效率,是微观经济学领域最活跃的研究方向之一。相较于一手买卖的方式,拍卖更加公平、有效,因为最终赢得拍卖的人一定是支付了比其他人更高的价格,其他竞争者不会产生嫉妒。而此人也是支付意愿最高的买家,卖家最终实现了利益最大化。得益于网络技术的发展与进步,拍卖的方式也出现了更多的可能性,网络拍卖作为传统拍卖方式的拓展和延伸,其方式不断地推陈出新,在物品交易中发挥着越来越重要的作用。

(1) 动态多物品拍卖

传统的线下拍卖方式要求竞拍者在同一地点、同一时间竞价。而互联网的广泛分布为交易提供了便利性,时间与空间的壁垒被打破使动态多物品同时拍卖成为可能。单一物品拍卖机制往往呈现分散化的特点,面对众多具有类似性质的拍卖物品,且竞拍者需求并非所有标的物时,动态多物品拍卖机制更加集中化。数字化平台则为改变每次拍卖的标的

物数量提供了可操作空间,能降低交易成本、提高资源配置效率与公平性。相较于单物品拍卖,多物品拍卖所涉及的拍卖品数量更多,最终物品的赢得者可能不止一个,而且每个买家拍卖所得物品数量也不一。因此多物品的拍卖理论也更加复杂。Demange 等提出了两种多物品拍卖机制:精确拍卖机制与近似拍卖机制,能在算法有限步内调整达到一个最小价格的瓦尔拉斯均衡,但计算过程较为复杂^[35]。Mishra 和 Parkes 提出的多物品降价拍卖机制则改进了 Demange 等精确拍卖机制的收敛速度^[35, 36]。Andersson 和 Erlanson 提出了多物品混合拍卖机制,相较于之前的单一升价或降价拍卖机制,具有更好的收敛性质^[37]。尽管对于多物品拍卖理论的研究近年来一直在发展中,目前还未形成一套成熟的系统,还存在较多的缺陷,比如计算复杂、所需报价信息多、配置效率不一、存在动态策略操纵等。在详细分析现有拍卖机制之后,运用互联网技术实现算法过程以及收集动态价格信息等,能够研究出更合理更有效的竞价机制。比如,在拍卖的过程中监测到能调整价格的信息已经充分时就可以及时进行调价,避免过多的信息收集导致效率低下,同时也是对竞拍者私人信息的保护。

阿里拍卖作为全球最大的网络拍卖交易平台,涵盖与地方政府机构合作进行的大资产拍卖、高端消费品拍卖等业务。住宅用房司法拍卖目前采用的基本上都是单一物品拍卖方式,每次拍卖的标的物数量为一,拍卖效率较低,尚存在改进空间。同城多个法院同时进行公开拍卖的现象大量存在,地理位置上相近的房屋可同时作为一场拍卖的标的物,通过多物品拍卖机制的方式进行配置,能在市场中形成更合理的价格机制并提高拍卖效率,从而进一步优化资源配置。另外,现有多物品拍卖理论中大都假设竞拍者具有拟线性效用,但现实中房屋等物品具有不可分割的特点,这一假设条件往往不再适用。因此,对于更一般的非拟线性条件下的多物品动态拍卖机制的研究能为物品的配置提供更合适的解决思路与方法,极具学术价值与现实意义。

(2) 网络广告拍卖

信息通过网络实现实时传递共享。随着互联网技术的不断发展,借助大数据和人工智能技术精准化、智能化投放广告、程序化自动运作,广告实时竞价(Real Time Bidding)得以实现。在用户点击鼠标切换界面发送出广告曝光请求的 100 毫秒之内,下

个界面的广告位的拍卖过程就全部完成了。与以往一次性大量购买广告位进行撒网式投放不同,广告实时竞价取消了量的约束,针对不同的用户人群进行广告投放。广告位的交易模式从合约方式演进了实时拍卖方式,同时也带来了许多值得进一步探讨的问题。考虑到竞标者对同一标的物存在价值评估标准差异,例如存在只追求留下印象、关注展现量的广告客户、只追求点击率的客户与追求转化量的用户,这些需求方的行为会影响到价格。另外,作为广告卖主,毋庸置疑,其目标是追求利益最大化。不仅仅是关注短期利益,从战略角度来看,更为重要的是长期的利益最大化。广告质量低下但竞拍出价高的买方能为广告主带来眼前的高利益,但长此以往会造成用户体验不佳、点击率低下等问题,卖方的信誉将会遭受打击致使面临长期的利益受损。因此,竞价的评判依据还需要将广告质量这一因素纳入考量,广告质量可视作竞拍者的部分出价。而价格机制是拍卖理论的核心,在资源的配置中起着重要的作用,因此在机制设计过程中要考虑如何考虑多方面因素影响,给广告展现量、点击量、转换量等分别定价来实现效率与效益最大化。

2.4.2 匹配理论与应用

匹配理论最早在 1962 年由 David 和 Lloyd 两位美国数学家提出并用于解决大学录取与婚姻匹配问题引用。匹配往往不涉及价格机制,指的是市场双边根据自身偏好进行交换的本质,旨在设计出帕累托有效且兼顾公平的市场规则。货币支付的缺席意味着市场设计者无法借助价格机制来对引导市场运转进行资源配置,需要通过设计其他机制来实现效率与公平。匹配理论致力于研究非价格机制下的市场设计,并结合实际进行了极具实用意义的拓展,例如:Roth 运用匹配理论改进了美国的肾脏匹配系统,提高了肾脏交换的成功率,拯救了众多人的生命,产生的影响意义非凡^[38]。匹配理论还广泛应用于医学实习生与医院匹配、学生与学校匹配、电子商务买卖双方匹配等。数字经济下大量个体的匹配问题,其复杂性要求更加丰富的匹配问题的研究方法来解决,而技术的先进性也为理论的实际应用提供了支持。

(1) 线上婚恋交友平台匹配

异性婚恋匹配市场是匹配理论研究的经典情境,男女双方的匹配为典型的一对一双边匹配,而且只有当双方都中意时才能形成婚姻匹配。

数字经济的一大基础是互联网极为庞大的用户基数,智能电子设备的出现改变了人们的交际方式,从面对面的交流到通过数字化平台进行沟通,例如世纪佳缘、百合网、match.com这类线上婚恋交友平台。线上婚恋交友相较于线下婚恋交友拥有更多的匹配对象,海量的数据信息要求更复杂精准的算法实现匹配。平台可以利用云计算、智能分析等技术,对数据的快速分析与模型构建,基于多项指标包括人口学基本信息、甚至还有依赖于GPS的生活轨迹图等来预测男女双边需求进行多维度匹配。并且匹配性的选择在用户使用过程中实时进行,例如平台提供给用户“换一组推荐”的选项。但是虚拟世界的交流真实度也更低,通常情况下了解的对方信息都由对方提供,例如过度美化的照片、个人爱好信息等存在一定的虚假性,平台对于信息真实性难以提供可靠保障。基于以上线上婚恋交友匹配的特点,考虑如何设计一套机制来激励真实信息上传、优化男女双边的博弈推荐与沟通。

(2) 派单匹配

近年来网约车、外卖服务的兴起,极大地方便了人们的生活。这些服务依托的线上平台处理的核心问题就是派单,即平台从用户一端收到订单后,将订单分配给司机或者骑手。运作的基础逻辑看似十分简单,以“用户距离”为主要依据,实则不然。下面将以网约车服务平台为例进行更为详细的阐述。

网约车服务(这里暂时不考虑拼车服务)平台进行司机与乘客直接的一对一交易撮合,派单问题实质上也是匹配理论中一对一的双边匹配问题。派单的效率直接影响到用户体验,进而影响司机与平台收入,高效率的派单能在一定程度上改善交通问题。最简单直观的方式就是基于距离将用户匹配给地理范围内最近的司机,先到先得。但这并不能满足所有乘客的需求,例如有两辆网约车,两个乘客需求,位置分布图如图2所示。司机A与乘客1在地理位置上更近,但实践中最终的匹配是(1, B)(2, A),这就是的一个要满足空间上的全局最优化问题,并不是要求每个用户匹配到的是距离最近的司机,而是全局范围内对整体用户最近的匹配。

第二个问题是时间上的最优化匹配,也是这类派单问题中最大的挑战,需要考虑包括未来时间的整体最优。新的乘客和司机随时可能加入,产生新

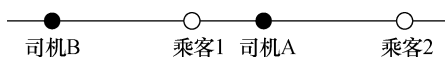


图2

的基点发送出匹配需求,匹配的双方也就发生了变化,那么在此之前的最优匹配将可能被推翻。如何解决时序问题也是匹配理论中值得深入的部分,其本质是要面向未来供需双方的不确定性。现在的派单系统用于解决时序问题的方式为组批匹配(Batching Matching),即平台在接受到订单信息后不会立马进行匹配,而是在一个可以被等待的时间内将订单集中起来确定供需双方,再进行匹配。这仍然不是一个十分有效的方法,因为用户的等待响应时间有限。如何结合动态的时空结构进行模型构建,深化匹配理论,又切实解决现实生活中的派单问题以满足更多人的出行需求,实现最优匹配。

(3) 不可分资源匹配

数字经济中,因为信息技术的作用,不可分资源匹配的广度和复杂度已经大大加强,有很大的挑战性。

例如,教育资源的配置问题(学生—学校匹配)是每个家庭的重大关切,而就业(劳动者—工作单位匹配)是最大的民生。针对它们的线上平台已活跃多时:前者例如美国各大城市的中小学招生,后者例如美国住院医师匹配,参与匹配的对象数量以及参与者的特殊要求都有本质性地增加,而对匹配速度有很高的要求。择校与就业均为匹配理论中的经典研究对象,是一对多的双边匹配问题,即学生最多能选择一所学校,求职者最多就职于一家企业,但学校和企业名额允许范围内则可选择多个个体。择校和就业这类社会问题不仅要考虑匹配理论中个体真实意愿的体现、匹配结果的效率,而且还要兼顾个体的参与性条件与匹配结果的公平性。

匹配理论应用于择校问题的两种典型算法为常见的志愿优先、平行志愿的模型化。前一种在1999到2015年之间应用于波士顿城市的学生选择系统,也被称为波士顿机制。采用的是David Gale和Lloyd Shapley提出的由学生申请的延迟接受算法(Deferred Acceptance Algorithm, DA),这种算法具有稳定性以及防策略性等良好性质^[38, 39]。不过在此机制下也存在较大的缺陷,比如很有可能出现“高分落榜”和“高分低就”的现象。而平行志愿的模型化即为延迟接受算法的变形^[40],很大程度上缓解了这一问题,且降低了学校退档比率,配置效率得以提高。但在平行志愿机制下,聂海峰指出学生仍然无法直接按照真实偏好进行填报,还需要采用精巧的策略^[41]。魏立佳则从机制设计角度出发,指出了平行志愿机制的效率低下问题,并提出了通过降低投

档比例等新方式加以改进^[42]。同样,在劳动力市场中也存在配置效率与公平性等问题,典型的案例是匹配理论中一个悲观的定理——“农村医院定理”,指的是偏远地区无法招收到合格的医生与教师。我国的教育、就业问题亟需有效的机制进行优化。首先,要从理论上对比分析不同招收机制的分配效率、稳定性等性质,从理论上研究设计一种有效的录取机制显示双方真实偏好、提高匹配双方的福利,同时保有匹配稳定性、防策略性操控等良好特性,而大数据与人工智能等技术为复杂算法的实现提供了技术保障,可以运用实验、仿真等方法在政策落地之前进行模拟,观测新的录取机制是否能改进分配效率,极具现实意义。

2.5 数字经济中的竞争与合作

2020年4月9日,中共中央国务院发布的《关于构建更加完善的要素市场化配置体制机制的意见》中明确指出,要“充分发挥市场配置资源的决定性作用”。与传统经济一样,对于以数据为核心生产要素的数字经济,其健康发展也有赖于数字经济企业间的分工合作与充分竞争,有赖于数字经济与传统经济间的合作与竞争。竞争与合作是驱动市场能够不断向纵深发展、不断为消费者提供更加丰富更加高质量产品和服务的主要力量。充分理解数字经济中的竞争与合作也是实施科学合理政府规制的理论基础。

传统市场上的竞合关系边界相对清晰,通常供应链上纵向之间是合作关系,横向之间生产替代产品的企业间是竞争关系、生产互补产品的企业间是合作关系。数字经济的繁荣改变了市场形态,打破了企业间竞争与合作的边界,对企业战略管理和运营管理提出了新挑战,也对政府规制提出了新挑战^[43, 44]。数字经济的出现对产品和服务的生产成本、搜索成本和运输成本等显著降低,使得经济学特别是产业经济学中经典理论和模型的前提条件发生了改变,从而不能直接适用,也无法对其进行直接指导。由于数字经济具有特殊的供求关系,其在产权保护、隐私保护、交易安全、网络中性等多方面都存在一些极富争议的话题,很多传统经济学的基础问题需要从竞合的角度重新审视和研究^[10, 45]。目前研究竞合关系的博弈论工具尚不成熟,没有标准的模型供大家使用,这就为相关的博弈论理论研究提供了巨大空间。

2.5.1 平台间的竞争与合作

数字经济最重要的形态就是双边或多边平台。

平台企业的存在更好地匹配了需求和供给,让很多数字经济时代之前无法想象的交易成为可能。与非平台交易一样,买卖双方决定交易前是合作关系,决定交易并商讨成交价格时是竞争关系。与B2C平台相比,这种买卖双方的竞合关系在B2B平台中体现得更为显著^[46]。平台内买卖双方的竞争与合作一般被高度简化,交易所产生剩余价值的分割由供求关系决定,并且可以被理解为一个非结构化的讨价还价过程。另外,平台内买卖双方的利益更多取决于平台的定价策略。比如最优的平台定价策略经常具有交叉补贴的特点:即平台对其提供的服务只从一方收费而对另一方免费。

与平台内的竞合关系相比,学术界目前更加关注的是平台间的竞合关系。关于平台间竞争的研究最早可追溯至平台经济研究的经典文献^[27, 47]。与传统企业间的竞争相比,平台间的竞争可能具有一些奇怪的性质。比如最新研究发现平台间竞争加剧不一定使得商品价格降低,消费者剩余也不一定增加。目前相关的文献多数假设单宿主(Single-homing),即一个消费者只能选择一家平台。现实中的多数情况是多宿主(Multi-homing),即消费者可以选择多家平台,而若允许部分买家和卖家都是多宿主,那么平台的最优定价策略不一定具有经典的交叉补贴的特性。多宿主假设下平台间竞争加剧对商品价格和消费者福利究竟有何种影响是学术界非常关心的问题,也是政府反垄断管制着重关注的话题。

与平台间的竞争相比,对平台间合作的研究更加稀缺。数字经济使得普通企业打破了竞争合作边界的同时,还使得平台间的竞争合作没有了边界,而且竞争合作关系经常快速转换。比如导航公司与网约车公司很容易从合作伙伴变成竞争对手,而短视频网站则因为直播带货的兴起可以迅速与原来看起来没有多少关系的电商深度合作。平台间每一次竞争与合作关系的转换,对其两类消费者——平台上的买家与卖家,都是一次生态环境的巨大转换。这些转化如何影响平台定价、商品价格以及消费者福利,都是完全未解决的理论问题^[48]。

2.5.2 数字经济中的反垄断问题

相对于传统企业,平台企业因为更在意用户基数而非利润,因此会努力营造对买卖双方都公平的平台生态,并自动承担规制者的角色进行各种治理^[49]。然而平台的权利和义务边界如何界定仍然有众多争议,包括网约车司机对乘客有犯罪行为时

网约平台是否应该承担相应责任,搜索引擎平台是否应该保证呈现信息的真实性,推荐算法推荐的商品出现质量问题是否可以问责平台等,值得进一步深入探讨。

相对于平台治理和规制,数字经济中的反垄断引起了更多的关注和争议。跟传统企业非常不一样,平台最重要的特性是跨边的网络外部性,因此规模越大效率越高。最近的研究还发现引入新的竞争者时,商品价格不一定下降,消费者福利不一定增加。基于这些原因,不少专家认为平台市场的竞争政策应该有别于传统企业,合理的市场结构应该是尽可能集中,政府应该要鼓励平台企业之间进行并购^[50]。然而过度集中的结果会形成垄断,而平台则会借助其垄断地位采取各种不利于消费者的措施,政府监管也会变得非常困难甚至不可能。现实中,各国政府针对谷歌、亚马逊和腾讯等的反垄断诉讼以及伴随的各种争论经常是公众和媒体关注的热点。如何在提高经济效率的同时不让平台权力过大是政府和学术界非常关心的问题。经济学家很早就利用博弈论特别是合作博弈论来研究反垄断问题。通过研究相关产业的生产函数,理论上以该生产函数是否边际回报递增以及相关合作博弈的核是否非空来判定该行业是否具备自然垄断的基础^[51]。由于数字经济相关企业的生产函数非常特殊,所以需要经典理论进一步发展来适应新的业态形势。

2.5.3 竞合关系的博弈建模

竞争与合作是生命交互的永久话题,是博弈论研究的核心问题。但是博弈论对这两个话题的处理总体而言比较割裂,一直不能令人满意。作为一个最显著的问题,合作博弈论与非合作博弈论是两个相对独立的研究框架。尽管合作博弈论与非合作博弈论都同时处理竞争与合作关系,但是总体而言合作博弈论处理合作特别是其中的利益分配问题更方便,而非合作博弈论处理竞争关系更方便。

博弈论领域一直有学者尝试将合作与竞争纳入一个统一模型进行研究,代表性的研究包括各种讨价还价模型、两型博弈、半合作博弈等^[52-55]。但是这些模型各自都有比较大的局限性。相关的应用研究中,特别是在供应链领域中,竞合(Co-opetition)是一个热门的话题。但是这些文献中基本上使用的还是非合作博弈论模型,使用的合作博弈模型比较少,上述混合模型更少。

数字经济的发展使得企业间竞合关系的复杂程度进一步加剧,也对博弈论相应的发展提出了更

具有挑战性的问题。如何研究平台间合作与竞争交织在一起的互动、交融和更迭,目前的文献还没有涉及,大量问题值得研究。上述常用的竞合模型针对平台经济研究各有何优缺点?如何设计更加合理的竞合模型?如何建模动态竞合关系?如何使用合适的博弈论模型在水平整合视角下全面理解平台间既有竞争又有合作的关系,从而对政府监管特别是反垄断提供理论依据?这些都是亟待解决的重要理论问题。

2.6 数字经济中的网络博弈问题

数字经济的兴起,一个不容忽视的媒介是依托于信息技术的网络空间,Facebook、腾讯、微信、网红经济等等,都是网络化数字经济的代表。特别地,随着在线社交网络的兴起,一方面,厂商可以通过口碑营销更低成本地推销自己的商品,重塑商品流通渠道;另一方面,谣言也可以跨越地理区域快速传播,给社会治理带来新的挑战。数字经济的蓬勃发展为网络博弈理论带来了新的机遇与挑战,同时也为网络博弈理论提供了更加广泛的应用前景。

网络博弈理论主要研究行为主体互动网络如何形成,以及互动网络如何影响信息传播、经济行为和经济政策等。网络博弈理论的研究最早可追溯于Aumann和Myerson^[56],经过短短三十余年的发展,已成为博弈论最为核心的组成部分之一,同时也成为经济学、管理学、计算机科学等诸多学科最为前沿、最为尖端的新兴研究方向之一。网络博弈理论无论在科学研究还是在工程实践均取得了重大突破,被广泛应用于各种经济与社会现象的分析和解释,同时也被广泛应用于电子商务、人工智能、网络与信息安全、传染病防控等工程实践。Bramoullé等对网络博弈理论的基本知识、研究现状及发展趋势等进行了详细的综述^[57]。

2.6.1 在线社交流量转换与网络形成博弈理论

网络形成博弈理论是网络博弈理论的重要基石之一,主要关注网络形成机理及演变过程。网络形成博弈理论现有研究一般假定,在网络中,个体仅从事信息生产或教育投入等一种活动,个体通过调整连接来最大化其收益^[58, 59]。然而,在数字经济时代,一个非常鲜明的特征是在线社交活动与其他经济行为紧密相联,此时网络博弈理论现有模型失去了解释效力^[60, 61]。

在电商直播中,网红带货和明星带货已经成为一种风潮,这种现象可以用流量转换来概括。当存在流量转换时,在微博、抖音等在线社交网络中,高

知名度个体更愿意投入更多时间生产高水准的文字和视频内容,从而吸引更多的其他个体来关注他(她),以进一步提升其知名度;同时,高知名度的个体可以与电商平台和供应厂商合作,将其高关注度通过直播带货、广告软文等方式转化为经济收入。当在线社交活动与经济活动紧密相连时,个体相互影响将呈现出更加多元化的特征:一方面,个体为了更多关注度将相互竞争,此时,不同个体社交内容生产活动之间将存在负外部性;另一方面,当一个个体生产高水准社交内容时,其他个体可以通过评价、交流、再加工等方式生产再加工社交内容,此时个体社交内容生产活动之间将存在正外部性。并且,当与电商平台和供应厂商进行合作时,依赖于不同合作模式,个体间将存在竞争或合作关系,网络的形态以及形成的机理都有很多新的问题值得研究。

2.6.2 信息传播与社会学习

社会学习是网络博弈理论和信息经济学最为重要的一个研究分支,主要考察当信息在一个给定网络上进行传播时,个体如何汇合信息,更新信念,并做出决策^[62, 63]。在数字经济时代,由于移动互联网的普及和微博、抖音等在线社交网络的兴起,人们可以非常方便地获取其他人所知的信息,并进一步传播信息。伴随着这一趋势,一方面,人们可以更方便地获取到与自己所知信息不同的其他权威信息,另一方面,人们可以更方便地与拥有和自己所知信息相同和相近信息的其他个体建立连接,互相交流。然而,由于思维惰性,人类很少是足够理性的。尽管现代社会在人际联系上具有空前的广度,但我们却没有见证到人们的观点和信念的极端化走向减弱的迹象。在数字经济时代,“回声室效应”更加凸显。

今日头条等新闻类 App 和微博、抖音等在线内容社交网络都是基于推荐算法。由于“回声室效应”的存在,一个非常值得关注的问题是推荐算法的信息正义。为了更好地理解算法的信息正义,非常有必要进一步推进网络博弈理论和信息经济学理论的交叉研究,深入阐明信息在线上社交网络和线下社交网络的传播机理。

2.6.3 线上和线下社交网络的互动

网络上个体互动是网络博弈理论的一个经典研究分支,一般假定个体之间仅存在单重连接,主要考察在一个给定单重网络中,每个个体的行为如何受其他个体行为的影响,其中,个体均衡行为与网络拓扑结构密切相关。最新研究 Walsh 等假定个体之间存在双重连接,每个个体的收益依赖于每重连接

形成网络中所有个体的行为,其中, Walsh 假定每重网络均为固定, Joshi 等假定一重(社交)网络为固定,另一重(商业)网络为可变^[64, 65]。在数字经济时代,每个个体不仅涉足于基于血缘姻亲的传统社交网络,同时也涉足于微信、微博、抖音等在线社交网络,线上和线下社交网络在个体生活中发挥着不同作用,并不能互相取代。

在数字经济时代,线下社交邻居和线上社交邻居既相互联系,也相互区别。特别地,由于地理隔阂,久未联系的同学、前同事经常由线下社交邻居逐步转变为线上社交邻居;由于古典音乐、户外运动等共同兴趣,线上社交邻居经过频繁在线交流后,往往会转变为线下社交邻居。对于这种不同社交关系互相转换的情形,网络博弈理论现有模型失去了解释效力。并且,由于线上和线下社交网络并不能互相取代,个体希望在线上和线下社交网络均有一定的参与度和活跃度。同时,由于个体的社交活动时间总是有限的,个体需要将时间在线上社交网络和线下社交网络之间进行合理地分派。从全社会角度来看,线下社交网络可以为个体提供非正式的金融保障,线上社交网络可以加强个体的社会认同,两者均关系到全社会的和谐与稳定,线上线下社交网络互动的数学刻画、影响力的传导、网络的协同演化等都是具有重要意义的研究问题。

2.6.4 数字鸿沟与经济不平等

传统的网络博弈理论,主要是从网络结构进行考察,难以被用来考察市场环境下个体的巨大差异^[61]。Gagnon 等的最新研究考察了传统社交网络与市场如何进行互动,及其对经济不平等、社会治理等的影响^[58, 66]。在数字经济时代,在线社交网络通过电商直播等方式给传统的产业价值链带来了猛烈的冲击,重塑了价值创造和分配,进一步影响了国民收入分配和经济不平等。这种转变为网络博弈理论研究提供了巨大的空间。在《习近平谈治国理政》第二卷中,习近平总书记强调“着力解决发展失衡、治理困境、数字鸿沟、分配差距等问题,建设开放、包容、普惠、平衡、共赢的经济全球化”。

虽然,数字经济的扩张创造了许多新的经济机会,但是数字经济所实现的价值不可能在个人、行业、区域之间进行公平分配。Gagnon 和 Goyal 研究发现,若社交网络与市场互补(替代),市场发展会加强(削弱)社会网络,放大(缩小)经济不平等^[58]。换言之,社交网络与市场的相互关系对于社会福祉影响极大。然而,市场与社交网络关系并非简单一分

为二。在数字经济背景下,市场与社交网络关系界定将更为复杂。譬如,以西湖龙井茶叶为例,一方面,电商直播将原产地农户和意向消费者直接相联系,原产地农户将直接受益;另一方面,数字技术的发展使得全链路保真成为可能,毗邻产地农户无法将自家产品标识为西湖龙井茶叶,其利益将受损。另外,值得注意的是,由于地域毗邻性,原产地和毗邻产地农户之间存在着错综复杂的社会联系。同时这些复杂性给政府部门带来极大挑战,政策设计者需要在个体激励、收入不平等以及经济发展等众多因素之间进行权衡。

另外,在数字经济时代,数字技能的掌握和使用与受教育水平(尤其是科学、技术、工程和数学的受教育水平)密切相关。众所周知,家庭教育投入、儿童学业投入广泛受到了同侪效应的影响。运用网络博弈论研究教育不平等是劳动经济学、发展经济学的一个重要主题。然而,如何将社交网络、教育水平、数字技能、经济不平等纳入同一框架进行深入探讨,非常值得开展进一步的系统研究。

2.7 数字经济的时间一致性问题

从博弈论的观点看,合作解的时间一致性(动态稳定性)是这样一性质:当博弈沿着合作最优轨迹进行时,在每个时刻局中人为同一个最优准则所支配,在博弈进程中没有任何理由偏离最初的“最优行为准则”。当时间一致性不能得到满足时,在某些时刻局面会发生变化,使得延续最初的行为可能不再是最优的选择,因而最初选定的最优准则无法得到持续的实施。

数字经济是一种广泛参与的动态竞合关系,时间一致性决定了竞合关系的可持续性,是数字经济中动态合作可持续发展的本质属性和内在要求。数字经济的动态合作博弈机制可以归结为三种方式:时间一致性、策略稳定性以及防止非理性行为操纵条件。时间一致性作为动态合作博弈机制的基本方式,贯穿于另外两种方式之中。

2.7.1 时间一致性(动态稳定性)

时间一致性问题最早是针对具有可转移支付的合作微分博弈提出的动态合作博弈中最优解的时间一致性问题。已经证明,大多数合作解概念(如核心和 Shapley 值)是时间不一致的。时间不一致性可解释如下:假设博弈开始之前局中人协商同意采取合作行为(即采取最大化支付总和的策略),并根据预先商定的合作最优准则对支付总和进行分配。多数情况下,按照相同的最优解概念在博弈的即时阶

段重新计算局中人的支付,分配会变得不同。这种情况不仅出现在微分博弈中,也出现在动态多阶段博弈和随机博弈之中。为克服合作最优解的时间不一致问题,Petrosyan 等针对各类博弈模型建立了特殊的补偿计划,称之为“分配补偿程序(IDP)”。分配补偿程序包括了局中人在博弈的每一个阶段(或每一个瞬间)对共同收益的分派原则,使得局中人在所有阶段结束之后所获得的支付之和恰好与博弈开始之前局中人协商同意的合作最优解相等。如果局中人按照相同的合作最优准则在博弈的任意即时阶段重新计算其剩余支付,那么计算按照分配补偿程序的既得支付,合并从这一阶段到博弈结束的剩余支付,将会与博弈开始时按照合作解概念所得支付相同。

通过特征函数变换得到分配补偿程序,是建立时间一致最优准则的有效方法,问题在于依赖于特征函数的各种最优准则所确定的分配计算复杂度高、可操作性低,严重阻碍了这种方法的适用性。对于有限树图上的随机博弈,在树图的每个节点处定义了一个给定的 n 人规范型博弈,转换到树的下一个节点是随机的,取决于当前博弈中所实现的策略组合。引入强子博弈一致(强时间一致)核心的概念以后,就可以利用从核心设计分配补偿程序的方法,实现强子博弈一致性。同时提出一种新的构造特征函数的方法,针对随机博弈及其子博弈更易于计算,相比过去基于经典的 maxmin 途径计算特征函数的方法节省了大量计算。新的特征函数的存在需要满足一些条件,这些条件导致该方法不能适用于任意的随机博弈。

2.7.2 策略稳定性

合作协议应按如下方式发展,使得从合作行为中偏离的局中人不会受益。策略稳定性意味着合作协议的结果必须在某个纳什均衡中得以实现,这保证了合作的策略支撑。注意到,在合作博弈的框架之下,需要同时考虑非合作博弈的纳什均衡。

对于具有积分支付的 n -人微分博弈,针对连续时间和离散时间情形分别定义了调整博弈的概念。可以证明,合作博弈的调整博弈中存在 ϵ -纳什均衡。基本思路是,当某个局中人偏离最优合作轨迹时,其他局中人在之后的某个时间采取惩罚策略。产生的结果是,偏离合作行为的局中人的收益不会超出沿最优合作轨迹时的收益。由于在零和微分博弈中 ϵ -最优策略在任意子博弈中保持 ϵ -最优,因而在某一时刻对发生偏离行为的局中人实施相同的惩罚策略

是可能的。

进一步,可以基于分配补偿程序构造一类博弈,称之为 CD-博弈,并建立局中人从策略行为到合作行为转变的最优原则。模型提供了每个局中人在任意时刻拒绝合作的可能性,并把核心作为最优准则。研究发现,沿着合作轨迹,如果每一联盟在任意时刻按照分配补偿程序的预期支付超出在 CD-博弈中该联盟所能保证得到的最大值,则存在由递归策略导致的强纳什均衡。

2.7.3 防止非理性行为操纵条件(IBP)

针对合作微分博弈可以建立防止非理性行为操纵条件(IBP)。在防止非理性行为操纵条件下,即使在博弈中出现非理性行为,其他局中人依然能够在合作框架之下执行合作协议,这一防止非理性行为操纵条件可以从单个局中人情形推广到任意联盟的情形。

这一方式考虑到,局中人并不总是确定合作伙伴能够在较长的时间内采取使合作协议有效的理性行为,因此参与合作的局中人必须得到保证,即使在最坏的情形下,他们的支付也要高于非合作行为。局中人从合作路径偏离的通常的假设是,由于合作被打破,局中人又回到非合作行为。在合作路径上,给定满足集体理性和个体理性的分配补偿程序,没有理性局中人会偏离合作路径。然而,非理性行为会由于各种不同的原因出现。如果环境允许,一个局中人可能会采取非理性行为强占额外的利益,而其他局中人对强占行为的拒绝会带来合作的破裂。

针对动态合作博弈机制,可以归纳出目前国内外研究的几个特征:(1) 时间一致性、策略稳定性以及防止非理性行为操纵条件构成保持动态合作机制的三种基本方式。合作假设是共同的前提条件,这意味着大联盟的形成,但是这个假设具有深刻的局限性。基于网络化结盟方式的动态合作博弈机制尚未得到研究。(2) 在离散动态博弈的情形,采取非理性行为的个体偏离可能导致收益的增加,但其偏离仅能在下一个阶段才能被其他局中人观察到。因此,通过偏离的获益与贴现因子有关,这与实际情况并不吻合。(3) 计算局中人分配的复杂性。以 Shapley 值为例,已经证明 Shapley 值的计算是 NP-完全问题。在现实情景中,由于局中人联系的网络化、时间的持续性、随机扰动的影响等因素造成了局中人分配计算的困难。关于局中人分配的计算

对于随机扰动的敏感性在现有的研究工作中很少涉及。(4) 为了实现分配补偿程序的非负性,特征函数变换是一种极为有效的方法,但是目前所采取的变换方式仅限于线性变换,事实上,实现经典合作博弈理论对特征函数的超可加性要求并不难,这里具有足够的想象空间。

计划运用数学博弈理论刻画数字经济中的数学模型,主要内容包括:针对给定的博弈类,改造“经典”的合作解动态稳定性的定义方式;建立检验合作最优准则动态稳定性的程序,并且当动态稳定性无法得到满足时,建立在博弈进程中动态稳定的向局中人进行支付分派的程序——分配补偿程序(IDP)。给出纳什均衡的构建方法,并确保实现某种合作最优准则,使得运用该最优准则带给局中人的支付与构建的纳什均衡所赋予的支付相同,从而确保博弈中对合作的策略支撑。另外,给出以时间为变量的对于支付的分派方式,以确保合作解满足防止非理性行为操纵条件,即避免没有预见到的局中人对于所形成联盟的脱离。上述保证合作稳定性的条件可能针对各种博弈类型获得,针对特定的微分博弈模型、随机博弈的特殊情形以及具有网络结构的博弈模型。

3 总 结

数字经济正在像一个决口的洪流,瀑布式地浸入经济生活的方方面面,是当今中国经济和世界经济的强大引擎。数字经济正在改变着社会生活的各个层面,这其中存在着大量的博弈问题,而且相关博弈问题的解决是数字经济发展的关键。以上的篇幅中,我们仅仅对当前中国数字经济发展的关键性博弈问题进行了分析和阐述,希望能够作为一个节点性的开端,加速推动博弈论和数字经济理论研究,并且辐射到更多的数字经济博弈论问题上面,有着广阔的发展。改革开放以来,国内博弈论研究得到长足的发展,特别近些年一大批海外高水平博弈论研究学者归国,大大提升了国内博弈论领域的研究实力和水平,对于我们上述的这些博弈论问题,有可能取得一批突破性进展,造就出毛泽东主席描绘的那种壮丽场景,“她是站在海岸,遥望海中已经看的见桅杆尖头的一艘航船;她是立于高山之巅,远看东方可见光芒四射,喷薄欲出的一轮朝日;她是躁动于母腹中,快要成熟了的一个婴儿。”

致谢 本文的撰写是中国运筹学会博弈论分会2020年学术年会的倡议,受博弈论分会委托而成。写作过程中经历了博弈论分会同仁的大量讨论并提供重要的意见和建议,一定意义上是博弈论分会集体智慧的结晶。特别地,孙宁教授、李登峰教授、陈旭瑾教授、孙浩教授等对本文的写作给了很多的指导。

参 考 文 献

- [1] Admati A, Pfleiderer P. A monopolistic market for information. *Journal of Economic Theory*, 1986, 39(2): 400—438.
- [2] Admati A, Pfleiderer P. Selling and trading on information in financial markets. *American Economic Review*, 1988, 78(2): 96—103.
- [3] Admati A, Pfleiderer P. Direct and indirect sale of information. *Econometrica*, 1990, 58(4): 901—928.
- [4] Kamenica E, Gentzkow M. Bayesian persuasion. *American Economic Review*, 2011, 101(6): 2590—2615.
- [5] Bergemann D, Bonatti A. Selling cookies. *American Economic Journal: Microeconomics*, 2015, 7(3): 259—294.
- [6] Bergemann D, Bonatti A. Markets for information: an introduction. *Annual Review of Economics*, 2019, 11: 85—107.
- [7] Bergemann D, Morris S. Information design: a unified perspective. *Journal of Economic Literature*, 2019, 57(1): 44—95.
- [8] Bergemann D, Bonatti A, Gan T. The economics of social data. CEPR Discussion Paper. (2020-03-08)/[2020-10-18]. https://cepr.org/active/publications/discussion_papers/dp.php?dpno=14466.
- [9] Jones C, Tonetti C. Nonrivalry and the economics of data. (2019-08-08)/[2020-10-18]. <https://www.gsb.stanford.edu/faculty-research/working-papers/nonrivalry-economics-data>.
- [10] Goldfarb A, Tucker C. Digital economics. *Journal of Economic Literature*, 2019, 57(1): 3—43.
- [11] Abowd JM, Schmutte IM. An economic analysis of privacy protection and statistical accuracy as social choices. *American Economic Review*, 2019, 109(1): 171—202.
- [12] Angeletos GM, Pavan A. Efficient use of information and social value of information. *Econometrica*, 2007, 75(4): 1103—1142.
- [13] Goldstein I, Yang LY. Information disclosure in financial markets. *Annual Review of Financial Economics*, 2017, 9: 101—125.
- [14] Goldstein I, Yang L. Good disclosure, bad disclosure. *Journal of Financial Economics*, 2019, 131(1): 118—138.
- [15] Kurlat P, Veldkamp L. Should we regulate financial information?. *Journal of Economic Theory*, 2015, 158: 697—720.
- [16] Biais B, Christophe B, Matthieu B, et al. The blockchain folk theorem. *The Review of Financial Studies*, 2019, 32(5): 1662—1775.
- [17] Ebrahimi Z, Routledge B, Zetlin-Jones A. Getting blockchain incentives right. (2019-12-03)/[2020-10-18]. <http://econ.ruc.edu.cn/docs/2020-05/e3dc787ce2724102b8699616c9adf468.pdf>.
- [18] Budish E. The economic limits of bitcoin and the blockchain. (2018-07-12)/[2020-10-18]. https://www.nber.org/system/files/working_papers/w24717/w24717.pdf.
- [19] Brunnermeier MK, Niepelt D. On the equivalence of private and public money. *Journal of Monetary Economics*, 2019, 106: 27—41.
- [20] Florian B, Gersbach H. Do CBDCs make a difference?. Working paper, 2019.
- [21] Skeie DR. Digital currency runs. (2020-03-15)/[2020-10-18]. <https://ssrn.com/abstract=3294313>.
- [22] Böser F, Gersbach H. A central bank digital currency in our monetary system. Center of Economic Research at ETH Zurich, 2019.
- [23] Keister T, Sanches DR. Should central banks issue digital currency?. *Social Science Electronic Publishing*, 2019.
- [24] Central bank digital currency: when price and bank stability collide. [2020-12-18]. https://www.nber.org/system/files/working_papers/w28237/w28237.pdf.
- [25] Fernandez-Villaverde J, Sanches DR, Schilling L, et al. Central bank digital currency: central banking for all?. [2020-10-18]. https://www.sas.upenn.edu/~jesusfv/Central_Banking_All.pdf.
- [26] Rochet JC, Tirole J. Platform competition in two-sided markets. *Journal of the European Economic Association*, 2003, 1: 990—1029.
- [27] Rochet JC, Tirole J. Two-sided markets: a progress report. *RAND Journal of Economics*, 2006, 37(3): 645—667.
- [28] Evans DS, Hagiu A, Schmalensee R. *Invisible engines: how software platforms drive innovation and transform industries*. Cambridge: MIT Press, 2008.

- [29] Evans DS. Platform economics: essays on multi-sided businesses. Social Science Electronic Publishing. (2011-12-17)/[2020-10-18]. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1974020.
- [30] Weyl EG. A price theory of multi-sided platforms. *The American Economic Review*, 2010, 100(4): 1642—1672.
- [31] Cabral L. Reputation on the Internet. *The Oxford Handbook of the Digital Economy*, 2012: 343—354.
- [32] Houser D, Wooders J. Reputation in auctions: Theory, and evidence from eBay. *Journal of Economics and Management Strategy*, 2006, 15(2): 353—369.
- [33] 周黎安, 张维迎, 顾全林, 等. 信誉的价值: 以网上拍卖交易为例. *经济研究*, 2006, 41(12): 81—91, 124.
- [34] Cabral L, Hortacsu A. The dynamics of seller reputation: theory and evidence from eBay. *Journal of Industrial Economics*, 2010, 58: 54—78.
- [35] Demange G, Gale D, Sotomayor M. Multi-item auctions. *Journal of Political Economy*, 1986, 94(4): 863—872.
- [36] Mishra D, Parkes DC. Multi-item Vickrey-Dutch auctions. *Games and Economic Behavior*, 2009, 66: 326—347.
- [37] Andersson T, Andersson C, Talman AJJ. Sets in excess demand in simple ascending auctions with unit-demand bidders. *Annals of Operations Research*, 2013, 211(1): 27—36.
- [38] Roth A. The economics of matching: stability and incentives. *Mathematics of Operations Research*, 1982, 7(4): 617—628.
- [39] Dubins LE, Freedman DA. Machiavelli and the Gale-shapley algorithm. *The American Mathematical Monthly*, 1981, 88(7): 485—494.
- [40] Chen Y, Kesten O. Chinese college admissions and school choice reforms: a theoretical analysis. *Journal of Political Economy*, 2017, 125(1): 99—139.
- [41] 聂海峰. 高考录取机制的博弈分析. *经济学(季刊)*, 2007, 6(3): 899—916.
- [42] 魏立佳. 中国高考录取与博士生录取的机制设计. *经济学(季刊)*, 2009, 8(4): 349—362.
- [43] Nalebuff BJ, Brandenburger A. *Co-opetition*. New York: Currency Doubleday, 1996.
- [44] Pathak SD, Wu Z, Johnston D. Toward a structural view of co-opetition in supply networks. *Journal of Operations Management*, 2014, 32(5): 254—267.
- [45] Peitz M, Waldfogel J. *The Oxford handbook of the digital economy*. New York: Oxford University Press, 2012.
- [46] Jullien B. Two-sided B to B platforms. *The Oxford handbook of the digital economy*. New York: Oxford University Press, 2012.
- [47] Armstrong M. Competition in two-sided markets. *RAND Journal of Economics*, 2006, 37(3): 668—691.
- [48] Cohen M, Zhang RP. Competition and co-opetition for two-sided platforms. *Social Science Electronic Publishing*, 2017.
- [49] Tirole J. *Economics for the common good*. Princeton: Princeton University Press, 2017.
- [50] Weyl EG, White A. Let the right ‘one’ win: policy lessons from the new economics of platforms. *Social Science Electronic Publishing*, 2014, 10(2): 29—51.
- [51] Baumol WJ, Bailey EE, Willig RD. Weak invisible hand theorems on the sustainability of multiproduct natural monopoly. *American Economic Review*, 1977, 67(3): 350—365.
- [52] Nash JF. The bargaining problem. *Econometrica*, 1950, 18(2): 155—162.
- [53] Rubinstein A. Perfect equilibrium in a bargaining model. *Econometrica*, 1982, 50(1): 97—109.
- [54] Brandenburger A, Stuart H. Biform games. *Management science*, 2007, 53(4): 537—549.
- [55] Kalai A, Kalai E. Cooperation in strategic games revisited. *Quarterly Journal of Economics*, 2013, 128(2): 917—966.
- [56] Aumann RJ, Myerson RB. Endogenous formation of links between players and of coalitions: an application of the shapley value. // Thomson W. *The shapley value: essays in honor of lloyd shapley*. Cambridge: Cambridge University Press, 1988: 175—192.
- [57] Bramoulle Y, Galeotti A, Rogers B. *The oxford handbook of the economics of networks*. New York: Oxford University Press, 2016.
- [58] Gagnon J, Goyal S. Networks, markets, and inequality. *American Economic Review*, 2017, 107(1): 1—30.
- [59] König MD, Testone CJ, Zenou Y. Nestedness in networks: a theoretical model and some applications. *Theoretical Economics*, 2014, 9(3): 695—752.
- [60] Goyal S. *Social networking on the web*. The Oxford Handbook of the Digital Economy. New York: Oxford University Press, 2012.
- [61] Goyal S. Networks and markets. *The Advances in Economics and Econometrics Eleventh World Congress*. Cambridge: Cambridge University Press, 2017.
- [62] Breza E, Chandrasekhar A, Golub B, et al. Networks in economic development. *Oxford Review of Economic Policy*, 2019, 35(4): 678—721.

- [63] Mobius M, Rosenblat T. Social learning in economics. *Journal of Economic Theory*, 2020, 188: 105033.
- [64] Walsh M. Games on multi-layer networks. Working paper, 2019.
- [65] Joshi S, Mahmud S, Sarangi S. Network formation with multigraphs and strategic complementarities and strategic complementarities. *Journal of Economic Theory*, 2020, 188: 105033.
- [66] Jackson M, Xing Y. The complementarity between community and government in enforcing norms and contracts, and their interaction with religion and corruption. Working paper, 2020.

Fundamental Scientific Problems of Game Theory for the Digital Economy

Li Sanxi¹ Cao Zhigang² Cui Zhiwei³ Gao Hongwei⁴ Qiao Xue¹
 Weng Xi⁵ Yu Ning⁶ Zhang Boyu⁷ Yang Xiaoguang^{8*}

1. School of Economics, Renmin University of China, Beijing 100872
2. School of Economics and Management, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044
3. School of Economics and Management, Beihang University, Beijing 100191
4. School of Mathematics and Statistics, Qingdao University, Qingdao 266000
5. Guanghua Management School, Peking University, Beijing 100871
6. Institute for Social and Economic Research, Nanjing Audit University, Nanjing 211815
7. School of Mathematical Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875
8. Academy of Mathematics and Systems Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190

Abstract The economic changes in China and the world since Coronavirus (COVID-19) pandemic have shown that the digital economy has “unlimit” prospects. The Chinese government has elevated the development of digital economy to a national strategy, and the digital economy is becoming the fastest growth sector in China’s economy and a leader internationally. Game theory plays a central role in the digital economy, and quite a number of technological developments, business models, and governance systems are based on game theory. Starting from the core needs of the basic infrastructure, market-building and market transaction in the digital economy, this article condenses the fundamental scientific problems of game theory in the digital economy into seven categories: “data market design”, “game problems in the blockchain technology and central bank’s digital currency”, “platform design and regulation”, “market design theory in the digital economy”, “competition and cooperation in the digital economy”, “network game problems in the digital economy”, “time consistency problems in the digital economy”. The research and solution of these problems are expected to contribute to the healthy development of the digital economy in China, enhance China’s international competitiveness, and promote the China’s game theory discipline to be among the international academic frontier.

Keywords digital economy; game theory; fundamental scientific problem

(责任编辑 刘敏)

* Corresponding Author, Email: xgyang@iss.ac.cn