

群智协同计算

特邀编辑: 胡 斌¹ 顾 宁² 孙海龙³

¹ 兰州大学

² 复旦大学

³ 北京航空航天大学

关键词: 群智协同计算 群体智能 CSCW 众包

互联网应用及其支撑技术的快速发展推动着计算模式的持续发展和不断演进。中国计算机学会 (CCF) 协同计算专委在《2016—2017 中国计算机科学技术发展报告》上发表了《群智协同计算: 研究进展与发展趋势》一文, 将大量互联网用户、软件系统与其他各类设备等的交互与协同所催生的新型互联网计算模式概括为“群智协同计算”(crowd cooperative computing)。该计算模式旨在通过大规模群智资源的高效协同来汇聚实现群体智能, 从而为问题求解提供有效支持, 是对群体智能、协同计算和社会计算等的融合与发展。进一步地, CCF 协同计算专委于 2018 年 9 月 15~16 日组织并承办了第 94 期 CCF 学科前沿讲习班 (ADL), 主题为“群智协同计算”, 特别从面向新一代人工智能的群体智能、群智系统中的质量保障、多智能体与社会网络群智行为、用户群体协同和推荐系统等方面, 对群智协同计算的相关理论、技术与应用进行介绍, 并探讨未来发展趋势。在以上工作的基础上, 我们组织了本期专题, 特别邀请相关领域的知名学者撰写文章, 结合新一代人工智能、大数据、社会计算和物联网等热点研究, 从群智协同机理、群智质量保障、群智协作模型、影响群智的心理生理因素和群智融合应用等角度, 深入阐释了群智协同计算的相关理论模型、关键技术和典型应用。

群智协同行为分析是揭示群智协同机理和设计高效群智协同机制的重要途径。复旦大学教授顾宁等撰写的《在线开放协作项目中用户群智协同行为的分析与理解》, 从 CSCW¹ 角度讨论了在线开放协作项目中群智协同行为分析的主要研究问题和方法, 以 Stack Overflow 和 GitHub 为例对群智协同行为的影响因素和机理进行了分析, 并给出了在线开放协作项目中群智协同行为研究的发展趋势。

由于群智资源的自主、难控、不确定性以及计算环境的动态和开放, 质量保障成为群智协同计算面临的重要挑战。北京航空航天大学长聘副教授孙海龙撰写的《群智系统的质量保障方法》, 从系统的角度分析了群智协同计算应用中面临的质量问题, 对国内外研究现状进行了综述, 特别介绍了在众包系统的质量保障方面所做的理论和方法研究, 并对未来研究进行了展望。

人与人之间的高效协作对复杂群智任务的处理尤为重要。东南大学教授蒋巍川等撰写的《社会网络中复杂任务的群智协同众包》提出了社会网络中面向复杂任务的群智众包模型, 通过有效利用社会网络中工人之间的协作和群智更好地完成复杂任务, 并进一步探讨了基于 Agent 方法研究复杂任务群智众包的研究方向和关键问题。

作为群智协同计算中的重要参与者, 人们的生

¹ CSCW: Computer Supported Cooperative Work, 计算机支持的协同工作。

理和心理对于任务处理的过程和结果具有重要的影响。心理生理计算是由心理生理学发展而来的一个多学科交叉的全新研究方向。兰州大学教授胡斌等撰写的《心理生理计算的研究进展及趋势》阐述了心理生理计算的内涵、理论体系和应用模式，并总结了未来发展中可能面临的挑战。

北京工业大学陈建辉博士等撰写的《面向群智互助的新型混合智能框架》，提出了一种新型的混合智能框架，通过生理-心理-行为多维采样、面向群智互助的数据脑和基于 WaaS(Wisdom as a Service)的群智互助服务，对情绪、疲劳、注意力和决策等群体互助的基本因素进行测量，并形成不同层次的原子范式表征，应用于群智互助模式的设计、应用与重构，以支持群体互助过程中群体智慧的实现。

群智感知是群智协同计算的一类重要应用。西北工业大学教授郭斌等撰写的《群智融合计算》，介绍了群智感知计算领域一个新的研究方向——群智融合计算，通过挖掘和利用显式/隐式群体智能以实现对低质冗余、内容丰富、多维互补群体贡献数据的高效处理和语义理解。文章结合研究实例阐述了群智融合计算的内涵、挑战，并探索了不同的应用模式。

在人机物融合发展的信息技术领域，如何提高群智协同的效果，更好地汇聚群体智能已成为学术界和工业界关注的重要问题，而群智协同计算正是在此背景下发展出来的新方向。应用与技术在不断地发展和演化，对群智协同计算的内涵与外延还需进行持续的探索和研究。 ■



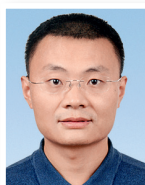
胡 斌

CCF 杰出会员、理事。国家“千人计划”入选者，国家特聘专家，国务院特殊津贴专家。兰州大学信息科学与工程学院院长，瑞士苏黎世联邦理工学院客座教授。主要研究方向为协同计算和情感计算。
bh@lzu.edu.cn



顾 宁

CCF 杰出会员，CCF 协同计算专业委员会主任。复旦大学计算机科学技术学院教授。主要研究方向为协同计算、计算机支持的协同工作与社会计算、人机交互。
ninggu@fudan.edu.cn



孙海龙

CCF 高级会员、协同计算专委会常务委员。北京航空航天大学长聘副教授。主要研究方向为群体智能、智能化软件方法和分布式系统等。zsunhl@buaa.edu.cn

张修先生去世

曾获 CCF 中国计算机事业 60 周年杰出贡献特别奖

CCF 中国计算机事业 60 周年杰出贡献特别奖获得者、原 CCF 常务理事、中国科学院计算技术研究所研究员张修先生于 2018 年 11 月 3 日因病在北京去世，享年 81 岁。

1956 年 10 月，张修由国家公派到苏联列宁格勒工学院自动化与计算技术专业学习，是中国计算机事业初创时期较早参与计算技术工作的科学家。回国后，张修一直在中国科学院计算技术研究所从事计算机体系结构的设计和其他技术工作，曾领导大型计算机系统的研制。他是计算机体系结构专家，在计算机辅助设计方面有突出贡献。

他曾任中国计算机学会 (CCF) 第六届理事会常务理事、体系结构专业委员会主任，他是第一个在专业委员会倡导通过单位竞争产生专委会主任和挂靠单位的人。他担任 CCF 计算机名词审定工作委员会主任多年，在计算机术语标准化方面做了许多卓有成效的工作，在任期间，他主编了《英汉计算机辞典》。他还是我国最早的计算机刊物《计算机研究与发展》(CCF 会刊，更名前为《电子计算机动态》) 第二届编委会主任。他为 CCF 的发展作出了重要贡献。

由于他在计算技术方面的造诣和谦和的品格，他在计算机学术界享有崇高威望。

在线开放协作项目中 用户群智协同行为的分析与理解

顾 宁 卢 瞰
复旦大学

关键词：在线开放协作 群智协同行为 GitHub Stack Overflow

互联网用户遵循一定的群体结构和运行机制，自愿贡献体现个体智能的可衡量产出物，并通过群智协同汇聚融合成群体智慧涌现的高质量知识成果或产品^[1]，形成了一大批以开源软件社区、大众生产、问答网站、众包等为代表的在线开放协作项目。这些项目及其展现的群智协同模式，正以前所未有的深度和广度改变着人们获取知识、协作生产、解决难题、共享产出等的过程和方式^[2]。

在线开放协作项目的出现源于个体智能的群体协调与协作、有序汇聚与融合所形成的群智涌现。如何深入分析、理解和洞察群智协同行为，构建有效的群智协同组织方式，确保高质量的群智协同产出，并设计有效的群智协同激励机制，是群智协同计算^[3]的基础问题，也是计算机支持的协同工作(CSCW)、社会计算和人机交互领域研究的重点和热点。

研究问题与研究方法

作为一种典型的社会-技术系统(socio-technical systems)，在线开放协作项目中群智行为的研究需要从计算科学与社会科学互动融合的视角，采用定性与定量相结合的研究方法，全面考虑社会与技术因素，关注个体认知和群体协同交互的动因、机制和过程。

在线开放协作中，群智协同行为因多种技术与

社会因素互动融合而呈现出复杂、多样、变化和交织的在线协同交互特征^[4]。如何激励群智贡献、增强群体承诺、规范群智行为、处置新用户和开启新群智项目等是在线开放协作项目中群智协同行为分析与理解关注的基本问题^[5]。一方面，在线开放协作项目通过各种群智协同行为约束的功能、机制和规则来规范群智协同行为，以确保产生高质量的开放协作项目（更多的约束）；另一方面，通过设计和开发各种降低贡献门槛、易于协作延展的激励和协调工具来帮助用户以较低的代价融入群智协同，刺激更多用户持续稳定地贡献输出（更多的自由）。

如何权衡群智贡献质量和群智用户的融入与留存之间的相互影响，一直是在线开放协作项目中群智协同行为分析与理解的核心问题^[6,7]，其研究涉及群智协同产出内容质量的分析与评估，保证群智产出质量的沟通机制与流程，影响新成员持续贡献的因素分析，维持老用户持续贡献动机的方法等。

在线开放协作项目中，群智协同行为的研究是一个典型的跨学科研究方向，涉及社会学、组织行为学、心理学等学科，以及大数据分析、统计与机器学习等方法。想要全面深入理解和解释群智协同行为产生的动因和机制，还需要采用综合考虑社会与技术因素、融合定性与定量方法的混合研究方法(Mixed methods)，具体包括聚合式并行设计、解释性顺序设计、探索性顺序设计、多阶段评估设计等

典型研究方法设计^[8]。

结合在线开放协作项目的独特场景，我们归纳总结了基本的研究设计流程：基于组织行为学、心理学等社会科学理论定位研究问题并提出研究假设，针对研究问题涉及的研究变量和测量方法，收集海量丰富的在线用户交互与协同数据；采用统计与机器学习、自然语言处理等方法进行分析处理；选择合适的计算方法构建预测模型来验证假设；然后结合参与式观察、访谈、田野调查等定性方法进行印证分析，并通过社会科学理论进行解释与理解，给出具有深入洞察的设计与创新启示。

下面通过两个具体研究实例，展示我们近期在在线开放协作项目中用户群智协同行为的分析与理解的研究成果。

Stack Overflow：群智协同编辑行为的权衡分析与理解^[9]

研究背景、研究问题与研究假设

在线开放协作项目中群智用户的专业技能、时间精力投入及个人经验千差万别，这导致群智贡献的内容在质量上参差不齐。对在线问答类开放协作项目来说，一个重要的目标就是如何保证群智协作产出项目内容的质量^[10]。比如 Stack Overflow¹，引入了维基百科中所采用的协同编辑 (collaborative editing) 功能，即支持用户异步对问答社区中的问题和答案进行编辑。Stack Overflow 中明确指出“协同编辑对于保持问题和答案的清晰性、相关性和实效性是非常重要的”^[11]。林纳斯定律 (Linus' Law) 也指出“拥有足够多的眼睛，就可让所有的问题浮现”^[12]。据此，我们提出第一个研究假设：用户群智协同编辑行为可以提高在线问答社区中问题的质量 (H1-a) 和答案的质量 (H1-b)。

尽管用户的协同编辑行为对内容的质量可能是有

益的，但是也可能会导致对问题或答案进行不恰当的修改，或者用户感觉到某些修改挑战了其专业标识和地位，从而导致用户参与在线问答社区的收益降低，甚至损害问题及答案发布者的群智贡献积极性。比如在 Wikipedia 中，有证据显示回退编辑操作会严重影响接收者在接下来的贡献数量^[13]。相比而言，大家普遍认为 Wikipedia 的内容是属于公众的而非私人的群智财产，而在线问答社区中用户参与问答的主要动机是个人拥有权，以及被尊重、被感激的感受^[14, 15]，他人的修改很可能会激怒问题和答案的发布者，从而影响整个群智协同项目的贡献活跃度。据此，我们提出第二个研究假设：用户群智协同编辑行为将会降低在线问答社区中用户参与贡献的积极性 (H2)。

如何有机融合定量与定性分析方法，全面分析协同编辑行为给群智协同产出项目带来的正面和负面影响，从微观和宏观两个角度深刻理解和解释用户的群智协同编辑行为，为 Stack Overflow 社区管理者和系统设计者提供合理的权衡决策，是该研究案例的研究问题。

研究数据的收集

我们收集了 Stack Overflow 自 2008 年 8 月 1 日到 2013 年 9 月 6 日的历史数据作为研究的定量数据集。该数据集包含 230 多万注册用户、560 多万个问题、1000 多万个答案、3600 多万次投票、900 多万次编辑和 2200 多万条评论等活动日志。此外，我们还以参与观察的方式参与到 Stack Overflow 中，观察协同编辑运行的机制和用户进行协同编辑的行为模式，收集了 Meta Stack Exchange（供 Stack Overflow 以及相关网站对社区的功能进行讨论，并可以对社区建设提出建议）上关于协同编辑功能讨论的大量文本数据。

研究变量的选择

我们采用定性的参与观察和用户访谈等方法，

¹ 一个与程序相关的 IT 技术问答网站。用户可以在网站免费提交问题，浏览问题，索引相关内容，在创建主页的时候使用简单的 HTML。

分析了 Stack Overflow 中协同编辑内容以及用户贡献相关的问题,得到了用以表征和度量问题/答案质量和贡献度的指标(变量)。同时,我们通过设置观测前期、观测期和观测后期三个阶段,基于重复观测的方法,最终获得 533.5 万个问题、986.5 万个答案和 87.4 万个满足观察期要求的有效贡献样本。

结合上述定性的在线观察、用户访谈的结果,以及多次定量数据分析后,我们选择了如下变量:

1. 因变量 质量相关:收到的投票数,收到的答案数,是否收到最佳答案,答案是否被接受;贡献相关:发布的问题数,发布的答案数。

2. 自变量 质量相关:标题编辑数,主体编辑数,标签编辑数;贡献相关:标题编辑数,主体编辑数,标签编辑数。

3. 控制变量 质量相关:发布者的相关属性(如已发表的问题/答案数、平均得票数等),问题/答案自身的相关属性(浏览量、文本长度、是否包含代码等),前一观测期内因变量的相关属性(前期投票/答案数、是否有最佳答案等);贡献相关:

历史贡献,观测期贡献,用户地位等。

预测模型的选择与构建

我们采用重复观察和增加控制变量的方法来尽量排除所有干扰因素带来的偏差,确保拟合效果。根据上述选择的变量及其定量特征、整体数据集样本的分布特点,选取了适用于稀疏数据分析的负二项回归建立统计预测模型,分析评估协同编辑行为对问题和答案质量的影响,以及对用户贡献的影响。

1. 问题质量模型(H1-a)。模型 1.1:协同编辑行为对问题收到的投票数量的影响;模型 1.2:对问题收到的答案数量的影响,模型 1.3:对问题是否收到最佳答案的影响。

2. 答案质量模型(H1-b)。模型 2.1:协同编辑行为对答案收到的投票数量的影响;模型 2.2:对答案是否被选为最佳答案的影响。

3. 用户贡献模型(H2)。模型 3.1:协同编辑对用户的问题上贡献的影响;模型 3.2:协同编辑对用户的答案上贡献的影响。

表1 协同编辑行为对问题质量的影响 (***: $p < 0.001$, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$)

	模型 1.1: 问题的投票数量		模型 1.2: 问题的答案数量		模型 1.3: 问题是否有最佳答案	
	IRR	Std. Err.	IRR	Std. Err.	IRR	Std. Err.
<i>TitleEdits</i>	1.39 ***	.068	1.21 ***	.058	1.12 **	.043
<i>BodyEdits</i>	2.81 ***	.058	2.43 ***	.048	1.41 ***	.012
<i>TagsEdits</i>	1.98 ***	.067	1.81 ***	.059	1.43 ***	.035
<i>PostCount</i>	1.00 ***	4.88e-05	1.00 ***	6.00e-05	1.00 ***	3.71e-05
<i>PostAvgScore</i>	1.06 ***	9.49e-04	1.03 ***	5.99e-04	1.00	4.06e-04
<i>PosterReputation</i>	1.00 ***	3.21e-07	1.00 ***	3.26e-07	1.00 ***	2.29e-07
<i>PosterRegDate</i>	1.00 ***	1.16e-10	1.00 ***	1.23e-10	1.00 ***	9.96e-11
<i>PageView</i>	1.00 ***	7.53e-07	1.00 ***	6.70e-07	1.00	5.13e-07
<i>TextLength</i>	1.00 ***	1.94e-06	1.00 ***	1.82e-06	1.00 ***	1.64e-06
<i>HasCode</i>	.80 ***	.006	.72 ***	.005	.850 ***	.005
<i>HasLink</i>	1.41 ***	.011	1.35 ***	.011	1.09 ***	.008
<i>PostDate</i>	1.00 ***	1.26e-10	1.00 ***	1.30e-10	1.00 ***	1.06e-10
<i>PriorVotes</i>	1.45 ***	.006	NA	NA	NA	NA
<i>PriorAnswers</i>	NA	NA	.76 ***	.002	NA	NA
<i>PriorHasAcceptedAnswer</i>	NA	NA	NA	NA	6.04e-10	3.39e-07
Number of Observations	5335456					

预测结果分析及解释

数据分析结果表明：(1) 协同编辑行为可以显

表2 协同编辑行为对答案质量的影响 (***: $p < 0.001$, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$)

	模型 2.1: 答案的投票数量		模型 2.2: 答案是否选为最佳答案	
	IRR	Std. Err.	IRR	Std. Err.
<i>BodyEdits</i>	2.19 ***	.049	1.30 ***	.020
<i>PostCount</i>	1.00 ***	3.24e-06	1.00 ***	4.51e-06
<i>PostAvgScore</i>	1.07 ***	6.73e-04	1.01 ***	2.99e-04
<i>PosterReputation</i>	1.00 ***	5.90e-08	1.00 ***	8.85e-08
<i>PosterRegDate</i>	1.00	7.30e-11	1.00 ***	9.89e-11
<i>PageView</i>	1.00 ***	1.55e-07	1.00 ***	9.80e-07
<i>TextLength</i>	1.00 ***	2.29e-06	1.00 ***	1.68e-06
<i>HasCode</i>	.89 ***	.004	.91 ***	.006
<i>HasLink</i>	1.23 ***	.006	1.16 ***	.007
<i>PostDate</i>	1.00	7.58e-11	1.00 ***	1.09e-10
<i>ArrivalOrder</i>	1.00	3.91e-04	.630 ***	.002
<i>ParentQuestionVotes</i>	1.01 ***	9.96e-05	.994 ***	6.46e-04
<i>PriorVotes</i>	1.34 ***	.003	NA	NA
<i>PriorAnswerAccepted</i>	NA	NA	3.08e-10	1.40e-07
Number of Observations	9865021			

表3 协同编辑行为对用户贡献的影响 (***: $p < 0.001$, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$)

	模型 3.1: 用户后续在问题上的贡献		模型 3.2: 用户后续在答案上的贡献	
	IRR	Std. Err.	IRR	Std. Err.
<i>TitleEdits</i>	.98 *	.008	NA	NA
<i>BodyEdits</i>	1.00	.005	.95 ***	.007
<i>TagsEdits</i>	1.01	.006	NA	NA
<i>NewComer</i>	1.02 ***	.005	.60 ***	.003
<i>TitleEdits: NewComer</i>	1.05 ***	.012	NA	NA
<i>BodyEdits: NewComer</i>	.99	.006	1.18 ***	.016
<i>TagsEdits: NewComer</i>	1.06 ***	.009	NA	NA
<i>PriorQuestions</i>	1.02 ***	9.59e-05	1.00	8.32e-05
<i>PriorAnswers</i>	1.00 ***	2.12e-05	1.00 ***	3.39e-05
<i>FocalQuestions</i>	1.54 ***	.003	1.00 *	.001
<i>FocalAnswers</i>	1.01 ***	3.70e-04	1.19 ***	.001
<i>Reputation</i>	1.00 ***	3.80e-07	1.00 ***	7.37e-07
Number of Observations	874369			

著提高问题的质量（见表1）。在观测期内收到一个来自他人的主体编辑，对问题而言，会使得问题在接下来两周内增加 181% 的投票数、143% 的答案数量，问题收到最佳答案的可能性增加 41%；而对标题编辑和标签编辑而言，则会分别增加 39% 和 98% 的投票数、21% 和 81% 的答案数，收到最佳答案的可能性会分别增加 12% 和 43%。因此，研究假设 H1-a 得到支持。(2) 协同编辑行为可以显著提高答案的质量（见表2）。对答案而言，在观测期内增加一个来自他人的主体编辑，会使得答案在接下来两周内增加 119% 的投票；被选为最佳答案的概率会增加 30%。因此，研究假设 H1-b 得到支持。(3) 协同编辑行为会对用户在问题和答案上贡献的积极性产生较小的负面影响（见表3）。收到来自他人的标题编辑，会使用户在问题上减少 2% 的贡献；收到来自他人的主体编辑会使得用户在答案上减少 5% 的贡献。研究假设 H2 得到支持。

群智协同行为的理解和解释

利用在线参与观察 Meta Stack Exchange 所发现的现象和收集到的数据，结合基于扎根理论的定性分析方法，我们对协同编辑在问答社区中的运行机制等进行了定性分析。在线观察发现，协同编辑功能很有可能会影响群智贡献的积极性，甚至使他们离开社区；定量分析则指出协同编辑功能带来的负面效应是可以容忍的。因此，经过进一步探索和研究发现，Stack Overflow 采用有经验的用户对协同编辑行为进行审核，对协同编辑功能广泛宣传，以及提供沟通与交流的平台（符合心理学中的公平过程效应过程）等策略来使协同编辑可能带来的负面影响最小化。

在线开发群智协同系统的设计启示

定量分析的结果暗示着，在线问答社区等群智协同社区引入协同编辑功能是一个利大于

弊的合理选择；而定性分析的结果则指出，合理的设计策略是引导群智协同成员接受协同编辑功能并控制其带来的负面影响的关键。因此，我们对问答在线协作项目的设计时得到一些启示：明确用户协同编辑行为的目标，避免随意的群智协同编辑行为；通过合理的引导和详尽的解释等方式，使群智协同用户在观念和意识等多方面上接受协同编辑行为；提供合理的平台、方法和服务，供用户对群智协同编辑功能的效果和影响进行反馈和讨论。

GitHub：冲突行为对群智协同开发行为的影响^[16]

研究背景、研究问题与研究假设

开放式协作项目中的同行评审机制是保证高质量群智项目产出的必要手段。在 GitHub² 中，开发者通过 Pull Request(PR) 发起项目贡献的提交，所有贡献代码都必须经过项目其他成员的审核、讨论，只有审核通过的代码才能最终被项目管理员合并到项目的源代码库中。由于背景、专业程度、兴趣、对项目的熟悉程度各不相同，项目成员对贡献的代码或内容很可能发生分歧，甚至引发争论。成员就其贡献的代码或知识进行争吵的现象称为冲突。

已有研究发现，团队冲突会对团队成员的忠诚度、团队的生产效率和工作满意度产生消极影响^[17-19]。在线上开放式协作的场景下，冲突可能会让项目贡献者认为其个人目标或价值观与项目整体的群智协同目标不再一致，甚至有些冲突可能会进一步影响项目成员个人人际关系或感情^[20, 21]，导致贡献者选择离开。不同于传统的线下组织，在线开放协作项目中往往没有任何正式的雇佣合同或成员关系，所以成员几乎不用付出代价就能轻易地离开项目。据此，我们提出第一个研究假设：**同行评审过程中，与评审人发生冲突的贡献者比没有发生冲突的贡献者更可能离开项目 (H1)。**

鉴于冲突往往会对开放式协作项目的长期持续发展产生负面影响，有效地管理好冲突尤为重要。

组织行为学根据冲突管理者从自己角度和从他人角度的两个维度，将冲突管理方式划分为整合 (Integrating)、礼貌 (Obliging)、强制 (Dominating)、避免 (Avoiding) 和妥协 (Compromising) 等五类^[22]。结合在线开放式协作场景，通过对 GitHub 中发生冲突后评审人的评论进行分析和归类，我们总结了三类冲突管理策略：**(1) 理性的解释；(2) 建设性的建议；(3) 社交性的鼓励。**进而，我们提出第二个研究假设：**给发生冲突的贡献者提供理性解释 (H2-a)/ 建设性建议 (H2-b)/ 社交性鼓励 (H2-c)，降低其放弃向项目继续贡献的概率。**

项目管理员是指项目中拥有官方管理权限的人（如开源软件项目的创建者、Q&A 社区中的版主等），他们通常要负责项目未来工作方向，以及规范项目成员的行为或保障项目产出的质量。相对于普通的项目成员，管理员对项目更加熟悉，通常在项目社区中也具有更高的权威和专业度^[23]。以往研究表明，开发式协作社区中管理员一般会在影响和调动他人活动的积极性方面更有影响力^[24]。据此，我们提出第三个研究假设：**如果冲突管理是由项目管理员来执行的，则它对降低贡献者放弃向项目继续贡献的概率的效果会更好 (H3)。**

研究数据的收集与预处理

采用参与式观察的定性研究方法，我们全程跟踪和记录了多个 GitHub 代码评审中冲突发生的过程，深入了解了冲突产生的上下文、评审人与贡献者之间的交互模式，以及冲突解决所采用的策略。我们将 PR 贡献者反驳评审人的第一条评论作为冲突发生的标志，后续评审人回复的评论将作为判断评审人所采取的冲突管理策略的依据。基于上述对冲突过程的理解，我们筛选出被标星数目大于 1000 且被 Fork 数目大于 1000 的项目 891 个；从中随机选择了 200 个代码库，手工排除了少于 100 的 PR 数目，或贡献者数量少于 50 的代码库后，共获得 170 个代码库。然后对 PR 的评论文本进行产生冲突与否和冲突解决策略的标注，即先人工标注部分文本数据，再抽取含有争论的关键词特征、LIWC³ 文

本特征, 以及开源项目所含代码片段数量、回复其他评论人与否、发表表情符号数量等特殊文本特征, 采用 SVM⁴ 分类器对全部数据集进行标注。同时, 为了消除由于用户活跃度对预测模型带来的误差, 我们采用倾向性评分匹配 (propensity score matching) 方法为每一条发生冲突的记录 (实验组) 匹配一条

相应的最相似的但未发生冲突的记录 (对照组); 最终形成了实验组 (N=6866) 和对照组 (N=6866), 共计 13732 个样本。

研究变量的选择

结合上述定性的在线观察、用户访谈的结果,

表4 预测贡献者是否会离开项目的Cox回归模型 (***: $p < 0.001$, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$)

	描述性统计信息		模型1		模型2		模型3	
	平均值	中位值	风险系数	标准差	风险系数	标准差	风险系数	标准差
控制变量								
PR_Count_{-t}	7.79	3	0.304***	.062	0.302***	.062	0.302***	.062
PR_Count_{-t}	2.49	1	0.646***	.033	0.651***	.033	0.650***	.033
$RevCommentsAvg_{-t}$	2.68	1.67	0.944	.056	0.946	.056	0.946	.056
$RevCommentsAvg_{-t}$	7.79	5	1.096**	.024	1.115**	.026	1.114**	.026
$PostCommentsAvg_{-t}$	1.57	0.91	0.989	.049	0.987	.049	0.986	.049
$PostCommentsAvg_{-t}$	4.65	3	0.736***	.026	0.745***	.026	0.746***	.026
$RejectedPRPercent_{-t}$	0.24	0.11	1.067**	.025	1.069**	.025	1.069**	.025
$RejectedPRPercent_{-t}$	0.50	0.50	1.129***	.017	1.103***	.021	1.103***	.021
$ArguedPR_Rejected$	0.24	0	/	/	1.149**	.056	1.147**	.056
$Project_Watchers$	6318	5399	1.085***	.017	1.088***	.017	1.088***	.017
$Project_Forks$	2195	1855	0.961**	.018	0.962**	.018	0.962**	.018
$Project_OpenIssues$	526	260	0.884***	.017	0.884***	.017	0.884***	.017
解释变量								
$Argued$	0.50	1	1.168***	.033	1.112*	.076	1.112*	.076
$Argued \times Response$	0.44	0			1.033	.074	1.031	.102
$Argued \times ReByExplain$	0.26	0			1.006	.053	0.980	.084
$Argued \times ReBySuggest$	0.15	0			0.783**	.057	0.829**	.091
$Argued \times ReBySocial$	0.19	0			1.011	.050	0.962	.095
$Argued \times Admin$	0.31	0					1.001	.086
$Argued \times ReByExplain \times Admin$	0.18	0					1.037	.087
$Argued \times ReBySuggest \times Admin$	0.10	0					0.890	.103
$Argued \times ReBySocial \times Admin$	0.14	0					1.063	.101
Log-likelihood			-25957.3		-25942.2		-25941.4	
AIC			1336.8		1357.1		1350.6	
Chisq			1362		1393		1394	
Number of records			13732		13732		13732	

² 通过 Git 进行版本控制的软件源代码托管服务平台。

³ Linguistic Inquiry and Word Count, 一种基于语词计量的文本分析工具。

⁴ Support Vector Machine (支持向量机), 在机器学习领域中是一种有监督的学习模型。

以及多次定量数据分析后,我们选择了如下变量:

1. **因变量**:记录中的贡献者在当周过后是否离开了项目(二值变量)。

2. **自变量**:记录中的贡献者在当周内是否与评审人发生过冲突。如果记录中发生冲突:评审人是否采取了解释型/建议型/社交鼓励型冲突解决策略;项目管理员是否回复了冲突的评论;项目管理员是否采用了解释型/建议型/社交鼓励型冲突解决策略。

3. **控制变量**:贡献者活动相关属性(贡献者在当周和当周之前的PR数量、发表评论数量、接收评论数量等),贡献内容的质量(贡献者在当周和当周之前被拒绝的比例和发生冲突时PR是否被拒绝等),以及项目自身相关属性(项目的Watcher数目、项目Fork数目,以及项目被报告Issue数目等)。

预测模型的选择与构建

我们研究的问题关注的是在冲突发生之后并采取某(几)种冲突解决策略对用户后续贡献的影响,但事实上在抓取数据集的时间点之后发生的事我们无从知晓的。某个贡献者在数据集的观察期中可能一直保持了持续贡献,但是可能在观察期后的某个时间点不再向项目贡献了,而这个时间点从我们的数据集中无法完全获得,这是典型的观察数据右截尾现象(right censoring)。因此,我们采用了生存分析(survival analysis)统计分析方法来构建预测模型(具体为混合效应Cox回归模型),它能在结果变量是某个事件发生时间的情形下,验证众多协变量对该结果变量的影响。

模型1:发生冲突对贡献者离开项目概率的影响(H1)。

模型2:评审人的解释型(H2-a)/建议型(H2-b)/社交鼓励型(H2-c)冲突管理策略对贡献者离开项目概率的影响。

模型3:回复冲突的评审人是否是项目管理员,对各类冲突管理策略有效性的影响(H3)。

预测结果的分析与解释

数据分析结果如表4所示。模型1中发生冲突与否的变量(*Argued*)的风险系数为1.168***,意味着如果贡献者与评审人发生冲突,那么该贡献者离开项目的概率将增加16.8%,因此研究假设H1得到支持。模型2中发生冲突且采用建议型冲突解决策略的变量(*Argued* × *ReBySuggest*)的风险系数为0.783**,意味着如果评审人提供了建设性建议,该贡献者离开项目的概率将降低21.7%;而提供理性解释和社交鼓励这两种策略对贡献者离开项目的概率都没有显著影响;因此研究假设H2-b得到支持,研究假设H2-a和H2-c不成立。模型3的结果表明,回复冲突的评审人是否是项目管理员对三类冲突管理策略的有效性没有显著影响,因此研究假设H3不成立。

群智协同行为的理解和解释

虽然通过以上的生存分析定量模型对假设进行了验证,并得出了相应的结论,但我们对其背后的成因及贡献者对不同冲突处理策略的主观感受仍然缺乏清晰的了解。因此,我们采用开放式问卷的定性研究方法,试图理解并解释以上定量分析结论的背后成因。我们从数据集中筛选出300余名就自己的PR与评审人争论过的贡献者,通过邮件将问卷发给他们。对于用户反馈的内容,我们采用扎根理论,在不预设任何理论假设的前提下,对其进行编码、分类,从中抽取出能够解释定量分析结论的信息并加以归纳。

对于与评审人发生冲突是否会导致他们未来不愿意继续向项目提交PR的问题,81.3%的用户给出了肯定的答复,这与定量分析结果支持假设H1相吻合。评审人粗鲁的语气、不公平的指责以及对琐碎问题的批评,是用户主要提到的会导致他们贡献积极性降低的原因。对于解释型冲突解决策略很多时候不起作用的原因,很大程度上源于贡献者认为评审人的解释往往可能流于表面。由于专业程度不同,评审人对PR的理解可能不够准确,这时的解释可能不仅不能澄清原先的误解,反而可能暴露他们对PR中代码的错误理解,惹恼贡献者。而对

比来说,能够给出具体的建议(采用建议型策略),一方面要求评审人对该PR有较准确的理解,另一方面会给贡献者一种信号证明他/她的原创工作或想法是有价值的,被人欣赏的。采用解释的方式还是采用给出建议的方式,两者的核心区别在于是否能够体现评审人在理解PR上付出了足够的努力,而这可能恰恰是影响贡献者是否会继续贡献的关键。对于社交鼓励型策略,很多贡献者可能将其理解为评判贡献者工作不够好的一种委婉的表达方法,感觉自己的贡献没有受到足够的重视。

在线开放群智协同系统的设计启示

定性定量分析的结果揭示了PR过程中的冲突确实会影响GitHub贡献者的留存,而不同的冲突解决策略则展现出对用户贡献行为的不同影响。从在线开放协作项目系统的设计角度来看,应该通过设计或技术手段提高冲突管理的有效性,维持用户的高质量持续贡献。例如,针对由于评论数目迅速增长而导致发生争论的评论和焦点可能被淹没的问题,通过UI设计增强冲突的可感知性,尽早发现和解决冲突。针对现有项目同行评审系统中缺乏对合适的冲突管理策略的指引问题,可以通过冲突自动检测、冲突情境重现等技术,自动提示评审人注意对冲突的处理策略,结合冲突产生的上下文鼓励使用建议型策略等方式。对于可能出现的激烈冲突,可以基于冲突双方的历史交互关系,设计项目评审人推荐算法,兼顾平滑的冲突解决和高质量的项目评审^[25]。

在线开放协作项目中群智协同行为研究的发展趋势

上述两个典型研究案例展示了开放协作项目中群智协同行为研究中的核心问题、混合方法和基本过程。通过对近两年CSCW、社会计算和人机交互顶级学术会议ACM CSCW和CHI的征文通知和发表论文的主题进行统计和分析,我们发现在线开放协作项目中群智协同的研究呈现如下趋势:(1)从研

究方法看,鼓励并涌现了更多样和更融合的创新研究方法。以CSCW'17最佳论文为例,斯坦福大学的研究人员采用实验方法与定量方法相结合的方式,全方位深入研究了网络“喷子”(Troll)产生的原因^[26],引起了世界范围的广泛关注。(2)从研究侧重看,在线开放协作项目中群智协同的动机、质量、机制等经典问题仍是热点。(3)从群智协同规范来看,越来越多的研究者开始关注群智交互中的反社会、骚扰、暴力等异常行为,探索监管、规范群智协同产出内容的方法,预防网络犯罪和暴力的发生。(4)从群智协同资源来看,在线开放协作项目中群智协同资源越来越多样化,很多研究开始关注群智中的智能体(agent)、机器人、自动程序等。



顾宁

CCF杰出会员,CCF协同计算专业委员会主任。复旦大学计算机科学技术学院教授。主要研究方向为协同计算、计算机支持的协同工作与社会计算、人机交互。
ninggu@fudan.edu.cn



卢瞰

CCF高级会员,CCF协同计算专业委员会常委,CCCF特邀译者。复旦大学计算机科学技术学院副教授。主要研究方向为计算机支持的协同工作、社会计算与人机交互。
lutun@fudan.edu.cn

参考文献

- [1] Malone T W, Bernstein M S. *Handbook of Collective Intelligence*[M]. The MIT Press, 2015.
- [2] Wen-jun, Huai-min, WANG, et al. Crowd intelligence in AI 2.0 era[J]. *Front. Inform. Technol. Electron. Eng.*, 2017(1):15-43.
- [3] 孙海龙, 卢瞰, 李建国, 顾宁. 群智协同计算: 研究进展与发展趋势, CCF 2016-2017 中国计算机科学技术发展报告, 中国计算机学会, 北京: 机械工业出版社, 2017.10
- [4] Forte A, Lampe C. Defining, understanding, and supporting open collaboration: Lessons from the literature[J]. *American Behavioral Scientist*, 2013, 57(5): 535-547.
- [5] Kraut R E, Resnick P, Kiesler S, et al. *Building*