

# 群智协同计算

特邀编辑: 胡 斌<sup>1</sup> 顾 宁<sup>2</sup> 孙海龙<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 兰州大学

<sup>2</sup> 复旦大学

<sup>3</sup> 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 CSCW<sup>1</sup> 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

<sup>1</sup> 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。

# 心理生理计算的研究进展及趋势

胡 斌 郑炜豪  
兰州大学

关键词：心理生理计算 多学科交叉 心理-生理映射

## 研究背景

心理活动与情感并不是实体，而是大脑神经元活动与生理响应、行为、感知等共同作用的结果<sup>[1]</sup>。目前，针对心理、精神的评估体系大都基于专业人员的主观推理判断和评定量表的评分结果。举例来说，在对精神障碍（如焦虑、抑郁等）的临床诊断中，医生主要通过《精神疾病诊断与统计手册》第5版（DSM-V）、国际疾病分类第10版（ICD-10）和《中国精神疾病分类方案与诊断标准》第3版（CCMD-3）等量表对患者的精神状态进行评估量化。虽然有明确的诊断和排除标准，但量表在施测过程中存在较大的主观因素，加之心理问题规律难寻，无法完全由该标准定性，易对患者的心理或精神状态造成误判，导致其无法及时接受治疗，使得病情恶化。

心理活动和生理变化之间究竟存在何种关系？这是长期困扰人类的难题。早期的探索主要集中在通过改变生理基础来观察动物的行为和情绪变化，如通过切除动物的部分脑组织来观察其行为的改变。到20世纪60年代，研究开始转向以人为诱发的心理或情绪活动来观察伴随而来的生理变化<sup>[2]</sup>，即以心理为自变量、生理为因变量的定量研究模式<sup>[3]</sup>。例如，当面对精神上的威胁或者躯体上的疼痛等刺激时，人体会释放大量荷尔蒙，导致交感神经系统被激活，进而刺激肾上腺释放儿茶酚胺（包括肾上腺素和去甲肾上腺素），引起心脏速率、血压及呼吸速率的升高，提升肌肉群的摄氧量和氧传输量。因此，心率（HR）、皮肤电反应（GSR）和肌电图（EMG）

等生理指标常被用来评估自主神经系统的功能和激活水平。这种评估模式强调以生理信息来反映心理活动，促进对心理、精神状态的理解和推理，因而被称为心理生理学<sup>[2]</sup>。心理生理学的出现为以临床量表为主的精神评估体系打开了新思路，使得精神评估研究逐渐由主观评判转向以生理信息为基础的客观推理定性模式。

然而，心理生理学研究仅在一定程度上量化了心理状态与特定模态生理信息的线性关系。在大数据时代，如何通过“计算思维”对更为复杂的数据结构和不同模态的数据形式进行定量分析，揭示心理状态与生理反应的内在联系，探索量化心理状态的有效生理指标是一个亟待探讨的问题。鉴于此，我们提出了以数据驱动为主的心理状态的可计算量化研究——心理生理计算<sup>[4]</sup>。心理生理计算的研究重点在于通过对多源生理数据（如脑影像、脑电、体电、心率、呼吸、体温等）的量化、融合、分析及挖掘，反向推导生理-心理的复杂映射关系，以实现对不同心理状态更为全面、客观的定量感知和推理计算。通过研究心理生理计算，我们希望能够利用心理生理测量数据实现对情绪状态和认知状态的识别，同时也能通过生理干预手段达到治疗心理疾病、影响认知状态的目的。这对于心理生理疾病的诊断与治疗，脑的结构与功能的认识，甚至下一代智能人机交互技术的研发，都有重要的意义。

## 理论基础与方法体系



## 理论基础

心理生理计算的理论体系主要基于我们对心理-生理映射规律的两种假设,即心理生理可计算性和心理生理可推理性。

**心理生理可计算性**是假设心理活动由大量的多维度、非结构化生理数据通过计算建模的方式抽象为一个可计算变量,即心理和生理变量的对应关系以某种计算模型或复杂函数关系表示。以“计算思维”为例,我们把心理状态作为表达具体认知过程功能性的概念性变量,记为集合A,而生理(例如脑、植物神经、内分泌)活动作为认知过程的实证物理变量,构成另一集合B,则集合A中的元素与集合B中的元素应在一定程度上存在某种对应关系。这种对应关系可总结为:

1. 一对一关系:集合A中每个元素都有且只有一个集合B中的元素与之相关;
2. 一对多关系:集合A中的某个元素会与集合B中的多个元素存在关联性;
3. 多对一关系:集合A中的多个元素都与集合B中某一个元素存在关联性;
4. 多对多关系:集合A中的多个元素会与集合B中的多个元素同时存在关联性。

理想状态是找到心理-生理的一对一映射关系,然而,这种理想状态很难达到。例如,虽然人们发现丘脑与脑皮层的功能共激活与感知和意识显著相关<sup>[5]</sup>,但这并不意味着这种共激活能够直观地反映意识的产生。个体差异、环境因素、激素分泌等因素仍对这种映射关系产生影响。可以说集合A和集合B之间的映射关系是极其复杂的,无法通过人为分析得出。因此,借助计算机的超算性能,以多元计算模型从宏观(情感、认知水平等)、介观(电生理信号、神经影像等)和微观(神经系统、分子水平等)层面全面分析心理-生理的映射关系是可行且有意义的。

**心理生理可推理性**是假设特定的心理状态是由生理测量数据推理出来的。通常我们认为只有基于一对一或多对一的关系,才能实现从生理到心理的

反向推理。在心理生理学研究中,若以心理活动A作为自变量,生理信息B作为因变量,则因心理活动产生的生理反应的概率可表示为条件概率 $P(B|A)$ ;同理,若我们以 $P(A|B)$ 表示生理反应可能引起的特定心理活动的概率,则可在一定程度进行心理活动的反向推理,即验证心理生理推理的可行性<sup>[6]</sup>。

通常我们可以通过假说演绎法来进行上述关系的挖掘,即在数据分析的基础上提出若干假设,并根据假设进行推理演绎,再通过实验检验推理结论。心理活动的复杂性使得推理演绎的过程需要考虑到情境和个体差异的影响。这就需要通过假设演绎不断排除错误的假设。若在不同情境下都能得出集合A与集合B的一一对应关系,即 $P(B|A)=P(A|B)$ 且 $P(\text{Not-A},B)=P(\text{Not-B},A)=0$ ,则我们得到了最理想化的推理条件,称为“心理生理不变性”。综上,以生理活动推理心理状态在理论上是可行的,这需要我们在新技术、新指标的基础上不断地进行推理演绎,得出最为合理、可靠的推理关系。

## 方法体系

心理生理计算是一个系统化的理论体系,主要分为假说演绎推理和预测推理两个方面(如图1所示)。假说演绎推理需要通过大量生理测量数据进行计算分析,得到心理、生理之间客观且可靠的推理规则,这一规则被用于后续的预测推理研究。因此,假说演绎部分主要包括实验设计、生理数据获取和数据的计算分析。

实验设计首先需要明确研究目标(如认知能力、情感等),确定与之相关的自变量、因变量和控制变量,再选择与研究目标最相关的生理数据测量方法。心理生理计算必须依靠科学的实验体系来激发受试者的目标心理状态。目前,心理学研究中常用的心理状态激发方法有:(1)通过情感诱发材料(如情绪图片或情感音频、视频等)刺激受试者产生相应的情绪;(2)通过让受试者执行复杂的心理实验任务使其产生特定的情绪或意识。在诱发情绪的同时,还需要综合控制其他影响因素,以保证假说演绎的可靠性。

由于心理状态的持续时间通常较短,我们认为

采集的生理信号需要保证一定的时间分辨率。通常具有时间分辨率的生理数据包括功能磁共振成像、脑电图、脑磁图、体电信号等,这些信号也被证明能够有效捕捉情绪的变化<sup>[7~11]</sup>。需要注意的是,由于生理测量数据具有稳定性差、数据量大、个体差异大等特点,在采集时或多或少都会受到一些环境或者被试个体无意识带来的噪声影响,因此需要采取一定的措施减小噪声影响,提高数据的鲁棒性,以保证后续计算分析的准确性。

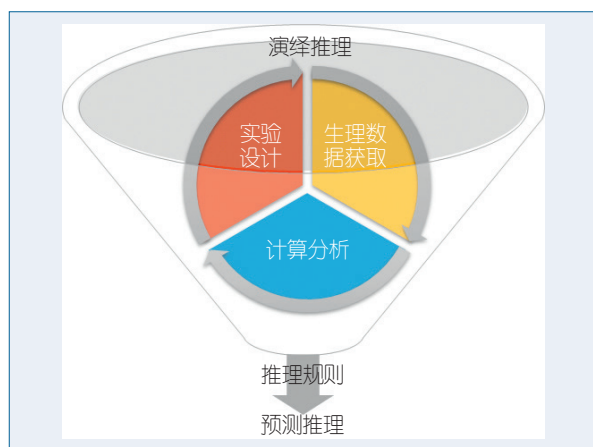


图1 心理生理计算的方法体系

计算分析是一个排除错误假设的过程,需要不断重复实验和分析,逐步实现“心理生理不变性关系”的演绎推理。原始的生理测量数据均为非结构化数据,其所能提供的信息有限,因此往往需要对原始数据进行一系列预处理,将各类非结构化数据转换为结构化数据,以更好地表征生理学信息。而后就可以对生理数据进行多元统计分析和数据挖掘,寻找不同心理状态所引发的生理反应差异性,以及不同维度、不同属性之间可能存在的潜在关联。

基于计算分析和假说演绎法获得的可靠的心理-生理对应关系,是实现心理状态推理预测的关键。这种关系往往是非线性的或是更为复杂的映射关系,因此可以采用目前广泛使用的各类机器学习算法,从多种数据空间综合地表征这种映射关系,比如支持向量机(SVM)可以从高维数据空间表征数据的结构特性,多任务学习则可以有效地挖掘不同

数据源之间的内隐关联。我们认为这种以数据驱动为主的推理模式,能够达到客观识别人类情绪状态和认知状态的目的。

## 研究现状

心理生理计算是在获取可靠推理规则的基础上,以计算的方法通过生理数据来预测情绪状态和认知状态。由于心理-生理的映射关系尚未完全明确,当下的研究主题仍停留在心理-生理的推理规则上,从研究角度主要分为情感交互研究和精神疾病及认知障碍研究。

情感交互是指赋予计算机系统观察、理解、生成及表达各种情感的能力,是人机交互发展的高级阶段。为了实现人机之间的情感交互,需要具备识别、理解、表达与适应人类情感的能力,而心理生理计算从工程学角度提供了对情感状态进行定量感知与计算的理论方法。目前,相关研究已经发现,情感处理与大脑的边缘系统、额叶和脑岛紧密相关<sup>[12~14]</sup>,且正向和负向情绪的脑电信号表达具有不对称性,表现为正、负向的情感,分别与左、右额叶脑电的活跃度有关<sup>[15]</sup>。这些研究结果被应用于情感分类研究中,并取得了较好的效果<sup>[16,17]</sup>。研究还发现,情绪的波动(如焦虑)会引起颞叶、顶叶活动的增强<sup>[18,19]</sup>及特定频段的功能连接紊乱<sup>[20]</sup>,其严重程度与额叶、顶叶活动的不对称性<sup>[19,21]</sup>及脑电信号alpha波和beta波的变化有关<sup>[22,23]</sup>;而在感受外界有害刺激(如疼痛)时,大脑的默认模式网络呈显著负激活,且凸显网络、脑岛、丘脑和边缘系统等区域呈显著正激活<sup>[24,25]</sup>,该模式可以有效地预测人们对疼痛的感知<sup>[26]</sup>。此外,其他生理信号(如心电、肌电、血压、呼吸等)也为情感的划分提供了客观参照<sup>[27,28]</sup>。

在精神疾病及认知障碍研究中,人们发现,不同认知障碍或脑疾病引起的大脑活动模式不同。例如:抑郁人群伴随着异常的边缘系统激活模式和连接失衡现象<sup>[29]</sup>,任务加工区域活动下降<sup>[30]</sup>,全脑神经活动的不对称性及对特定频率下脑电的依赖性<sup>[31]</sup>;精神分裂症患者伴随前额叶皮质活动减弱<sup>[32]</sup>,颞横

回功能障碍<sup>[33]</sup>, 功能自网络动态特性的改变<sup>[34]</sup>; 社交障碍患者伴随着岛叶和杏仁核的体积下降<sup>[35]</sup>, 及其结构和功能连接的异常变化<sup>[36, 37]</sup>; 而认知障碍和老年痴呆症则与大脑皮质的萎缩<sup>[38]</sup>、脑网络结构及连接紊乱<sup>[39-41]</sup>等变化有关。这些发现在对应的精神疾病或认知障碍的诊断研究中取得了较好的表现, 也进一步得到了证实<sup>[42-49]</sup>。

## 面临的问题

心理生理计算理论的前提是心理生理的可推理性, 即假设通过所测量的生理信息能够推理出特定的心理过程、状态或阶段。但由于心理-生理之间极为复杂的映射关系和研究方法的局限性, 目前始终没有针对这种推理模式可行性的论证分析。而引入定量计算框架可以在传统心理生理学研究的基础上, 结合智能计算技术对心理生理学研究中的问题进行补充, 从计算的角度量化心理-生理映射关系。这种研究模式也为心理-生理的可推理性论证提供了一个新的契机。

心理生理计算的发展很大程度上依赖于生理指标的测量手段。目前, 各类生理信息的采集设备均具有一些局限性。例如: 脑电图只能提供大脑的整体功能状态, 且空间分辨率低; 脑磁图的时间分辨率达到毫秒级, 能够提供有关认知过程的具体时间信息, 但其必须与结构成像技术结合才能提供结构或解剖信息, 并且必须在磁屏蔽室中运行; 磁共振成像虽然能提供结构和功能两方面的信息, 但其无法直观地反映神经活动, 且时间分辨率较低; 体电、皮肤电信号则很容易受到环境和呼吸等影响, 噪声较大。而心理生理计算需要尽可能多地采集不同类型的生理数据, 这无形中放大了上述局限性对相关研究的影响。因此, 生理数据采集技术的不足也是限制心理生理计算发展的重要因素。

心理生理计算涵盖了多种生理数据及计算方法, 如何根据数据特点选择和开发合适的算法关系到能否获得合理、可靠的心理-生理映射关系。此外, 如何实现多模态生理数据的有效融合、挖掘

模态间的共知识, 以及如何更好地表征这种映射关系的个体差异性, 仍是我们需要解决的问题。

## 结论

虽然目前心理生理计算还处于发展阶段, 对一些理论假设尚无定论, 但其以“计算思维”主导的心理-生理解析模式对阐明脑的工作机理、脑疾病的发生和发展机制、确定早期量化诊断生理指标和干预靶点都有非常重要的意义。 ■



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



郑炜豪

兰州大学博士研究生, IEEE SMC TC on Computational Psychophysiology 秘书。曾任 Science 副刊 Advances in Computational Psychophysiology 客座编辑。主要研究方向为神经影像分析、情感计算。  
zhengwh14@lzu.edu.cn

## 参考文献

- [1] Gross J J, Barrett L F. Emotion Generation and Emotion Regulation: One or Two Depends on Your Point of View[J]. *Emotion Review Journal of the International Society for Research on Emotion*, 2011, 3(1):8-16.
- [2] Fowles D C. Psychophysiology and psychopathology: A motivational approach[J]. *Psychophysiology*, 1988, 25(4):373-391.
- [3] Stern R M, et al. *Psychophysiological Recording*[M]. Oxford University Press, USA, 2001.
- [4] Hu B, Fan J. Computational Psychophysiology [J]. *Advances in Computational Psychophysiology*(Science/AAAS, Washington, DC), 2015, 350(6256): 5.
- [5] Boveroux P, Vanhaudenhuyse A, Bruno M A, et al. Breakdown of within- and between-network resting state functional magnetic resonance imaging connectivity during propofol-induced loss of consciousness[J]. *Anesthesiology*, 2010, 113(5):1038-1053.

更多参考文献: <http://dl.ccf.org.cn/cccf/list>