

教师在线实践社区中的群体智慧建模和分析——基于多层网络模型¹

Modeling and Analyzing Collective Wisdom in Teachers' Online Communities of Practice: A Multilayer Network Model Approach

李敬昭¹, 王梦倩^{12*}¹ 首都师范大学 教育学院, 北京 100048² 首都师范大学 人工智能教育研究院, 北京 100048

* mengqianwang@126.com

【摘要】 本研究构建了知识流动-社会互动教师群体智慧多层网络模型, 提出了单层及整体维度量化指标, 并基于教师在线实践社区的 1775 条发帖数据开展实证分析。研究发现, 教师群体智慧的涌现发生在级联模型的第 4 层; 社会互动层具有弱连通性, 知识流动层具有多级传播特征。文章建议通过强化角色分工、设计互动激励机制及优化跨子群协作任务, 提升网络研修的全局协同效率, 促进教师群体智慧的涌现。

【关键词】 网络研修; 教师群体智慧; 多层网络; 知识流动; 社会互动

Abstract: This study constructs a multi-layer network model of teacher collective wisdom integrating knowledge flow and social interaction, proposing quantitative metrics for individual layers and holistic dimensions. Empirical analysis of 1,775 discussion posts from Teachers' Online Communities of Practice reveals that collective wisdom emerges at the fourth cascade layer. Social interaction layers demonstrate weak connectivity and knowledge flow exhibits multi-level propagation characteristics. Recommendations include enhancing role specialization, designing interactive incentive mechanisms, and optimizing cross-group collaborative tasks to improve network-based professional development efficiency and facilitate collective wisdom emergence.

Keywords: online research and learning, teacher collective wisdom, multi-layer network, knowledge flow, social interaction

1. 引言

基于教师在线实践社区的教师网络研修是教师专业发展的重要途径之一, 但其存在交互深度不足与互助关系松散等问题 (顾燕群, 2022)。前人提出数据驱动的社群化学习模式 (胡小勇 & 徐欢云, 2020) 和群体智慧汇聚机制 (曹宇星等, 2023) 以推动教师集体的专业成长, 但目前教师群体智慧的量化表征方式尚不明确。因此, 研究教师群体智慧的数学表征方式具有理论与实践双重价值。

2. 文献综述

教师群体智慧通过教师个体间互动将个人知识整合为共享智慧, 其形成经历了从显性知识共享到隐性智慧转化的过程 (张定强, 2020)。教师实践性知识包含教育信念、自我知识等六个维度 (陈向明, 2003), 通过协作中的经验共享与策略迭代, 为教师群体智慧的涌现提供内容基础。

多层网络通过多维层次结构表征复杂关系, 分为各层节点与连边类型一致的同构网络和各层节点类型多样的异构网络。教育领域应用包括社会-认知双层网络 (Liu 等, 2022)、行为-

¹ 本研究受到国家自然科学基金青年科学基金项目“基于多层异构网络建模的教师群体智慧涌现机理及智能干预研究” (编号: 62407031) 支持。

认知-情感互动模型（王梦倩，2022）及四层关联模型（王辞晓 & 李林泽，2024）。现有研究从节点、单层、层间及整体多维度（Zhang et al., 2022）揭示了其结构与功能特征。

教师群体智慧的形成与发展是基于社会互动的知识流动作用的结果，知识提供内容基础，社会互动构建关系网络。本研究基于教师实践性知识的六维度，构建知识流动-社会互动多层网络模型，并通过分析在线实践社区互动数据，揭示教师群体智慧的涌现特征。

3. 研究设计

3.1. 研究情境

本研究以 2024 年 3 月至 7 月北京市某区域教师在线实践社区网络研修活动为情境，基于教师发帖数据构建多层网络模型。来自 53 个学校的 167 位研修教师、2 位指导教师和 3 位助学者参与了活动，累计发布了 1778 条帖子，剔除 3 条空帖，剩余有效帖子 1775 条。

3.2 数据分析

本研究使用的多层网络分析工具为 Gephi-0.10.1 和 muxViz-2.0，相关性分析工具为 SPSS-23。首先，根据帖子原始数据调整 Gephi 和 muxViz 可识别的节点文件和边文件，然后可视化多层网络并开展多维度分析。

4. 模型构建

本研究将教师群体智慧构建为知识流动-社会互动多层异构网络，两层网络中的节点和连边的类型不同。知识流动层以知识单元为节点，连边表征回复关系（根节点为初始知识单元，子节点为直接回复），形成知识传播级联模型；社会互动层以教师为节点，连边权重通过互动频次量化其关系强度。知识单元与其发布教师通过隶属连边跨层映射，实现两层的耦合关联。多层网络的拓扑结构示意图如图 1 所示，经过耦合后的超邻接矩阵示意图如图 2 所示。知识单元节点以六维向量表征；教师节点以身份列表标记。

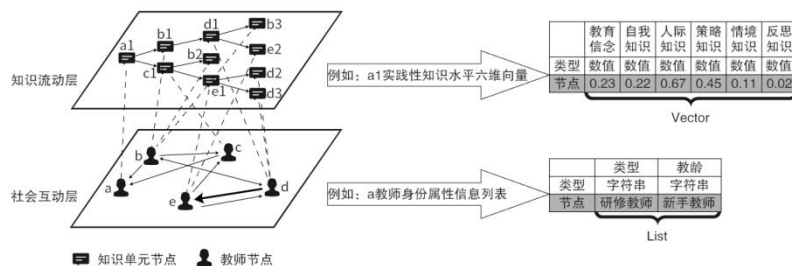


图 1 多层网络拓扑结构示意图

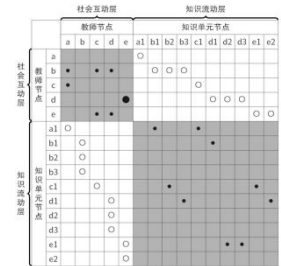


图 2 超邻接矩阵示意图

结合多层网络分析理论和已有研究选取分析指标的经验，本研究构建了单层和整体维度的多层网络分析指标框架，具体指标框架见表 1。

表 1 教师群体智慧多层网络分析指标框架

维度		指标	详细说明
单层维度	知识流动层	级联规模	级联树的个数
		级联深度	级联树的最大层数
		级联宽度	级联树每一层级知识单元节点数量以及每一层级节点的平均实践性知识水平
	社会互动层	平均度	所有节点的入度与出度之和的平均值
		平均路径长度	所有节点对之间最短路径长度的平均值
		网络密度	$D=m/(n(n-1))$ ， m 指层内连边数量， n 指层内节点数量
		模块化	揭示层内的聚集行为并发现具有共性特征的节点集合
		平均聚类系数	用于衡量层中节点与其邻居之间的联系紧密程度
	网络直径	任意两节点间距离的最大值	
整体维度	层间相关性	两层之间的相关性，用相关性系数表征	

5.模型应用

5.1. 多层网络拓扑结构

教师群体智慧多层网络的拓扑结构如图 3 和图 4 所示，上层 S 为社会互动层，节点颜色区分类型，黄色为研修教师，红色为指导教师，绿色为助学者，节点大小反映教师收发知识单元的数量；下层 K 为知识流动层，节点大小表示知识单元的实践性知识水平。图 3 采用 Fruchterman-Reingold 布局算法，通过模拟节点间斥力与引力调整节点位置；图 4 采用 Reingold-Tilford 布局算法，按层级排列清晰展示知识传播的从属路径。

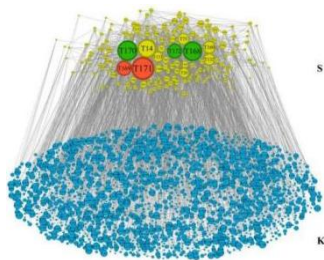


图 3 多层网络拓扑结构图-力导向布局

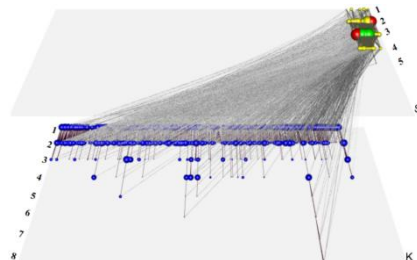


图 4 多层网络拓扑结构图-树形布局

5.2. 单层维度分析

5.2.1. 知识流动层

知识流动层共有 651 个级联树，说明知识传播链条较多且相对分散。所有级联树的最大深度为 8，说明在单次讨论中，知识最多传播 8 个层级。知识流动层的级联宽度用每一层级的知识单元节点数量和节点的平均实践性知识水平来表征，见图 5 和图 6。

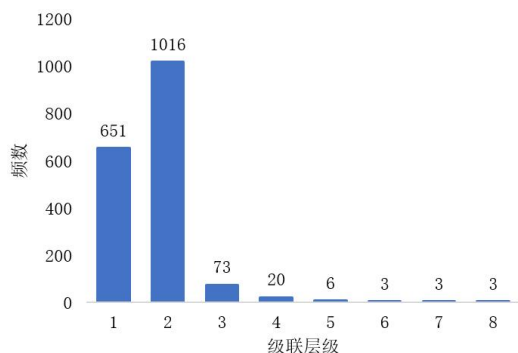


图 5 每一层级知识单元节点数量

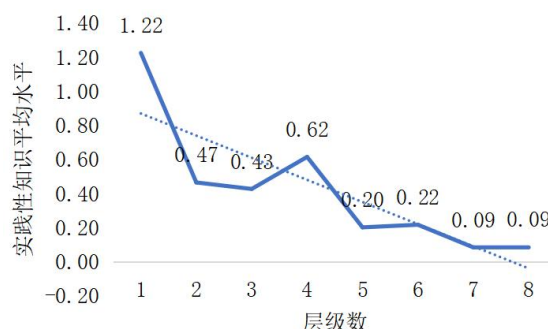


图 6 每一层级平均实践性知识水平

图 5 表明，知识传播层级中节点数量逐层递减，第 3 层及以后持续收缩。图 6 揭示，第 4 层平均实践性知识水平逆势提升，反映教师群体智慧涌现。分析发现，研修教师、指导教师与助学者通过“研修教师-指导教师/助学者-研修教师-指导教师/助学者”的交替互动模式，驱动知识迭代。例如，研修教师从教学反思出发，指导教师提出疑问并引导实践解析，最终提炼为理论框架，形成“反思-提问-实践解析-理论升华”路径，推动个体经验向集体智慧转化。

5.2.2. 社会互动层

社会互动层包含 172 个节点，957 条连边。其平均度 5.56，平均路径长度 3.07 与网络直径 7 共同揭示知识传递依赖多个中介节点，效率处于中等水平；网络密度 0.03 与平均聚类系数为 0.17 凸显教师间互动稀疏且关系松散；而模块化 0.31 佐证网络中存在弱连接的子群结构，此类结构虽可维持局部知识传播稳定性，但全局协同能力受限。综合而言，该网络呈现分散化弱连通特征，需通过增强交互频次优化知识流通常径。

5.3. 整体维度分析

度中心性用来衡量教师节点的重要性,教师的实践性知识水平由所发帖子的实践性知识水平平均值表征。多层网络的层间相关性用教师节点的度中心性和教师的实践性知识水平之间的相关性来表征,反映了教师收发帖数量与发帖质量之间的关系。基于斯皮尔曼相关分析,教师收发帖数量与发帖质量呈显著正相关($r=0.167$, $p<0.05$, 散点图见图 7),表明活跃度高的教师更倾向于贡献高质量知识,揭示了互动频率与知识质量间的协同促进效应,提示可通过激励教师参与深度交互,优化网络研修生态,推动群体智慧的高效涌现。

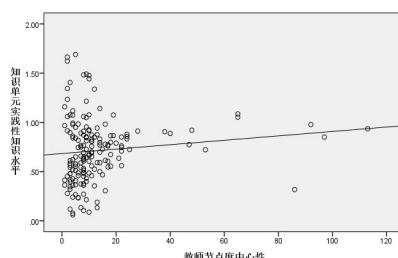


图 7 教师度中心性-知识单元实践性知识水平散点图

6. 结论与启示

本研究通过构建知识流动层-社会互动层耦合的教师群体智慧多层网络模型,揭示了教师群体智慧在级联模型第 4 层涌现的“反思-提问-实践解析-理论升华”动态路径,研修教师、指导教师与助学者通过交替互动激活高水平知识生产。社会互动层的弱连通性与知识流动层的多级传播特征表明,需通过角色分工强化、互动激励机制及跨子群协作任务优化网络结构,以提升全局协同效率。实证分析验证了教师互动频次与发帖质量的显著正相关,为构建高效研修生态提供了量化依据。未来可进一步优化模型,纳入更多测度指标,并结合动态演化与跨情境验证,深化教师群体智慧的形成机制与发展路径研究。

参考文献

- 王梦倩. (2022). 行为—认知—情感多层网络视角下在线学习共同体互动分析模型与应用. *电化教育研究*, 43(12), 86-92+113.
- 王辞晓 & 李林泽. (2024). 基于多层网络建模的在线学习社区群体动力激活研究. *现代远距离教育*, 1, 69-78.
- 张定强. (2020). 智慧共享对教师群体发展素养的三维重塑. *教师发展研究*, 4(1), 90-95.
- 陈向明. (2003). 实践性知识:教师专业发展的知识基础. *北京大学教育评论*, 1, 104-112.
- 胡小勇 & 徐欢云. (2020). “互联网+教研”形态研究:内涵、特征与趋势. *电化教育研究*, 2, 10-16+31.
- 顾燕群. (2022). 基于网络研修视角的教师专业发展路径探究. *中国成人教育*, 9, 65-69.
- 曹宇星, 陈孝然, 谢雯婷, 龚文丽 & 胡小勇. (2023). 网络学习空间中教师集体效能优化模型构建及其要素关系性研究. *教师教育研究*, 35(1), 78-84.
- Liu, S., Hu, T., Chai, H., Su, Z., & Peng, X. (2022). Learners' interaction patterns in asynchronous online discussions: An integration of the social and cognitive interactions. *British Journal of Educational Technology*, 53(1), 23-40.
- Zhang, Y., Lu, Y., Yang, G., Hou, D., & Luo, Z. (2022). An internet-oriented multilayer network model characterization and robustness analysis method. *Entropy*, 24(8), 1147.