

基于共词分析和对称非负矩阵分解的 国内人工智能教育研究主题分析*

马园园

湖北文理学院计算
机工程学院, 襄阳
441053

柳利芳

湖北文理学院物理与电气
工程学院, 襄阳 441053

余平

山西师范大学数学与
计算机科学学院, 太
原 030031

摘要 随着人工智能技术在中国的快速发展, 教育领域发生了重大变革。人工智能教育相关的科学文献的日益增长及人工智能在教育系统中的广泛应用, 有必要进行系统性回顾分析, 以了解该领域的最新发展态势。基于此, 本文执行了一项信息计量分析, 以1994年—2024年CNKI收录的730篇文章作为数据源, 使用Bicomb、CiteSpace、Gehpi和基于矩阵分解的方法进行了统计分析和聚类分析; 最终确定了与人工智能教育相关的几个核心研究主题: 思想政治教育、智能辅导系统、智慧教育、教育与人机协作。关键词突现分析进一步表明了道德规范和思想政治教育将贯穿人工智能教育研究的整个过程。最后, 指出了本研究的局限性, 并提出了人工智能教育未来的若干研究方向。

关键字 共现分析, 人工智能, 教育, 对称非负矩阵分解

Topic Analysis of Domestic Artificial Intelligence Education Research Based on Co-occurrence Analysis and Symmetric Nonnegative Matrix Factorization

Ma Yuanyuan

School of Computer Engineering
Hubei University of Arts and Science,
Xiangyang 441053, China;

Liu Lifang

School of Physics and Electronic Engineering
Hubei University of Arts and Science,
Xiangyang 441053, China

Yu Ping

School of Mathematics and Computer Science
Shanxi Normal University,
Taiyuan 030031, China

Abstract— With the rapid development of artificial intelligence (AI) in China, there has been a significant change in the educational field. The increasing growth of scientific literatures in relation to artificial intelligence education and extensive application of AI in the educational system made it necessary to review the novel development in this field systematically and reliably. To this end, in this manuscript we implemented an informetric analysis to obtain an overview of its status and trends in terms of statistical analysis, clustering analysis, and burst analysis. Around 730 CNKI-published articles from 1994 and 2024 were collected for analysis using Bicomb, CiteSpace and matrix factorized-based method. Several core clusters were identified for the AIE-related research, including ideological political education, intelligent tutoring systems, intelligence education, higher education, and human-machine cooperation. In the future ethic norms and ideological political education will run through the whole process of AIE research. Finally, the limitations of this study were proposed, and the prospective research directions of AIE research were suggested.

Keywords— Co-occurrence analysis, Artificial intelligence, Education, Symmetric nonnegative matrix factorization

1 引言

人工智能技术 (Artificial intelligence, AI) 的快速发展改变了许多行业中人们的工作方式和沟通方式, 人与机器之间的互动和协作变得越来越重要。值得注

* **基金资助:** 本文得到湖北省教育科学规划重点课题“美育浸润校园指标体系构建、测度与提升路径研究”(项目编号: 2024GA095)、山西省高等学校教学改革创新项目“本科教学质量数据的统计分析研究—以山西师范大学为例”(项目编号: J20220450) 资助。

* * **通讯作者:** 马园园 chonghua_1983@126.com。

意的是, 近年来, AI 产品包括智能辅导系统、教学机器人等, 在传统课堂中得到了广泛的应用^[1]。一些高校和机构已经推出了许多与人工智能相关的课程 (大数据、机器学习) 和平台 (大规模开放在线课程, MOOC; Class Central; Coursera 等) 用于在线学习。这些技术对教育的进步做出了巨大的贡献。

与其它技术不同, 人工智能对教育的影响是多方面的, 它有可能改变教育机构的结构、功能和治理方式^[2]。通过与教育学、心理学、语言学和神经科学的结合, 人工智能支持传统课堂和工作场所中发生的各种

学习场景。因此,灵活、个性化和有效的教学模式正日益受到推动和发展^[3]。

近年来,人工智能在教育领域的广泛应用引起了业界的广泛关注。教育需求的日益增长和国家相关政策的出台,刺激并推动了人工智能与教育相结合的新兴研究领域的产生。目前已有不少研究关注人工智能在教育领域的应用和软件平台的设计,并提出了师生协作^[4]、智能辅导系统引导教育系统变革^[5]等多种观点。然而,这些研究主要基于主观性和个人偏好,统计分析、聚类分析、主题突现分析等定量分析开展不足,影响了对人工智能教育研究现状和趋势的整体把握,导致理论研究与实际应用之间的脱节。

基于以上考虑,本文旨在探索国内人工智能教育研究的动态和趋势,利用知识图谱来系统地分析和评估这种变化^[6],通过知识图谱可以实现信息提取、统计分析,并能够将整体知识结构聚类到相关领域^[7]。基于人工智能教育领域相关文献,本研究试图解决以下研究问题:

- RQ1: 近三十年国内人工智能教育研究现状?
- RQ2: 国内人工智能教育研究的主要领域是什么?
- RQ3: 如何改进人工智能教育研究主题聚类结果?
- RQ4: 不同时间段,人工智能教育的研究热点是什么?

使用 Bicomb^[8, 9]、CiteSpace^[10-12]和 Gephi^[13]对 CNKI 收录的人工智能教育相关的文献进行了分析。与其他信息计量研究使用 CiteSpace 中默认的聚类方法(如对数似然比算法(LLR)[14])不同,本研究使用基于对称非负矩阵分解的方法将关键词划分为不同的聚类。通过对 CNKI 来源数据集的分析,发现本研究的结果可为一些定性研究提供经验证据,并为人工智能教育相关领域的工作提供的参考与指导。具体分析流程如图 1 所示。

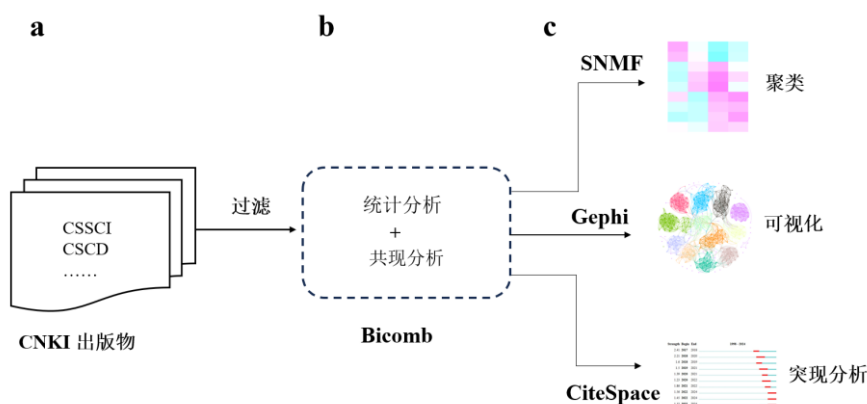


图 1 人工智能教育主题分析流程图。

① 待分析数据来源于 CSSCI、CSCD 和北大中文核心库;

② 对检索到的数据进行过滤,排除不相关的文章,如综述、新闻报道和会议报告;然后,使用 Bicomb 对处理后的数据进行分析;

③ 利用生成的共现矩阵进行下游分析,包括聚类、数据可视化和关键词突现分析。

2 材料和方法

本文主要采用了词频统计分析、主题聚类分析和关键词突现分析等方法。分析方法的选择基于以下考虑:

(1) 信息计量分析是一种有效且高效的工具,可用于研究一段时期内的大规模数据;并且容易与许多高级机器学习算法集成,例如社区检测算法;

(2) 信息计量分析提供了对某些领域研究的见解,包括研究现状、主题和趋势,可为教育部门提供决策支持;

(3) 信息计量分析中常用工具,如 Bicomb、Gephi、CiteSpace,使非专业人员更容易了解相关研究领域的发展趋势和动态。

本文采用了 Bicomb、Gephi 与 CiteSpace 等分析工具。具体而言, Bicomb 用于生成共现矩阵, Gephi 用于可视化聚类结果, CiteSpace 用于关键字突现分析。

2.1 数据收集

Bicomb 和 CiteSpace 可以对不同数据库中的信息进行分析。本文主要着眼于 CNKI 数据库,一个现实原因是:在过去三十年中,人工智能在中国取得了迅猛发展,并对各个行业产生了深远的影响,尤其是教育。因此,有必要对人工智能在教育领域的现状、热

点和发展趋势进行全面的总结和分析。CNKI 收录了大多数关于人工智能教育方面的研究文献，因此最终被选为分析本文的主要数据源。

以 CSSCI、CSCD 和北大中文核心期刊库为数据源，以“人工智能”和“教育”作为关键词进行篇名检索，时间范围设定为 1994-2024 年，共检索到 782 条记录，包括标题、作者、所属单位、年份、关键词和摘要。为保证结果的可靠性，排除了与内容无关或非研究类型的文章（如综述、新闻和会议报告）；最后，730 条记录用于下游的信息计量分析。值得注意的是，本文没有采用 CiteSpace 固有的 LLR 聚类算法，而是使用一种基于对称非负矩阵分解的新型聚类方法来获得准确、稳定的聚类。

2.2 数据分析

本研究执行了三个分析任务：统计分析、聚类分析和突现性分析。对关键词的统计分析旨在为国内人工智能教育研究现状提供一个整体视角：对每条记录中出现的关键词进行统计分析，得到关键词排序，高的频数表示该关键词在相应领域受到了较为广泛的关注，通过阈值过滤，最后获得 1532 个关键词。

表 1 人工智能教育研究关键词词频统计 (Top 20)

同时，还可以生成关键词共现矩阵，其中每个词表示两个关键词共现的次数，主对角线上的每个元素表示包含该关键词的文数。此外，还可以生成关键词-文档矩阵，其中值 1 表示该关键词出现在相应的文章中，0 表示未出现。基于关键词共现矩阵或关键词-文档矩阵，可进行聚类分析。

关键词	词频	关键词	词频
人工智能	460	人工智能教育时代	24
人工智能教育	45	人工智能教育应用	21
思想政治教育	45	人才培养	17
ChatGPT	37	机器学习	15
生成式人工智能	37	大数据	14
智慧教育	36	人机协同	14
教育	34	人工智能+教育	14
职业教育	34	教育改革	13
教育人工智能	33	教育应用	13
高等教育	32	未来教育	13

采用基于矩阵分解的方法进行聚类分析，确定人工智能教育相关的主要研究领域。首先，从 CNKI 文献中提取关键词，并利用 Bicomb 生成关键词共现矩阵，通过对称非负矩阵分解模型将内容和属性相似的关键词聚在一起，代表一个核心研究主题；然后，基于关键词共现网络进行数据可视化，每个节点代表一个关键词，两个关键词之间的链接代表其共现关系；最后，

通过无监督指标轮廓系数 (Silhouette score, SC) 和模块度 (Modularity) 来确定显著的聚类。通常，轮廓得分大 (>0.8) 和模块度高 (>0.3) 的聚类被认为是有意义且显著的聚类，并用作下游分析。

突现分析通过表征关键词在一段时间内出现的频率来检测某一类事件的突发性^[5]。在 CiteSpace 中，可通过减小控制面板中 gamma 参数的值来识别更多的突发性事件。在本研究中，将 gamma 设置为 0.2 以识别更多的突发事件。此外，关键词突发性分析还反映了关键词对人工智能教育研究中某一领域发展趋势的影响。

3 结果和讨论

3.1 人工智能教育研究现状

为系统了解描述国内人工智能教育研究的现状，本部分进行了简单的统计分析。表 1 列出了人工智能教育相关关键词的统计信息。根据关键词在出版物中出现的频率，列出了前 20 个关键词。

总体来看，“人工智能”、“人工智能教育”、“思想政治教育”在人工智能教育相关论文中出现频率较高。一个可能的原因是人工智能的研究基础和演进取得了实质性进展，并对教育产生了深刻影响；同时，国家《新一代人工智能发展规划》、《人工智能标准化白皮书》等一系列规划的相继出台，进一步加剧了这种变化。此外，“chatGPT (Chat Generative Pre-trained Transformer)”、“生成式人工智能”、“机器学习”、“大数据”、“教育改革”、“未来教育”等关键词也出现在众多论文中，表明人工智能相关技术已应用于教育领域，正在改变中国教育的范式。

3.2 基于关键词共现矩阵的聚类分析

接下来，使用 Bicomb 生成关键词共现矩阵。表 2 显示了人工智能教育相关研究文献中关键词之间的共现。

表 2 人工智能教育研究关键词共现矩阵 (部分)

	人工智能	人工智能教育	思想政治教育	ChatGPT	生成式人工智能	智慧教育
人工智能	460	5	42	11	0	30
人工智能教育	5	45	0	0	1	2
思想政治教育	42	0	45	1	3	1
ChatGPT	11	0	1	37	23	1
生成式人工智能	0	1	3	23	37	0
智慧教育	30	2	1	1	0	36

矩阵中的值表示两个关键词共现的次数，值越大表明两个关键词的语义关联性强。从表 2 中可以看出，

“人工智能”与“职业教育”、“人工智能”与“智慧教育”的共现频率较高，这可能反映出越来越多的研究者开始关注人工智能在教育领域的应用和人才培养。

同时，利用 Bicomb 可生成关键词-文档矩阵并用于聚类分析。本研究基于关键词共现矩阵构建关键词相似性矩阵，并进行聚类分析。给定关键词共现矩阵 O (表 1)，利用 Ochiai 系数^[16, 17]构建相似性矩阵：

$$S = \frac{|A \cap B|}{\sqrt{|A|} \times \sqrt{|B|}}. \quad (1)$$

其中， A, B 为集合， $|A|$ 代表集合元素的个数， $A \cap B$ 代表 A, B 两个集合的交集。通过Ochiai系数(式1)，可获得关键词相似性矩阵 S 。

接下来，利用对称非负矩阵分解 (Symmetric nonnegative matrix factorization, SNMF)^[18, 19]获得主题聚类。SNMF的目标函数定义如下：

$$Obj = \min_{H \geq 0} \|S - HH^T\|^2. \quad (2)$$

其中， H 为聚类指示矩阵， H^T 代表矩阵的转置。通过对 H 进行聚类分析，可识别人工智能教育相关研究的潜在知识结构——每个聚类描述了该领域主要的研究主题和热点。需要注意的是，本文使用 Louvain 算法^[20]来增强基于从SNMF 获得的 H 的聚类分配。

CiteSpace 也提供了一些经典的聚类算法，如对数似然比算法 (LLR)、潜在语义索引 (LSI)^[21]等。本研究采用 SNMF 算法生成最终的关键词主题结构图，其优势在于：1) SNMF 分解后的因子具有非负性，对聚类结果具有良好的解释性，而基于 LSI、奇异值分解的方法生成的因子矩阵包含负的元素，其解释性不强；2) SNMF 的输入为相似性矩阵，该矩阵可采用线性、非线性方法来获得，因此，SNMF 具有良好的拓展性，易与和其他高级的机器学习方法相结合，如基于图学习的方法。

3.3 聚类与数据可视化分析

本章节执行了聚类和可视化分析，以识别国内人工智能教育研究的热门领域。首先，通过式 1 和式 2 得到关键词聚类指标矩阵 H ；然后，执行 Louvain 聚类，找出与人工智能教育相关的主题领域，主题数量由 CiteSpace 确定为 12 个。图 2 是根据预测的聚类标记和关键词共现矩阵对关键词进行可视化的结果。

图 2 中每行(列)代表一个关键词，主对角线上的每个矩形块代表了一个人工智能教育相关的研究领域。颜色表示两个关键词之间的相关性。如图 2 所示，识别出的主题具有清晰的聚类结构，这一结果表明，国内人工智能教育相关研究领域已经形成，并具有显

著的特性。红色矩形框内的两个领域可能代表了中国最具代表性的两个人工智能教育主题(图 2)。

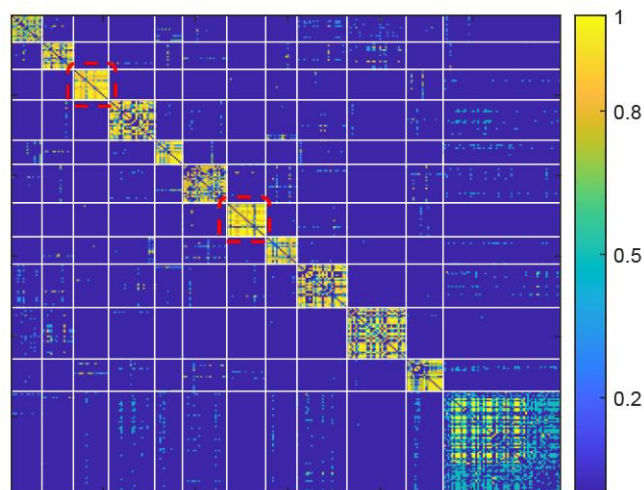


图 2 关键词聚类结果

为进一步了解人工智能教育相关研究领域，在 Gephi 中对关键词聚类图进行了可视化^[13, 22]，图 3 为国内人工智能教育相关研究关键词聚类结果。聚类图采用 SNMF + Louvain 算法生成(平均轮廓得分：0.8115，模块度：0.860)。

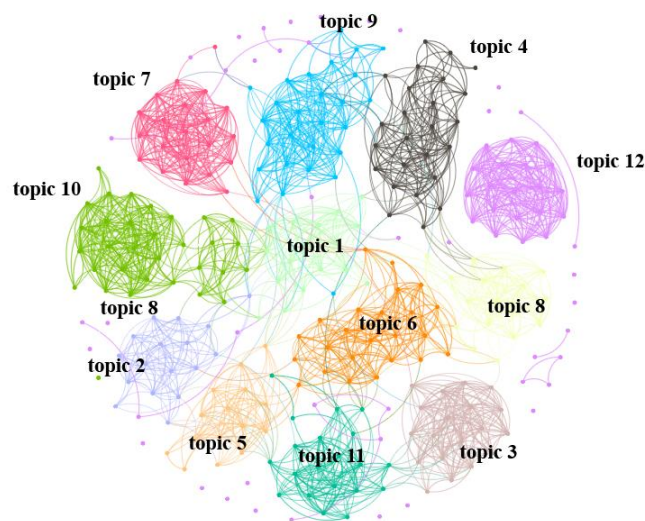


图 3 关键词呈现按主题聚类的现象

从图 3 中可以看出，一些簇(包括主题 12、4、7、10)具有内在的紧凑结构，并且在不同簇之间存在联系。这一结果表明：国内人工智能教育相关研究领域内存在连贯性及不同领域间的跨学科交叉性。

表 3 总结了成员最多的前 5 个簇中的关键词。从表 3 中我们可以看到，每个识别的簇的平均轮廓得分大于 0.75。正如一些研究表明的那样，这些簇可以被视为有意义的研究主题。

首先，以下术语构成了人工智能教育研究最重要的主题——思想政治教育研究（聚类 12）：新型工程技术学科、教育实践、高等职业教育、创新创业教育、个性化教育、信息素养等。新型工程技术学科教育旨在建立“基本素养—教育技能”的培养模式和体系^[23]；信息素养贯穿于人工智能教育的整个教学过程^[24]；个性化教育是人工智能时代的必然趋势，并推动人工智能教育研究从理论走向实践^[25]。通过浏览聚类结果还注意到，在这一领域，包括高等职业教育、创新创业在内的许多研究热点都被纳入到思想政治教育研究主题中^[26-28]。

表 3 人工智能教育研究主题 (Top5)

ID	大小	SC	聚类主题	主要关键词
12	63	0.7504	思想政治教育	思想政治教育, 新工科, 教育实践, 高等职业教育, 创新创业教育, 信息素养, 个性化教育
10	32	0.8362	人工智能教育应用	人工智能教育应用, 智能辅导系统, 人工智能赋能, 伦理道德
9	27	0.8004	智慧教育	智慧教育, AI+教育, 教师教育, 人工智能商数, 智能化
4	25	0.8228	高等教育	高等教育, 成人高等教育, 教育评估改革, 高等教育体系, 人才培养模式
6	24	0.7522	人机协作	人机协作, ChatGPT, 生成式人工智能, 教学模式, 教育转型

其次，智能辅导系统、人工智能赋能、伦理等术

语构建了人工智能教育第二大重要研究主题——人工智能教育应用（聚类 10）。人工智能教育应用的价值归宿是赋能教育主体和教育系统，人工智能赋能实践可以有效发挥“认知内助”和“互动外助”的作用，全面推动学习从认知方式到行动策略演变，不断提高学习和教学能力^[29]。

第三，智慧教育主题（聚类 9），该主题包括：AI+教育、教师教育、人工智能商数和智能化。与聚类 10 相比，该聚类侧重于智慧教育，强调个体与智能机之间的协作能力^[30]。

以下术语构成了人工智能教育的第四大研究主题——高等教育（聚类 4）：成人高等教育、教育评估改革、高等教育体系和人才培养模式。高等教育旨在为各行各业培养人才。随着人工智能的发展，传统的教育模式和教学方法必须适应这种变化，并进行相应的更新和修正。在这个过程中，许多高校都开设了与人工智能相关的专业和课程，例如机器人、机器学习、计算机视觉、自然语言处理等。

最后，人机合作、ChatGPT、生成式人工智能、教学模式和教育转型等术语构建了人工智能教育第五个重要的研究主题——人机协作（Cluster 6）。ChatGPT 是由 OpenAI 开发的聊天机器人^[31]，基于大型语言模型，ChagGPT 使用户能够改进对话并将其引导至所需的风格和范式。生成式人工智能是一种能够使用生成模型生成文本、图像、视频或其他数据类型的人工智能技术^[32]。这两种技术极大地改善了教学模式，并进一步促进了学习和教学策略的转变。

Top 10 Keywords with the Strongest Citation Bursts

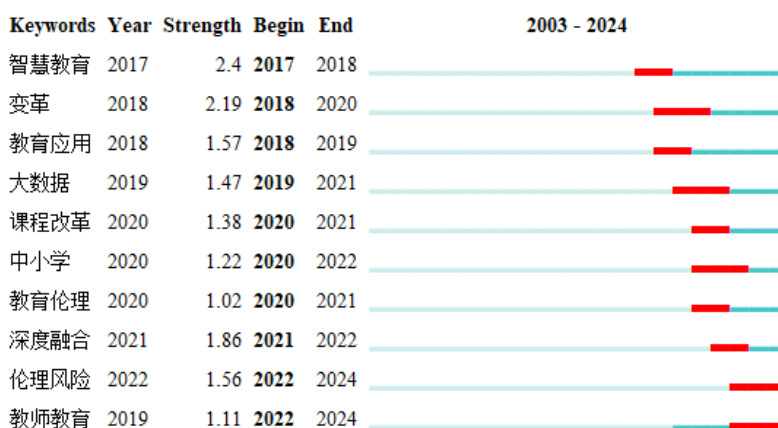


图 4 关键词突现分析 (Top 10)

3.4 人工智能教育发展趋势分析

关键词突现分析揭示了国内人工智能教育的研究热点和趋势。图 4 显示了突现强度最高的前 10 个关键词。整体来看，人工智能教育相关的研究热点可以分

为三个时间段：2017-2019 年、2020-2021 年和 2022-2024 年。选择上述时间点的原因是：2017 年国务院颁布了《新一代人工智能发展规划》；2018 年教育部相继推出了《高等学校人工智能创新行动计划》，这两

个计划鼓励高校利用智能技术加速人才培养模式和教学方法的改革。2020年以来,教育行业的数据不断积累,可用于进一步分析以支持课程改革。此外,许多中小学开始探索基于人工智能技术的教学策略,与人工智能技术的深度融合(ChatGPT、生成式人工智能等),传统课堂元素让学生们更加活跃。

然而,随着人工智能的快速发展,伦理问题也日益受到公众关注,2021年9月,《新一代人工智能伦理标准》发布,旨在将伦理融入人工智能的全生命周期,为从事人工智能相关活动的自然人、法人和其他相关机构提供伦理指导。如图3所示,伦理风险、中小学、教师教育等研究领域自2022年以来成为人工智能教育相关研究的热点。整体来看,这三个时期的文献与当时的政策背景和社会发展高度契合。

4 结束语

人工智能的发展改变了传统的教学模式和学习策略,使人工智能在教育领域的应用变得更加直接,极大拓宽了教育研究的范畴^[33-35]。本文对国内近三十年来人工智能教育研究的发展进行了系统深入的分析,采用统计分析、聚类分析和关键词突现分析对人工智能教育研究的发展进行了具体的阐述。实验结果表明,人工智能教育研究呈现出一些有趣的特征,如智慧教育、伦理规范、思想政治教育、人工智能教育应用等。这一发现也与宋志强的研究一致^[33]。事实上,人工智能教育研究已经成为全球热点问题,许多专注于这一领域的国家为人工智能教育相关的理论和实践做出了积极的贡献^[36]。

聚类分析识别了人工智能教育研究的几个重要主题领域,包括思想政治教育、智能辅导系统、智慧教育、高等教育与人机协作。人工智能的发展在一定程度上改变了传统的教学理论和模式。与传统方式不同,当前人(学生和教师)与机器之间的关系更加复杂,人可以从机器那里学习知识,同时机器也可以学习人类解决问题的方法。教育中人与机器的互动协作,进一步推动了智能辅导系统的设计,这些系统可以被训练得更加智能,并有助于有目的的主动学习过程。最后,随着教育领域人工智能的快速发展,伦理问题受到了日益广泛的关注。因此,伦理规范和思想政治教育贯穿了人工智能教育研究的整个过程。最后,关键词突现分析结果表明,不同时期的研究主题、内容与当时的政策背景和社会发展水平高度一致。

本研究的局限性在于:

(1) 尽管数据库CNKI收录的中文文章最多,但其数据收集范围仍然有限。整合不同数据库的多源数据检索将使本研究更有意义和说服力;

(2) SNMF 识别出的 人工智能教育相关主题

包含一些噪声术语,可能导致一些聚类主题没有明确的主题意义。其中一个可能的原因是某些出版物中的关键词没有实质性内容,如研究、策略等;

(3) 尽管本研究确定了几个重要主题,但对这些主题的更深入的了解仍然缺乏,包括理论基础和演化过程。

未来,我们将重点关注不同国家或地区在人工智能教育相关领域的比较研究;此外,人工智能教育主题随时间的演化分析也是我们的下一步将要开展的工作。

参考文献

- [1] CHEN X, XIE H, HWANG G-J. A multi-perspective study on artificial intelligence in education: Grants, conferences, journals, software tools, institutions, and researchers [J]. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 2020, 1: 100005.
- [2] POPENICI S A, KERR S. Exploring the impact of artificial intelligence on teaching and learning in higher education [J]. *Research and practice in technology enhanced learning*, 2017, 12(1): 22.
- [3] LUCKIN R, HOLMES W. Intelligence unleashed: An argument for AI in education [J]. 2016.
- [4] GUILHERME A. AI and education: the importance of teacher and student relations [J]. *AI & society*, 2019, 34: 47-54.
- [5] HAN J, ZHAO W, JIANG Q, et al. Intelligent tutoring system trends 2006-2018: A literature review; proceedings of the 2019 eighth international conference on educational innovation through technology (EITT), F, 2019 [C]. IEEE.
- [6] DALPÉ R. Bibliometric analysis of biotechnology [J]. *Scientometrics*, 2002, 55(2): 189-213.
- [7] SHIFFRIN R M, BÖRNER K. Mapping knowledge domains [Z]. *National Acad Sciences*. 2004: 5183-5185
- [8] GUO R, HU Y, FAN L, et al. Mapping knowledge domain of counseling and psychotherapy researches in China [J]. *Chinese Mental Health Journal*, 2015: 510-515.
- [9] LI M, CHENG Y. Bibliometric analysis of researches of Orem self-care model in China based on BICOMB [J]. *TMR Integrative Nursing*, 2021, 5(1).
- [10] CHEN C. CiteSpace II: Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature [J]. *Journal of the American Society for information Science and Technology*, 2006, 57(3): 359-377.
- [11] CHEN C. CiteSpace: a practical guide for mapping scientific literature [M]. Nova Science Publishers Hauppauge, NY, USA, 2016.
- [12] CHEN C, HU Z, LIU S, et al. Emerging trends in regenerative medicine: a scientometric analysis in CiteSpace [J]. *Expert opinion on biological therapy*, 2012, 12(5): 593-608.
- [13] BASTIAN M, HEYMANN S, JACOMY M. Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks; proceedings of the Proceedings of the international AAAI conference on web and social media, F, 2009 [C].

- [14] RAO W, DONG Y, LU F, et al. Log-likelihood ratio algorithm for rate compatible modulation; proceedings of the 2013 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), F, 2013 [C]. IEEE.
- [15] KLEINBERG J. Bursty and hierarchical structure in streams; proceedings of the Proceedings of the eighth ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining, F, 2002 [C].
- [16] ROMESBURG C. Cluster analysis for researchers [M]. Lulu. com, 2004.
- [17] KALGOTRA P, SHARDA R, LUSE A. Which similarity measure to use in network analysis: Impact of sample size on phi correlation coefficient and Ochiai index [J]. International Journal of Information Management, 2020, 55: 102229.
- [18] KUANG D, DING C, PARK H. Symmetric nonnegative matrix factorization for graph clustering; proceedings of the Proceedings of the 2012 SIAM international conference on data mining, F, 2012 [C]. SIAM.
- [19] MA Y, ZHAO J, MA Y. MHSNMF: multi-view hessian regularization based symmetric nonnegative matrix factorization for microbiome data analysis [J]. BMC bioinformatics, 2020, 21: 1-18.
- [20] TRAAG V A. Faster unfolding of communities: Speeding up the Louvain algorithm [J]. Physical Review E, 2015, 92(3): 032801.
- [21] KONTOSTATHIS A, POTTENGER W M. A framework for understanding Latent Semantic Indexing (LSI) performance [J]. Information Processing & Management, 2006, 42(1): 56-73.
- [22] CHERVEN K. Mastering Gephi network visualization [M]. Packt Publishing Ltd, 2015.
- [23] 张波, 方祖华, 叶宏. 新工科人工智能教育型人才培养模式研究——以上海师范大学“人工智能+教育”人才培养模式为例 [J]. 现代教育技术, 2019, 29(08): 113-119.
- [24] 张剑平. 关于人工智能教育的思考 [J]. 电化教育研究, 2003, (01): 24-28.
- [25] 吴晓如, 王政. 人工智能教育应用的发展趋势与实践案例 [J]. 现代教育技术, 2018, 28(02): 5-11.
- [26] 蒲清平, 何丽玲. 人工智能时代思想政治教育的嬗变与应对 [J]. 思想教育研究, 2024, (03): 29-35.
- [27] 李瑶曦, 徐兰格. 人工智能技术赋能高校思想政治教育研究 [J]. 学校党建与思想教育, 2024, (06): 69-72.
- [28] 李亚东, 阎国华. 人工智能赋能高校思想政治教育的内在逻辑与路径设计 [J]. 江苏高教, 2024, (02): 84-88.
- [29] 权国龙, 顾小清, 汪静. 人工智能教育应用的视觉交互“赋能”效应研究 [J]. 开放教育研究, 2021, 27(04): 111-120.
- [30] 赵燕, 宛平, 尹以晴等. AI时代人工智能商数(AIQ)的内涵、能力框架与提升之策——基于高校“人工智能+教育”的认知调查分析 [J]. 远程教育杂志, 2020, 38(04): 48-55.
- [31] LOCK S. What is AI chatbot phenomenon ChatGPT and could it replace humans [J]. The Guardian, 2022, 5.
- [32] PINAYA W H, GRAHAM M S, KERFOOT E, et al. Generative ai for medical imaging: extending the monai framework [J]. arXiv preprint arXiv:230715208, 2023.
- [33] SONG P, WANG X. A bibliometric analysis of worldwide educational artificial intelligence research development in recent twenty years [J]. Asia Pacific Education Review, 2020, 21(3): 473-486.
- [34] ROLL I, WYLIE R. Evolution and revolution in artificial intelligence in education [J]. International Journal of Artificial Intelligence in Education, 2016, 26: 582-599.
- [35] LIU K, HU X, WANG P. Do machines need education? A review on the education of general artificial intelligence and educational innovation [J]. Open Education Research, 2018, 24(1): 11-14.
- [36] SAPCI A H, SAPCI H A. Artificial intelligence education and tools for medical and health informatics students: systematic review [J]. JMIR Medical Education, 2020, 6(1): e19285.