

人工智能技术的学科多样性及其与生物医药领域的融合发展

蔡永莲¹, 彭颢舒²

(1. 上海理工大学 校长办公室, 上海 200093; 2. 中国科学院 上海高等研究院, 上海 201210)

摘要: 人工智能的学科多样性及其融合发展趋势, 对认识学科数字化智能化发展特征、发现学科交叉融合发展的规律并指导相关学科领域更广泛地数字产业化应用有着重要的价值和指导意义。利用 Loet Leydesdorff 等提出的学科多样化测评指标体系对人工智能技术的学科融合发展态势进行测度, 并进一步分析了人工智能与生物医药领域的融合。发现: 人工智能技术与 Web of Science 数据库中其他学科领域的交叉融合在近 10 年随时间加速扩展; 而且在 254 个 WOS 的学科分类当中, 有 106 个学科分类与人工智能领域有交叉, 其中有近 1/3 的学科方向与生物医药相关。通过进一步分析和专家访谈发现, 人工智能与生物医药领域的融合发展推动了数据分析预测、药物研发与个性化医疗、医学影像分析、基因组学和蛋白质组学研究以及健康管理和预防等领域的发展。

关键词: WOS 分类; 人工智能; 生物医药; 学科融合; 学科多样性

中图分类号: TP 391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-895X(2023)03-0330-07

DOI: 10.13256/j.cnki.jusst.sse.230410166

The Disciplinary Diversity of Artificial Intelligence and Its Convergence with Biomedicine

CAI Yonglian¹, PENG Haoshu²

(1. University of Shanghai for Science and Technology Office of Principal, Shanghai 200093, China; 2. CASICCB Shanghai Advance Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201210, China)

Abstract: Disciplinary diversity and convergent development trends of artificial intelligence is significant for understanding the characteristics of digitalization and automation development, discovering the laws of interdisciplinary integration and guiding the broader applications in digital industrial fields. This paper chooses the evaluation index system proposed by Loet Leydesdorff et al. to measure the trend of disciplinary convergence in artificial intelligence technology, and further analyze its convergence with biomedicine. The results show that cross-disciplinary integration between artificial intelligence technology and other disciplines in the Web of Science database has been expanding rapidly over the past decade, and among the 254 subject categories in the WOS, 106 subject categories have integration with artificial intelligence, of which nearly one-third are related to biomedicine. Further analysis of expert interviews indicates that the convergent development of artificial intelligence and biomedicine has promoted the such area development as data analysis and prediction, drug discovery and personalized medicine, medical

image analysis, genomics and proteomics research, and health management and prevention. Moreover, China's institutions conducting interdisciplinary research on artificial intelligence and biomedicine are at the forefront in terms of scale.

Keywords: WOS Categories; artificial intelligence; biomedicine; disciplinary integration; disciplinary diversity

第四次工业革命在中国兴起,从信息化到数字化、在线化,发展到智能化、智慧化^[1]。“数智化”已经成为这个时代的重要特征,而数智化技术中最具有代表性的便是人工智能技术。人工智能是研究开发能够模拟、延伸和扩展人类智能的理论、方法、技术及应用系统的一门新的技术科学^[2],从21世纪初以来经历了前所未有的发展,特别是2010年之后出现了井喷式发展。

近年来,一些针对人工智能技术多样性的研究为掌握人工智能技术发展的规律、特点、应用和趋势提供了有益的参考。有研究探讨了人工智能学科的多样性,包括跨学科合作、科学团队的演化、学术出版商的影响等方面^[3-4];也有研究从不同角度探讨人工智能学科多样性必要性的观点,包括学科交叉对话的重要性、人工智能政策和伦理等方面的讨论^[5-6];还有研究对人工智能研究学科多样性研究的方向进行探讨,指出人工智能应与其他学科相互促进的同时需要不断发展新的评估方法^[7]。

人工智能在全球范围内呈现出多学科交叉融合发展的趋势,众多研究都表明人工智能已经广泛融入到包括工程学、会计学、金融学、医学、农学、图书馆学乃至音乐等在内的诸多领域。研究人工智能的学科多样性及其与其他领域融合发展的特征具有重要的意义。本文对WOS数据库中人工智能领域2011—2020年的文献及其学科分类进行文献计量分析,利用VOSviewer分析软件以及Loet Leydesdorff等提出的学科多样化测评指标体系对人工智能技术的学科多样性进行评估,并重点分析人工智能与生物医药领域的融合态势。

一、研究方法

Andy Stirling在其研究中将学科多样性的3个关键属性定义为丰富性(学科的数量)、均衡性(各学科分布均匀性)、离散性(学科之间差异程度)^[8]。Loet Leydesdorff等则用多样性、中心度和引文等来测度期刊的跨学科交叉度,并在2019年提出了使

用包括Rao-Stirling多样性、相对学科数目和基尼系数来测度学科丰富度、均匀度和差异度的三维指标^[9]。科睿唯安在其《全球研究报告——研究布局中的学科多样性:是什么、如何量度及其在创新中的作用》中,用基尼系数揭示了各国学科多样性在创新研究中的作用,并指出学科多样性能够提供重要的创新优势^[10]。黄颖等也针对各类测度跨学科特征的指标体系进行了梳理,并提出了外部知识融合、内在知识会聚与科学合作模式的跨学科三维测度体系^[11]。这些工作为人工智能领域的学科融合研究提供了有益的方法。

(一) 研究思路

为了更加深入、全面地洞察全球范围内人工智能的学科多样性及其与生物医药领域的融合,参考上述研究方法,本文分以下三大板块进行分析。

第一部分,用Web of Science学科分类(以下简称WOS分类)中的Computer Science, Artificial Intelligence检索出2011—2020年与人工智能相关的文献数据,通过WOS自带的分析功能提取出每一年度相应文献所涉及的WC分类号。

第二部分,利用Loet Leydesdorff提出的学科多样性指标体系对人工智能领域2011—2019年相关文献的WC分类进行评估。该方法使用了Loet Leydesdorff提出的wc19.exe工具,它是基于全局学科距离的学科多样性指标计算工具,将该工具计算出的结果在VOSviewer中进行可视化呈现,以获得人工智能与生物医药领域融合的网络图谱。

第三部分,通过VOSviewer中人工智能相关文献的WC分类聚类,进一步挖掘人工智能与生物医药领域的关系,利用Derwent Data Analyzer进一步对人工智能生物医药相关领域的研究方向等进行分析。

(二) 数据来源及分析工具

人工智能的核心学科是计算机科学,为最大限度地避免遗漏,本文在Web of Science(classic)核心

合集数据库中用高级检索对 WC 分类^①下的人工智能领域 (WC=computer science & artificial intelligence) 数据进行检索。由于 WC 分类与期刊之间是多对多的关系, 为研究学科融合提供了可能。将时间跨度设置为 2011—2020 年, 然后对检索的文献类型选择了 Proceedings Paper, Article, Editorial Material, Review, Early Access 进行精炼, 排除了

其余数量极低的文献类型, 共计得到 513 601 篇文献索引。

依据 Loet Leydesdorff 的学科多样性测度指标体系, 对人工智能领域发展的学科多样性进行分析, 并利用 VOSviewer 对数据所覆盖的学科分类进行分析。Loet Leydesdorff 用于评估学科交叉融合度的测度体系见表 1。

表 1 Loet Leydesdorff 提出的学科交叉度测度指标
Tab. 1 Indicators for measuring cross-disciplinary degree proposed by Loet Leydesdorff

指标	相关含义
RAO指标	常被用以测度跨科学研究的“知识融合度”, 数值越大表示基于参考文献的跨学科知识融合程度越高
TRUE指标	是测度“学科交叉度”的指标, 数值越大, 表示基于参考文献的跨学科知识融合程度越高
DIV指标	用于测度学科丰富度的指标, 衡量研究中引用的参考文献所涉及的不同学科数目, 数值越大, 表示学科丰富度越高
DIV_STAR指标	用于测度学科丰富度的指标, 是DIV指标的标准化版本, 可以更好地比较不同研究之间的学科丰富度
GINI基尼系数	用于衡量不同学科分布的均匀程度, 通常使用1减去基尼系数来表示学科的均匀度, 数值越接近1表示学科分布越均匀
SIMPSON指标	综合学科丰富度和均匀度的二维测度指标, 衡量引用文献中所涉及的不同学科数目和学科之间的均匀程度
SHANNON熵指标	
VARIETY相对学科数目	研究主体涉及的学科数目占总学科数目的比例(相对丰富度)它基于信息熵的概念, 衡量研究中引用文献所涉及的学科的多样性和均匀度
DISP平均学科距离	不同学科之间的距离, 即学科之间的差异度
NTOT完整学科数目	研究所基于的全局学科数, 用于衡量研究涉及的学科的完整范围
NSUB学科数目	研究涉及的不同学科数目, 用于衡量研究的学科丰富度

二、人工智能的 WOS 学科多样性分析

WC 是对 WOS 核心合集集中的记录来源出版物(期刊、书籍等)所进行的学科分类, 同时一条记录可以分配给多个类别。本文对所筛选数据的 107 个 WC 分类进行分析。

(一) 人工智能文献的 WC 分类及其发展态势

1. 人工智能学科 2011—2020 年出版文献的 WC 分类分布

通过 WOS 自带的引文分析功能可以看到, 在 WC 分类下的 254 个学科中, 人工智能与其他 106 个 WC 学科形成了交叉融合, 包括工程学科、医学学科、自然科学、社会科学和交叉学科, 说明整体上人工智能已经较为广泛地向其他学科渗透。学科融合最紧密的前十位学科包括电子电气工程、计算机科学理论方法、计算机科学信息系统、计算机科

学多学科应用、自动化控制系统、机器人、计算机软件工程、计算机科学控制论、成像科学摄影技术以及运筹学管理科学。此外, 人工智能融合度最高的学科主要分布在工程学和生物医药领域。

2. 人工智能文献的 WC 分类发展趋势变化分析

(1) 人工智能领域文献所覆盖的 WC 分类随时间变化趋势

将人工智能领域 2011—2020 年文献数据的 WC 分类数量按照年度进行统计, 结果见图 1。由图 1 可以看出, 人工智能领域文献的 WC 分类数量随着年度变化整体呈现上升的趋势。在 2011—2015 年

^① WC 是 Web of Science Category 学科分类的缩写, Web of Science 学科分类(以下简称 WOS 学科分类)涵盖 254 个学科, 同样是按期刊进行划分。WOS 学科分类和期刊是多对多的关系, 一本期刊可以同时属于多个 WOS 学科分类, 一个 WOS 学科分类对应若干种期刊。

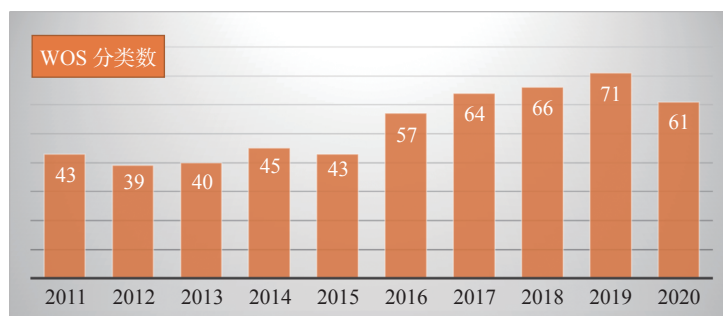


图1 人工智能领域文献所覆盖的WOS学科分类随时间变化趋势

Fig. 1 The trend of WOS literature on AI in the last decade

期间, WC 分类数量基本在 40 左右徘徊, 此时的人工智能与不同学科的融合态势较为平稳; 而在 2016—2019 年期间, 数量连续增加, 说明与人工智能交叉融合的学科呈现扩散的态势, 学科融合整体上是不断扩大和深化的。

(2) 人工智能领域文献所覆盖的 WOS 学科分类与其他学科融合的扩散趋势

对人工智能领域 2011—2020 年间的文献就每年新增的 WC 分类进行总结, 结果如表 2 所示。

通过对 2011—2020 年间人工智能领域文献的 WC 分类变化分析, 可以发现人工智能与其他学科的融合在初期主要发生在工程学、自然科学领域; 2011—2015 年间的学科融合发展比较平稳, 主要向社会科学、生命科学、医学等领域扩散; 2016—2020 年间, 人工智能领域发展进入新的高峰, 文献覆盖的 WC 分类大幅增长, 并且重点向生物医药、热门自然科学领域融合, 同时在社会科学、艺术学领域的学科融合呈现加速趋势。

表 2 2011—2020 年间新增的人工智能融合 WC 分类

Tab. 2 Newly added AI fusion WC categories from during 2011-2020

年份	2011	2012	2013	2014	2015
分类	Multidisciplinary Sciences, Biology, Medicine Research & Experimental, Law, Physics Applied	Nanoscience Nanotechnology, Business	Mining Mineral Processing, Law, Philosophy, Health Care Sciences Services	Energy Fuels, Ergonomics, Biochemical Research Methods	Philosophy, Construction & Building Technology, Biochemical Research Methods, Neuroimaging
年份	2016	2017	2018	2019	2020
分类	Green Sustainable Science Technology, History Philosophy of Science, Music, Transportation, Geosciences Multidisciplinary, Engineering Aerospace, Communication, Sociology	Medicine General Internal, Ethics, Mineralogy, Education Special	Rehabilitation, Industrial Relations Labor, Art, Behavioral Sciences, Gerontology, Surgery, Regional Urban Planning, Education Scientific Disciplines, Sport Sciences	Nuclear Physics, Physics Particles Fields, Microscopy, Medical Laboratory Technology, Quantum Science Technology, Economics, Agriculture Multidisciplinary, Oncology	Nanoscience Nanotechnology, Architecture, Cardiac Cardiovascular Systems

(二) 人工智能学科分类的学科多样性评估

1. 学科丰富度、均匀度和差异度三维指标评估

为了考察人工智能领域的学科多样性, 更好地观察和分析这些学科分类与人工智能的关系, 本文采用 Loet Leydesdorff 开发的学科多样性测度工具 WC19.exe, 在剔除 Computer Science, Artificial Intelligence 这个分类后, 对人工智能领域 2011 年—

2019 年^②文献的 WOS 分类进行分析, 并用 VOS-viewer 对上述与人工智能相关的学科分类进行可视化处理, 获得相关学科分类之间的网络图谱, 利用上述数据, 根据 Loet Leydesdorff 的学科多样性指

^②由于 WC19.exe 所测度的学科多样性指标是基于 JCR 2019 全部期刊数据计算得出的“全局”学科距离矩阵所得来的, 因此我们用于衡量人工智能学科多样性的数据选择 2011—2019 年之间的数据。

标,得到的计算结果如表3所示。

从表3数据可以看出,与人工智能领域交叉融合的其他学科分布广泛,但均匀度较低,在工程、医学等领域的交叉程度高,在社会科学等领域的交叉呈星星之火的态势。这也印证了前述学科分类总体覆盖和分部情况的统计结果,相融合的学科之间差异度相对较高。

表3 2011—2019年间人工智能领域文献的学科多样性指标
Tab.3 Measurement indicators for disciplinary diversity of AI literature during 2011-2019

指标	计算结果
RAO指标	0.488 418
TRUE指标	1.954 721
DIV指标	0.022 316
DIV_STAR指标	5.110 000
GINI基尼系数	0.942 844
SIMPSON指标	0.894 957
SHANNON熵指标	4.019 342
VARIETY相对学科数目	0.441 048
DISP平均学科距离	0.885 254
NTOT完整学科数目	229.000 000
NSUB学科数目	101.000 000

2. 基于文献的人工智能与 WC 分类融合聚类

将上述数据导入 VOSviewer,我们还可以得出与人工智能相关的学科分类形成了四个聚类:一是在工程、化学、材料、物理学、数学和计算机交叉学科等自然科学领域;二是生物医药类的相关学科和跨学科研究领域;三是聚类涵盖了经济、商业、历史、人口、社会科学、心理学、城市规划、发展学等人文社科类学科;四是涵盖了音乐、动物学、植物学、海洋、土壤等跟人工智能的学科距离更远的分类。

生物医药领域是与人工智能融合发展的重要领域,也是对人类社会影响深远的领域,研究人工智能与生物医药领域融合发展趋势有利于推动医疗模式创新,提升医疗质量和安全性,加速新药研发和药物筛选,以及实现智能健康管理和预防。因此,本文将对人工智能与生物医药领域的学科融合发展进行进一步的分析。

三、人工智能与生物医药领域的学科融合及其应用

(一) 人工智能技术与生物医药的学科融合发展态势

进一步聚焦到生物医药聚类,分析人工智能技术与生物医药领域学科交叉的发展情况,可以发现以下发展态势。

(1) 人工智能技术与生物医药领域的融合涉及面广泛。2010年以来,人工智能在生物医药领域的融合发展越来越突出,并推动了精准医学的发展。通过整合多种数据源,包括基因组数据、临床数据、生活习惯数据等,人工智能可以提供更加个性化和精准的医疗方案。此外,人工智能在药物研发、医学影像解读和基因编辑等方面也取得了重大进展。

(2) 人工智能技术与生物医药领域的交叉融合节点不断增加,说明相关的学科分类及在这些分类下的成果(文献)在不断增加,且2016年后融合的速度在加快。

(3) 人工智能技术与生物医药学科的融合从工程生物医学、计算生物学、生物学、放射医学、神经科学、医学信息学等生物医药领域生命周期偏早期的研究学科逐步扩展到神经影像、健康医学服务、手术、运动医学、行为科学、康复科学、肿瘤医学、医学实验室技术等应用领域。即人工智能为生物医药相关学科的智能化发展,从基础研究到应用开发提供了强大的方法和工具,推动着生物医药领域的变革。

(二) 人工智能技术与生物医药学科融合的文献计量分析

将前述2011—2020年间人工智能领域的文献数据导入 Derwent Data Analyzer 进行分析可以发现,统计“研究方向^③”字段中的“生命科学与生物医学”领域相关文献,发现属于该方向的文献涉及的研究方向分类包括21个,占到了整体数据所涉及的总体66个研究分类的近30%,足见人工智能与生物医药领域已经产生了深度的交叉融合。从中还

^③ 研究方向是 Web of Science 下的所有数据库都使用的一套分类方法,可以对多个数据库中关于同一个主题的文献进行识别、检索和分析。

可以看出,在生命科学与生物医学分类下,农业、行为科学、肿瘤学、医学信息学、医学实验室技术、数学和计算生物学、神经科学和神经病学、公共事业、环境和职业健康、放射学、核医学和医学成像、康复、研究和试验医学、生物化学与分子生物学、生物物理学、生物医学和应用微生物学、心血管系统和心脏病学、老年病学和老年医学、卫生保健科学和服务、整形外科以及运动科学等学科,都应用到了人工智能的技术,并且相互之间也存在交叉融合。

在人工智能和生物医药交叉的研究领域中各生物医药相关学科发文的多寡如图2所示。其中神经科学、放射学、核医学和医学成像、数学与计算生

物学以及医学信息学等领域的研究活动积累最多。神经科学与人工智能的交叉研究非常活跃。这涉及到将人工智能技术应用于神经系统的研究,例如脑机接口、神经网络模型等。其次,人工智能在医学图像分析、疾病诊断和影像重建等方面发挥着关键作用;数学和计算生物学与人工智能交叉的研究主要包括利用数学模型和计算方法来研究生物系统、模拟分子交互以及分析大规模生物数据等,医学信息学与人工智能的结合有助于数据管理、临床决策支持和健康信息系统等方面的研究。此外,肿瘤、农业、运动科学、生物物理等领域的人工智能交叉研究刚刚起步。



图2 2011—2020年人工智能—生物医药交叉领域研究方向云图

Fig. 2 Word cloud of AI-pharmaceutical cross-disciplinary research directions during 2011-2020

为更好地理解人工智能技术对上述领域的发展有哪些促进和创新,本文基于上述分析结果,通过专家访谈,总结出人工智能促进生物医药领域发展的以下五个重大方向。

(1) 数据分析与预测:人工智能可以处理和分析大规模的生物医学数据,如基因组数据、生物标记物数据和医学影像数据,从中挖掘出有价值的信息,用于疾病预测、诊断和治疗的决策支持。相关技术包括机器学习、深度学习、数据挖掘等。

(2) 药物研发与个性化医疗:人工智能可以加速药物研发过程,通过虚拟筛选、药物设计和优化等技术,提高新药研发的效率和成功率。同时,结合个体化的基因组信息和临床数据,可以为患者提供个性化的医疗方案和治疗策略。

(3) 医学影像分析:人工智能可以自动识别和分析医学影像数据,如CT扫描、MRI等,用于疾病的早期检测和诊断。深度学习和计算机视觉等技术在医学影像分析中得到广泛应用。

(4) 基因组学和蛋白质组学研究:人工智能可以处理大规模的基因组学和蛋白质组学数据,如基因表达数据、基因变异数据和蛋白质相互作用网

络等,帮助揭示基因与疾病之间的关联,探索新的治疗靶点和生物标记物。

(5) 健康管理和预防:人工智能技术在生命科学与生物医学领域的应用可以帮助实现智能健康管理和预防。通过传感器技术和大数据分析,可以实时监测个体的健康状态,并提供个性化的健康管理和预防方案。这涉及到不同学科的专家,如行为科学、公共卫生等,共同利用人工智能技术来改善人们的生活方式和预防疾病的发生。

四、结语

本文采用Loet Leydesdorff的学科多样性测度指标体系,通过分析不同学科的综合丰富度、均匀度和差异度,利用Web of Science的数据,测度了人工智能的学科多样性以及与其他学科融合发展的趋势特点,并结合专家意见以及VOSviewer等工具重点分析了人工智能技术与生物医药领域的融合发展现状。

从本文的研究结果所看到的人工智能与生物医药领域融合发展的趋势和特征,与专家访谈及相关

文献中提及的二者的发展趋势特征整体吻合,说明了Loet Leydesdorff的学科多样性测度指标体系的有效性和可行性。

此外,本研究为理解人工智能技术的学科融合,特别是与生物医药相关领域的融合发展提供了一个新的视角。在数据的选择、评估方法的综合使用等方面,未来的研究会考虑纳入会议论文和专利等数据,基于本研究的结果进一步探索如何最大程度地发挥人工智能在生物医药领域的潜力。

参考文献:

- [1] 肖利华. 新零售的未来 如何用数智驱动新增长[J]. 数字经济, 2021 (3): 48-51.
- [2] 赵楠, 谭惠文. 人工智能技术的发展及应用分析[J]. 中国电子科学研究院学报, 2021, 16 (7): 737-740.
- [3] CARLEY K M, PORTER A L, RAFOLS I. The role of translational research in artificial intelligence: a scientometric analysis[J]. *Journal of Translational Medicine*, 2017, 15 (1): 42.
- [4] BÖRNER K, SCHARNHORST A, DIESNER J. Artificial intelligence for global science of science[J]. *Scientometrics*, 2018, 114 (2): 867-874.
- [5] BÖRNER K, SCHARNHORST A, CHALUPSKY H. Data science, machine learning, and artificial intelligence: a call for a broader dialogue[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2019, 116 (20): 9757-9759.
- [6] CALO R. Artificial intelligence policy: A primer and roadmap[J]. *SSRN Electronic Journal*, 2017, 51(2): 409-410.
- [7] KUSTERS R, MISEVIC D, BERRY H, et al. Interdisciplinary research in artificial intelligence: challenges and opportunities[J]. *Frontiers in Big Data*, 2020, 3: 577974.
- [8] Andy Striling. Multicriteria diversity analysis: A novel heuristic framework for appraising energy portfolios[J]. *Energy Policy*, 2010, 38 (4): 1622-1634.
- [9] LEYDESDORFF L, WAGNER C S, BORNMAN L. Interdisciplinarity as diversity in citation patterns among journals: Rao-Stirling diversity, relative variety, and the Gini coefficient[J]. *Journal of Informetrics*, 2019, 13 (1): 255-269.
- [10] 张雪, 张志强. 科睿唯安《全球研究报告》揭示学科多样性在创新研究中的作用[EB/OL]. (2021-10-05) [2023-02-06]. <https://mp.weixin.qq.com/s/HmlsF9XRGKP0HxM333hDJw>.
- [11] 黄颖, 张琳, 孙蓓蓓, 等. 跨学科的三维测度——外部知识融合、内在知识会聚与科学合作模式[J]. *科学学研究*, 2019, 37 (1): 25-35.

(编辑: 程爱婕)