



国外近十年深度学习的研究现状与发展趋势^{*}

——基于引文分析及共词矩阵的知识图谱分析

张思琦 张文兰 李 宝

(陕西师范大学 教育学院, 陕西西安 710062)

[摘 要] 随着学习科学领域的兴起, 深度学习逐渐成为教育领域的核心研究主题。运用基于引文分析与共词聚类分析的方法, 以 Web of Science 数据库 2005—2015 年收录的 459 篇文献为研究对象, 通过可视化知识图谱, 探析近十年来国外深度学习领域的研究现状与研究热点, 并进一步结合国内研究现状提出几点启示, 以期对同类研究提供有益的借鉴。

[关键词] 深度学习; 引文分析; 共词聚类分析; 知识图谱; 研究热点

[中图分类号] G420 [文献标识码] A [文章编号] 1672—0008(2016)02—0064—09

DOI:10.15881/j.cnki.cn33-1304/g4.2016.02.009

一、引言

信息技术的发展, 不仅改变了人类的生产方式、思维方式与学习方式, 也加快了人类迈入学习型社会的脚步。随着在技术支持下的新型学习方式盛行, 人们越发关注丰富的技术与资源能否显著提升学习效果, 学习者能否整合信息建构知识意义并灵活地加以运用, 最终解决实际问题。随着学习科学领域的发展, 深度学习逐渐成为这一时代背景下一项重要而有效的学习理念, 引起研究群体与学习者的广泛关注。

新媒体联盟《地平线报告》(2015 基础教育版) 中也指出, 开展深度学习策略对课堂教学的影响日益深远, 这是驱动学校应用教育技术的重要趋势^[1]。深度学习(Deep learning)也被译为深层学习, 美国学者 Ference Marton 和 Roger Saljc, 在 1976 年发表的《学习的本质区别: 结果和过程》中首次提出这一概念^[2]。我国学者黎加厚认为, 深度学习是指在理解学习的基础上, 学习者能够批判性地学习新的思想和事实, 并将它们融入原有的认知结构中, 能够在众多思想间进行联系, 并能够将已有的知识迁移到新的情境中, 做出决策和解决问题的学习^[3]。

本文基于引文分析与共词聚类分析的方法, 对国外深度学习研究的时空分布、核心著者以及核心

期刊进行分析, 并以可视化的方式进一步梳理深度学习研究领域的主题和热点, 从而把握国外深度学习的研究现状与发展趋势, 为国内同类研究提供参考。

二、研究方法与分析过程

(一) 研究数据来源

本研究数据来源于 WOS(Web of Science) 数据库的子库: Web of ScienceTM 核心合集。Web of ScienceTM 核心合集经过严格的遴选, 收录了 10,000 多种世界权威的、高影响力的学术期刊和超过 11 万个国际会议的学术期刊。检索项: 主题, 检索词: Deep Learning, 检索的时间为 2005—2015 年, 共下载 482 条记录, 删除与本研究主题无关、重复的记录, 最后一共得到 459 条有效记录。每一条记录主要包括作者(Author)、题目(Title)、摘要(Abstract)和文献(Descriptors and Identifiers)的引文等全记录。

(二) 研究方法工具

引文分析是指利用各种数学及统计学的方法, 以及比较、归纳、抽象、概括等逻辑学方法对科学期刊、论文、专著等研究对象的引用和被引用现象进行分析研究, 以便揭示其数量分布特征和内在关联规律的一种文献计量研究方法^[4]。本文在进行引文分析

* 基金项目: 本文系全国教育科学“十二五”规划教育部重点课题“面向学习创新的电子书包中小学教学应用研究”(项目编号: DCA120183)的研究成果。

时采用的是 HistCite 软件, HistCite 是美国著名信息学家、被誉为“SCI 之父”的尤金·加菲尔德(Eugene Garfield)以及他的同事们共同开发的一套引文编年可视化分析软件^[5]。通过对 Web of Science 数据库中 Deep Learning 相关文献进行引文分析, 统计得到 2005–2015 十年间 Deep Learning 相关文献在时空分布、核心著者、核心期刊及核心文章的相关信息, 从而全面了解国外深度学习的研究现状。

共词聚类分析是共词分析中常用的一种方法, 在共词分析的基础上, 以共词出现的频率为分析对象, 利用聚类的统计学方法, 把众多分析对象之间错综复杂的共词网状关系简化为数目相对较少的若干类群之间的关系, 并直观地表示出来的聚类过程^[6]。在共词分析时, 本文采用的工具为文献题录信息统计分析工具 SATI3.2、Excel 及 SPSS20.0。文献题录信息统计分析工具 (Statistical Analysis Toolkit for Informetrics, SATI) 是由刘启元开发, 旨在通过对期刊全文数据库题录信息的处理, 利用一般计量分析、共现分析、聚类分析、多维尺度分析、社会网络分析等数据分析方法, 挖掘和呈现可视化数据结果的一款期刊文献数据统计与分析工具^[7]。首先利用 SATI 的词频分析功能抽取全部文献关键词的频次, 并进一步提取共词矩阵, 再利用 SPSS20.0 对共词矩阵进行多维尺度聚类分析, 从而形成深度学习领域的知识图谱。

(三) 研究过程

本文主要使用 HistCite 工具进行引文分析, SATI3.2、Excel 及 SPSS20.0 软件进行共词聚类分析, 研究过程共分为数据收集、引文分析与共词聚类分析三个部分, 具体如图 1 所示。

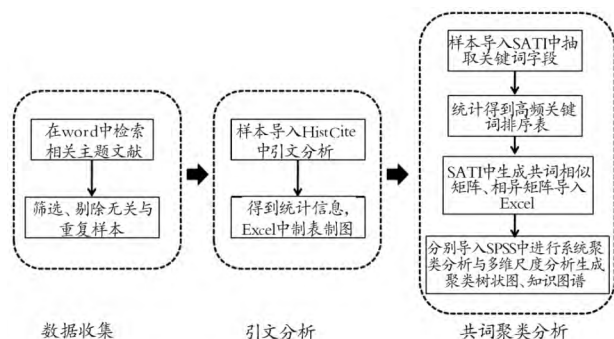


图1 引文分析与共词分析研究过程图

三、研究结果与分析

(一) 深度学习研究领域文献的时空分布

1. 时间分布

从图2中可以发现, 从2005–2015共10年间,

国际上关于深度学习的研究数量整体呈上升趋势。2007年之前, 国外深度学习的研究相对较少, 2007–2010年研究数量相较之前有了小幅增长, 但逐年增幅并不明显, 说明, 此时国际上对深度学习研究的关注度仍然不高, 研究进展缓慢。2010年, 索耶(R.K. Sawyer)在《剑桥学习科学手册》一书中对学习科学给出了较权威的界定^[8]。我国学者焦建利指出, 学习科学领域旨在探讨深度学习是如何发生的, 并以此指导如何设计深度学习, 最终培养学生深度概念理解所必备的技能^[9]。随着国际上学习科学领域研究的不断兴起, 也在一定程度上推动了深度学习研究的发展。从图2可以发现, 2011年, 深度学习的研究开始呈现大幅度增长, 说明深度学习研究受到广泛关注, 研究成果逐年丰富。2015年只统计了前8个月, 文章数量已经达到102篇之多, 由此可见, 国际上关于深度学习的研究仍不断深入, 热度不减。

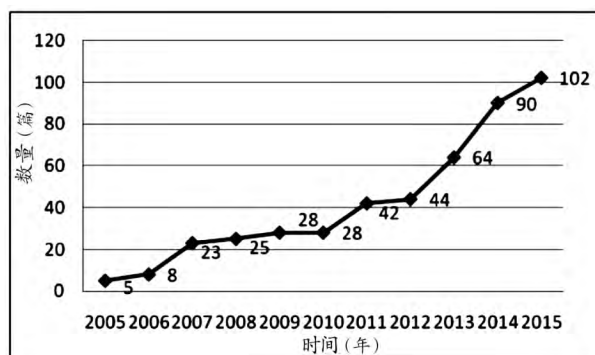


图2 时间分布图

2. 国家(地区)分布

通过对文献的国家(地区)进行统计分析, 可以了解不同国家对该研究领域的关注度与贡献度。如图3显示, 研究文献总量排名前五的国家分别为: 美国、中国、澳大利亚、英国、加拿大。除了数量(Recs)上的比较, 在 HistCite 引文分析中, 文献在当前所收集的文献集中, 被引用的次数之和 TLCS (Total Local Citation Score) 往往更能反映文献在研究领域的影响力。

从图3可以看出, TLCS 排名前五的国家为加拿大、美国、中国、澳大利亚与新加坡。其中, 加拿大、美国、中国与澳大利亚无论在发文数量还是 TLCS 排名中都位于前五, 不仅数量多, 且研究成果具有较高的影响力。而新加坡虽然研究文献的数量不多, 但其 TLCS 排名靠前, 说明新加坡对深度学习也有较深入的研究。从统计结果也可以看出, 我国深度学习研究从文献数量与 TLCS 排名上看都处于靠前的位置,

说明深度学习相关领域研究在国内受到广泛关注,也涌现出高质量的研究成果。

#	Country	Recs	TLCS	TGCS	#	Country	Recs	TLCS	TGCS
1	USA	108	66	802	1	Canada	38	67	417
2	Peoples R China	90	29	166	2	USA	108	66	802
3	Australia	61	15	174	3	Peoples R China	90	29	166
4	UK	52	14	507	4	Australia	61	15	174
5	Canada	38	67	417	5	Singapore	18	15	137
6	Unknown	21	4	42	6	UK	52	14	507
7	Singapore	18	15	137	7	France	9	10	70
8	Japan	14	2	5	8	Fiji	3	6	31
9	Netherlands	14	4	126	9	Netherlands	14	4	126
10	Turkey	13	2	15	10	Unknown	21	4	42
					11	Taiwan	6	3	64

图3 国家地区分布图

(二)深度学习研究领域文献的著者、核心期刊与核心文献分析

1. 著者分析

通过所发表的论文数量以及发表论文的被引用频次,可以了解论文著者对特定领域研究的贡献程度,贡献程度较高的著者即构成该领域的核心著者群。了解和追踪这些研究者的研究主题和方向,可以帮助我们快速掌握某一领域的研究重点和发展趋势^[10]。从表1中可以看出,研究发文数量排名最高的是Yoshua Bengio教授与Geoffrey Hinton教授,在2010-2015年期间共发文6篇。通过文献阅读与资料查询发现,Yoshua Bengio、Geoffrey Hinton、Yann LeCun三位教授是国际深度学习领域具有代表性与较高影响力的研究者,其中最新的研究成果是2015年5月发表在Nature杂志上题为“Deep learning”的文章^[11]。其中,Yoshua Bengio教授不仅发文数量排名第一,被引次数为54同样位于首位,从中可以看出其在深度学习领域的重要地位。

表1 著者分布统计表

序号	作者	文章数量(篇)	TLCS
1	Bengio Y	6	54
2	Hinton G	6	5
3	Chen QC	5	2
4	Furnham A	5	1
5	LeCun Y	5	10
6	Phan HP	5	6
7	Salakhutdinov R	5	5
8	Zhou SS	5	2
9	Azer SA	4	2
10	Chamorro-Premuzic T	4	1

2. 核心期刊分析

本文从研究文献数量与被引频次两个指标来综合确定深度学习领域的核心期刊,通过对核心期刊刊载研究的持续关注与学习,可以全面得了解深度

学习领域的研究前沿及趋势。首先,根据被引频次TLCS数值确定了排名前十的期刊作为深度学习领域核心期刊的基本框架。再综合刊载文献数量排名顺序,最终确定了以下十种期刊,TLCS总数为142,占期刊总量的71.5%,如表2所示。其中TLCS排名前三的期刊Journal of Machine Learning Research、IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence、Computers & Education在深度学习领域刊发的文章数量也位于前列,可以说明以上三种期刊在深度学习领域占有较重要的地位。《机器学习研究杂志》(Journal of Machine Learning Research)出版地为美国,主要研究方向涉及计算机工程技术、人工智能等。《IEEE模式分析与机器智能汇刊》(IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence)出版地为美国,是人工智能领域较有影响力的国际学术期刊。《计算机与教育》(Computers & Education)出版地为英国,主要的研究方向包括计算机科学、教育技术相关领域。

表2 核心期刊分布表

序号	期刊	Recs	TLCS
1	Journal of Machine Learning Research	6	41
2	IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence	11	34
3	Computers & Education	10	16
4	Contemporary Educational Psychology	2	14
5	Research in Higher Education	3	9
6	Educational Psychology	4	7
7	British Journal of Educational Psychology	2	6
8	Advances in Health Sciences Education	2	5
9	Nurse Education Today	7	5
10	Medical Teacher	10	4

以上三种期刊主要来源于计算机科学领域,此外,深度学习在教育与心理学领域也受到广泛关注,位列前十名的期刊包括美国的《当代教育心理学》(Contemporary Educational Psychology)、《教育心理学》(Educational Psychology)、《高等教育研究》(Research in Higher Education),英国的《英国教育心理学》(British Journal of Educational Psychology)。深度学习在医学教育中也得到了一定关注,在《保健科学教育进展》(Advances in Health Sciences Education)、《今日护理教育》(Nurse Education Today)、《医学教师》(Medical Teacher)三种期刊中也刊载了一定数量的文章。

3. 核心文献分析

文献的被引频次反映了该文献被其他研究者关注的程度以及对于其他研究者相关研究的影响程度^[12]。一般而言,文献的被引频次越高,在该研究领域的影

响力也就越大,可以被确定为核心文献。阅读核心文献有助于研究者更快、更全面地了解本领域的研究重点与核心内涵,对于进一步深入研究具有重要意义。本文在 HistCite 软件中,将所查找的文献按照 LCS 降序排列,结果如表 3 所示。

表 3 核心文献排序表

	Date/Author/Journal	LCS	GCS	LCR	CR
1	100 Erhan D,Bengio Y, Courville A,Manzagol PA, Vincent P,et al. Why Does Unsupervised Pre-training Help Deep Learning? JOURNAL OF MACHINE LEARNING RESEARCH, 2010 FEB; 11: 625-660	20	94	0	51
2	235 Bengio Y, Courville A, Vincent P,et al. Representation Learning: A Review and New Perspectives IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, 2013 AUG; 35(8): 1798-1828	16	86	3	22
3	116 Vincent P,Larochelle H,Lajoie I, Bengio Y, Manzagol PA Stacked Denoising Autoencoders: Learning Useful Representations in a Deep Network with a Local Denoising Criterion JOURNAL OF MACHINE LEARNING RESEARCH, 2010 DEC; 11: 3371- 3408	14	80	1	53
4	53 Iem AD,Lau S,Nie Y The role of self-efficacy, task value, and achievement goals in predicting learning strategies, task disengagement, peer relationship, and achievement outcome IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, 2013 AUG; 35(8): 1798-1828	9	94	0	49
5	238 Farabet C,Coupric C,Najman L, LeCun Y Learning Hierarchical Features for Scene Labeling IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, 2013 AUG; 35(8): 1915-1929	9	43	0	47
6	52 Laird TFN, Shoup R,Kuh GD, Schwarz MJ The effects of discipline on deep approaches to student learning and college outcome RESEARCH IN HIGHER EDUCATION, 2008 SEP;49(6):469-494	8	43	0	56
7	23 Phan Hp An examination of reflective thinking, learning approaches and self-efficacy beliefs at the university of the South Pacific: A path analysis approach EDUCATIONAL PSYCHOLOGY, 2007 DEC; 27(6): 789-806	5	30	0	71

根据表 3 中的排序,可以看出被引频次最高的是由 Erhan D, Bengio Y 撰写的关于无人监督的预训练有助于深度学习的实证研究。结果表明,无人监督的预训练主要起到规范化的作用,能够促进学习者的深度学习^[13]。值得一提的是,本文的作者也是前文中著者分析中提到的深度学习领域较有影响力的研究者 Yoshua Bengio 教授,与以上统计结果相吻合。

(三)深度学习的高频词及研究热点分析

1.高频关键词分析

本研究中,主要使用文献题录信息统计分析工具 SATI 对所收集到的样本全部进行关键词字段的抽取,人工判读进行同义词汇的合并与无关词汇的删除。然后利用 SATI 对关键词的频次进行统计排序。根据普莱斯公式,高频关键词根据高频被引频次阈值确定,计算公式为: $M=0.749$,其中 M 为高频阈值,Nmax 表示区间学术论文被引频次最高值^[14]。在上文核心期刊的分析中已经确定样本中被引频次最高的文章是由 Erhan D, Bengio Y 撰写的研究论文,从发表至今被引频次为 20 次。通过公式计算,本文选取词频大于 4 的 46 个关键词,删除重复与意义不明显的关键词,最终确定以下 41 个作为深度学习领域的高频关键词,具体如表 4 所示。

通过表 4 中内容可发现,在本研究领域包括深

表 4 高频词词频排序表

序号	高频词	词频	序号	高频词	词频
1	Deep learning	134	22	Object recognition	5
2	Education	51	23	Academic achievement	5
3	Learning Approaches	30	24	Image classification	5
4	Assessment	15	25	Surface learning	5
5	Classification	12	26	Constructive alignment	5
6	Convolutional neural networks	11	27	Restricted Boltzmann Machine	5
7	Unsupervised learning	9	28	Models	4
8	Neural networks	9	29	Science	4
9	Learning strategies	9	30	Auto-encoders	4
10	Collaborative learning	8	31	Personality	4
11	Higher education	8	32	Achievement goals	4
12	Active learning	8	33	Speech recognition	4
13	Machine learning	8	34	Support vector machine	4
14	Problem-based learning	7	35	Learning styles	4
15	Student learning	7	36	Peer assessment	4
16	Online learning	7	37	Experiential learning	4
17	Critical thinking	6	38	Reflection	4
18	Deep belief networks	6	39	Biochemistry	4
19	Self-efficacy	6	40	Geography	4
20	Feature extraction	5	41	Teaching	4
21	Feature learning	5			

度学习在内排名前十的关键词分别为:Deep learning (134),Education (51),Learning approaches (30),Assessment (15),Classification (12),Convolutional neural networks (11),Unsupervised learning (9),Neural networks (9),Learning strategies (9),Collaborative learning (8),Higher education (8)。通过关键词的词频不能了解关键词之间的内部联系,因而无法全面描述深度学习领域的研究热点与趋势,需要采用共词分析来进一步探究关键词之间的深度联系。

2.高频关键词的相异矩阵分析

在文中,高频关键词的相异矩阵是在 SATI 软件共现关系矩阵中生成的,根据上文中确定的 41 个关键词,设置矩阵行列数为 41,点击相异矩阵,在 Excel 中得到深度学习关键词 41×41 相异矩阵,具体如表 5 所示。相异矩阵中的数值的大小表明对应的两个关键词间的距离远近,数值越接近 1,表明关键词间的距离越远,相似度越小,数值越接近 0,表明关键词间的距离越近,相似度越大^[15]。

如表 5 中部分相异矩阵显示,与深度学习距离由远到近的关键词分别为:学习方式(0.9225),教育(0.9015),评价(0.8876),无监督学习(0.8701),分类(0.7496)。从完整的关键词相异矩阵进行分析,属于计算机科学技术类关键词。例如,Neural networks、Support vector machine 等与 Deep learning 间的数值较小,而与教育学科相关的关键词,如,Learning ap-

proaches、Student learning 等与 Deep learning 间则数值较大,均在 0.9 左右。可以看出,相较教育领域,计算机领域关键词与深度学习的相似程度较高,说明计算机领域对深度学习的研究更为广泛。而关键词之间的相似值都相对较小,部分关键词之间甚至不相关,因此有必要通过聚类分析进一步探索。

表 5 关键词相异矩阵(部分)

	Deep learning	Learning Ap-proaches	Assess-ment	Educa-tion	Classifi-cation	Unsu-pervised learning
Deep learning	0	0.9225	0.8876	0.9015	0.7496	0.8701
Learning Approaches	0.9225	0	0.9956	0.9810	1	1
Assessment	0.8876	0.9956	0	0.9952	1	1
Education	0.9015	0.9810	0.9952	0	1	1
Classification	0.7496	1	1	1	0	0.9907
Unsupervised learning	0.8701	1	1	1	0.9907	0

3. 关键词聚类图及分析

关键词聚类结果可以进一步反映关键词之间的亲疏关系,在聚类树状图中关键词距离越近,表明关键词之间越相似。通过共词聚类分析,将距离较近的主题词聚集形成相似类团,可以帮助我们初步明晰深度学习领域的研究热点。根据研究需要,去除核心关键词“Deep learning”,在 SATI 软件中行值设置为 42,在 Excel 中得到深度学习关键词 42×42 的相似矩阵。再将相似矩阵导入 SPSS20.0 中,采用“系统聚类”的方法进行聚类分析,最终得到深度学习关键词共词聚类树状图,具体如图 4 所示。

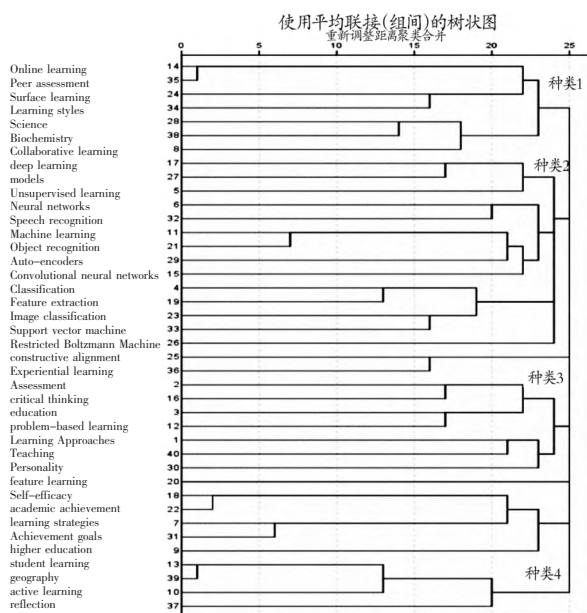


图 4 深度学习领域关键词聚类图

根据聚类图中类团连线距离的远近,将深度学

习关键词聚合为以下四类主题,详细如表 6 所示。依据关键词聚类图的分析结果对后续的多维尺度分析图进行描绘,可以进一步得到深度学习研究热点的知识图谱。

表 6 研究主题类别结构表

序号	关键词	序号	关键词
种类一	Online learning	种类三	Constructive alignment
	Peer assessment		Experiential learning
	Surface learning		Assessment
	Learning styles		Critical thinking
	Science		Education
	Biochemistry		Problem-based learning
	Collaborative learning		Learning Approaches
种类二	Deep belief networks		Teaching
	Models		Personality
	Unsupervised learning		Feature learning
	Neural networks	种类四	Self-efficacy
	Speech recognition		Academic achievement
	Machine learning		Learning strategies
	Object recognition		Achievement goals
	Auto-encoders		Higher education
	Convolutional neural networks		Student learning
	Classification		Geography
	Feature extraction		Active learning
	Image classification		Reflection
	Support vector machine		
	Restricted Boltzmann Machine		

种类一:涵盖在线学习、同伴评价、浅层学习、学习风格、科学、生物化学、合作学习七个关键词。

种类二:涵盖深信度网络、模型、无监督学习、语音识别、机器学习、物体识别、自动编码器、卷积神经网络、分类、特征提取、图像分类、支持向量机、限制波尔兹曼机十三个关键词。

种类三:涵盖建设性调准、经验式学习、评估、批判性思维、教育、基于问题的学习、学习方式、教学、个性、特征学习十个关键词。

种类四:涵盖自我效能感、学术成就、学习策略、成就目标、高等教育、学生学习、地理、积极学习、反思九个关键词。

4. 深度学习研究热点分析

多维尺度分析通过测定主题词之间的距离来发现主题结构^[16],将高维空间的主题词简化到低维空间进行分析。与聚类树图相比,多维尺度分析可以在较低维空间中直观地判断出某研究领域在学科内的位置^[17]。将 41×41 关键词相异矩阵导入 SPSS20.0,利用多维尺度分析 ALSCAI 对相异矩阵进行分析处理,得到深度学习领域的研究热点知识图谱,如图 5 所示。

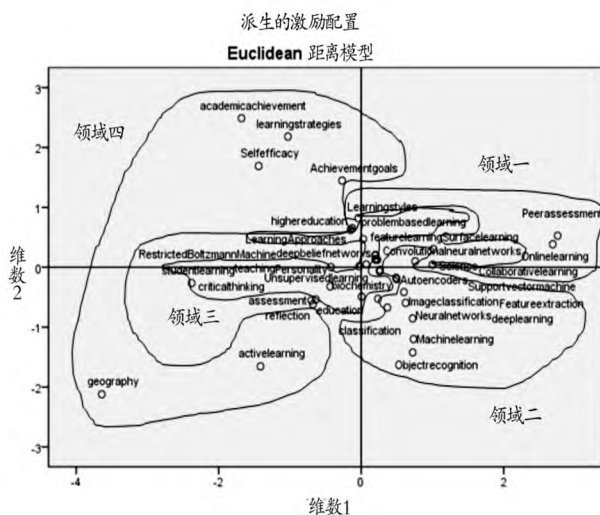


图 5 深度学习领域研究热点知识图谱

通过结合图 4 中深度学习关键词聚类树状图与图 5 多维尺度分析 ALSCAI 所得的 Euclidean 距离模型散点图的共同结果, 可将国外深度学习领域的研究热点概括为以下四个方面, 具体分析如下:

领域一: E-learning 环境下的深度学习研究。从关键词“Online learning”、“Peer assessment”、“Collaborative learning”来看,随着深度学习研究的不断深入与信息技术的飞速发展,国外研究者开始关注基于 E-learning 环境的深度学习研究,逐步探讨信息技术支持下的深度学习,所运用的信息技术包含网络课程、在线学习社区、教育游戏以及 SNS(Social Networking Services)平台与工具等^[18]。

Helen Barren (2006)通过构建基于数字叙述技术(Digital Storytelling)的学习模式,探究技术支持下的深度学习模式应用效果,结果表明,数字化的故事项目能够促进学生对课程内容的理解,同时学生的问题解决等能力也得到提升^[19]。Akyol Zehra(2011)通过对深度学习的结果与过程进行评估,进行在线混合型学习中的认知存在的实证研究,结果表明,在线学习社区中的认知存在与感知及实际学习成果密切相关^[20]。Van der Spek,Erik D(2012)通过实验研究了在严肃游戏中能够促进学生深度学习的活动事件。研究结果表明,实验组与对照组学生在参与浅层学习上不存在显著差异,但实验组学生在知识结构方面表现更卓越,说明,在严肃游戏中令人惊讶的事件能够促进学生的深度学习^[21]。Nienke Vos(2011)利用实证研究分析了教育游戏对学生学习动机与深度学习策略的影响,结果表明,使用教育游戏可以有效提高学生的学习动机和深度学习策略^[22]。Pegrum

Mark(2015)将创意播客应用于大一理工科的学习内容中,通过实证研究分析创意播客能否促进学生的深度学习。一段时间后,同一形式内容的强化学习成果表明,创意播客能够有效促进学生的深度学习^[23]。

从文献的内容分析来看,本领域的研究主题具体包括 E-learning 环境的深度学习模式设计与应用研究、E-learning 环境的深度学习过程与活动研究、技术支持的深度学习成效研究等。国外研究者多采用实证研究范式,运用调查研究法、实验研究法与混合研究法,侧重于通过设计具体的实验,在实验过程中合理运用信息技术开展深度学习活动,验证实践成效或所提出的假设。具体的研究对象包含基础教育、高等教育及成人教育学习者,其中,高等教育的应用居多,且在医学、数学、物理、科学等学科均有广泛应用。总体来说,国外学者围绕 E-learning 环境下的深度学习进行了丰富的实证研究,多倾向于运用某种技术促进深度学习,综合考虑信息技术整体运用的研究还不多见,多习惯于从教育学的视角切入研究,而没有从技术视角过多地进行 E-learning 环境下的深度学习研究^[24]。

领域二:计算机领域的深度学习研究。通过关键词“Machine learning”、“Convolutional neural networks”不难发现,在计算机科学中,深度学习的概念源于神经网络的研究,是机器学习研究中的一个新的领域。其动机在于建立、模拟人脑进行分析学习的神经网络,它模仿人脑的机制来解释数据,例如,图像、声音和文本^[25]。深度学习的常用模型与方法包括:AutoEncoder 自动编码器、Restricted Boltzmann Machine (RBM)限制波尔兹曼机、Convolutional Neural Networks 卷积神经网络等。

在大数据的发展背景下,谷歌、微软、IBM、百度等拥有大数据的高科技公司相继投入大量资源进行深度学习技术,在语音、图像、自然语言、在线广告等领域取得显著进展^[26]。微软研究人员使用深度信念网络对数以千计的 Senones 直接建模,提出了成功应用于大词汇量语音识别系统的上下文相关的深层神经网络——隐马尔可夫混合模型^[27]。D. Bahdanau 等提出了 RNNsearch 的模型,在翻译时可以根据其位置及已译出的单词预测该目标单词,在用于机器单词翻译时结果评分高于传统模型^[28]。苹果 iPhone Siri 语音识别系统使用了“深度学习”技术,百度也推出了首个基于深度学习的语音搜索服务^[29],深度学习在人工智能领域具有巨大的发展前景。从研究方



法上看,计算机科学对深度学习的研究多采用设计、开发的方法,创新提出或基于已有深度学习模型,通过计算机程序算法逐步攻克技术难题,推动了语音识别、图像识别、视频分类与行为分析等多领域的不断发展。

领域三:学习科学视域下深度学习的教学应用研究。从关键词“Learning approaches”、“Problem-based learning”、“Teaching”、“Critical thinking”来看,国外深度学习在教学中的应用主要围绕课堂教学中的深度学习研究以及促进深度学习的学习方式研究等内容展开。有研究表明,基于问题的学习、基于项目的学习等新型教学方法更能促进学生的深度学习。同时杨南昌等对美国《学习科学杂志》(1991-2009)采用内容分析的研究也表明,基于问题的学习研究在学习科学中处于核心地位^[30]。Kek, Megan Yih Chyn A(2011)分析了在数字化学习环境中基于问题的学习对提升学生批判思维能力的重要作用^[31]。Phan, Huy P(2011)在为期两年的深度学习方法与批判性思维发展课程中进行实证研究,通过潜在成长曲线模型与问卷调查,研究结果进一步佐证了之前的研究:批判性思维可以作为学生深度学习参与的一个重要信息来源^[32]。Loyens, Sofie M. (2013)在PBL环境下基于学生的学习方法与学术成果展开实证研究,结果表明,PBL组的学生能够使用更深入的学习方法,PBL模式能够有效促进学生的深度学习^[33]。Mayhew, Matthew J(2012)探索深度学习方式如何作用于大学一年级学生的道德推理发展,研究结果显示,深度学习方式与学生的道德推理发展成正相关关系^[34]。

通过对文献的内容分析发现,本领域的研究主题主要包括新型教学模式支持下的深度学习研究、深度学习过程中高阶思维能力的培养研究、深度学习教学策略研究等。从研究范式上分析,研究者倾向于采用实证研究与多元混合研究范式,在具体的教学实践中多运用混合研究法、问卷调查法及实验法展开研究。

近年来,研究者更注重实践应用和实证研究,将深度学习理论广泛地应用到教育教学、社会工作等实践中,用来指导会计、医学、数学、物理、地理、生物等学科的教学活动^[35]。研究对象涵盖基础教育、高等教育以及教师教育等多种身份的学习者。学习科学视域下的深度学习强调高阶思维能力的培养,注重学习过程的问题解决,需要学习者较高的元认知能

力。就已有文献来看,研究者对学习者的批判性思维的培养展开了实践研究,而对元认知能力与问题解决过程的研究还相对较少。

领域四:深度学习过程与结果研究。从关键词“Higher education”、“Academic achievement”中可以发现,国外对于深度学习在高等教育领域应用的研究较多,主要围绕深度学习的过程与结果展开,涵盖深度学习的影响因素研究及深度学习的有效性研究等。Abbas Sadeghi(2012)等使用问卷调查法探究大学生深度学习的影响因素,根据调查结果分析出影响大学生深度学习的因素包括学习目标、学术活动、师生特征、学习策略等^[36]。Roziana Shaari(2012)利用调查问卷对马来西亚工艺大学的研究生展开调查,重点分析研究了人口学因素与深度学习之间的关系^[37]。Heijne-Penninga(2010)等人通过适度信息加工测验确定了学习者的学习层次,并结合认知需求量表的分析结果,用于探索深度学习、认知需求与测验成绩之间的关系^[38]。Marlies Baeten等(2010)通过质性研究法对文献进行分析,总结出以学生为中心的学习环境中影响深度学习的各种因素,并进一步分析以上因素作用于深度学习的方式^[39]。

结合文献内容分析结果发现,该领域的研究主题可细分为深度学习过程研究、深度学习有效性分析研究、深度学习的影响因素研究。从研究方法上看,涉及实证研究与质性研究及融合两者特点的混合式研究。对深度学习过程的探索多采用实验研究、调查研究等方式,对深度学习影响因素的分析多利用调查研究法与文献研究法展开。从整体来说,研究者对深度学习过程的关注还不够,缺乏具有代表性的研究成果,相较而言,对深度学习影响因素的研究较多,但多在传统学习环境中展开,随着信息技术对深度学习的影响不断加深,关注E-learning环境下深度学习影响因素研究对教学实践具有重要意义。

四、研究结论与启示

本文通过引文分析法与共词聚类法清晰直观地梳理了国际上关于深度学习的研究现状与研究热点。从时间上看,近十年间深度学习研究数量整体呈上升趋势。2010年后,随着学习科学研究领域的兴起,带动深度学习研究数量大幅度增加,在很大程度上提升了深度学习在教育研究中的重要地位。

从研究国别分布中分析,北美、英国、澳洲为国

际深度学习研究的主体,亚洲国家以中国、新加坡为代表。我国在深度学习研究领域无论从研究数量与被引指数上都处于重要位置。在樊雅琴等关于国内深度学习研究的文献综述的统计结果指出,2005—2014年间的发文数量共计213篇^[40],说明,深度学习在国内已经取得了长足的发展。深度学习领域核心期刊的分布也以欧美国家为主,涵盖了计算机领域、教育领域、医学领域。根据文献高频词的统计结果,深度学习领域的研究热点包括:教育、学习方式、评估、神经网络、学习策略、合作学习等。

随着时间推移,深度学习研究的关注点从计算机领域的机器学习逐渐转向学习科学视域下的教育领域。随着E-learning的发展,在线学习与技术支持下的深度学习受到进一步广泛关注,研究侧重于多种学习方式对深度学习的促进、深度学习评估、深度学习的影响因素等方面。通过分析国外深度学习领域的研究现状与热点,对我国深度学习的相关研究带来了以下启示:

首先,注重跨学科领域的合作。国外深度学习的研究来源于计算机科学、教育学、心理学等多个领域,其中不乏关于深度学习跨学科的研究。深度学习在教育领域的应用有必要借鉴人工智能、计算机科学领域基于大数据深度挖掘的思路与方法,融合脑科学、教育心理学对深度学习过程与行为的研究,不仅能够进一步拓宽深度学习的应用领域,有效促进E-learning环境下深度学习的发生,也为机器学习领域的技术发展提供理论支撑。在学习科学视域下,国内的深度学习研究也应注重跨学科领域的合作,借助于大数据深度学习分析等技术,提升深度学习的研究成效。

其次,关注深度学习的过程与评价。深度学习的过程包括外显的学习行为与内在的认知过程^[41]。通过核心关键词与代表性文献分析结果可以看出,国外多侧重于利用实证研究分析深度学习的学习过程、学习方式等,同时注重深度学习的评价研究。相较而言,国内对于深度学习过程与评估关注较少且缺乏有代表性的实证研究成果。研究者应该在深度学习环境设计研究的基础上,进一步关注深度学习的过程与评价。对深度学习过程的研究应更加全面,在分析学习者外显学习行为的基础上,更深入地挖掘其内在认知过程,借鉴国外的研究设计,注重对学习者元认知、高水平思维的分析研究。

最后,关注技术支持下的深度学习研究。在大数

据蓬勃发展的背景下,国外关于E-learning环境中的深度学习研究成果较为丰富,通过实证研究探析在线学习社区、教育游戏、播客等多种技术支持下的深度学习效果。目前,国内对于深度学习的研究多是教育学和学习科学的视角,缺乏技术支撑下的E-learning深度学习研究^[42]。国内研究者应加强与国外研究团队的交流与合作,尝试将国外技术支持下的深度学习研究成果本土化并展开应用研究,进一步提升我国在深度学习领域的学术地位。

[参考文献]

- [1]NMC.Horizon Report:2015K-12Edition [DB/OL].[2015-06-29].http://www.nmc.org/publications/horizonreport-2015-k-12-edition.
- [2]Marton F, Säljö R. On Qualitative Differences in Learning: I—Outcome and Process [J]. British Journal of Educational Psychology, 1976, 46(1): 4-11.
- [3]何玲,黎加厚.促进学生深度学习[J].现代教学,2005(5):29-30.
- [4]邱均平.信息计量学[M].武汉:武汉大学出版社,2007:316-317.
- [5]李运景,侯汉清,裴新涌.引文编年可视化软件 HistCite 介绍与评价[J].图书情报工作,2006(12):135-138.
- [6]杨颖,崔雷.基于共词分析的学科结构可视化表达方法的探讨[J].现代情报,2011(1):91-96.
- [7][16]刘启元,叶鹰.文献题录信息挖掘技术方法及其软件 SATI 的实现——以中外图书情报学为例 [J]. 信息资源管理学报,2012(1):50-58.
- [8]基思·索耶.剑桥学习科学手册[M].北京:教育科学出版社,2010:1-161.
- [9]焦建利,贾义敏.学习科学研究领域及其新进展——“学习科学新进展”系列论文引论[J].开放教育研究,2011(1):33-41.
- [10][12]刘敏,李兴保.移动学习领域的可视化引文分析[J].电化教育研究,2012(11):44-49.
- [11]LeCun Y, Bengio Y, Hinton G. Deep learning [J]. Nature, 2015, 521(7553): 436-444.
- [13]Erhan D, Bengio Y, Courville A, et al. Why does unsupervised pre-training help deep learning?[J]. The Journal of Machine Learning Research, 2010, 11: 625-660.
- [14][15]王佑镁,陈慧斌.近十年我国电子书包研究热点与发展趋势——基于共词矩阵的知识图谱分析 [J]. 中国电化教育,2014(5):4-10.
- [17]张勤,马费成.国外知识管理研究范式——以共词分析为方法[J].管理科学学报,2007(6):65-75.
- [18]李亚娇,段金菊.SNS平台在促进深度学习方面的比较研究[J].远程教育杂志,2012(5):26-34.
- [19]Barrett H. Researching and evaluating digital storytelling as a deep learning tool[C]//Society for Information Technology & Teacher Education International Conference, 2006(1): 647-654.
- [20]Akyol Z, Garrison D R. Understanding cognitive presence in an online and blended community of inquiry: Assessing outcomes and processes for deep approaches to learning [J]. British Journal of Ed-



educational Technology, 2011, 42(2): 233-250.

[21]Van der Spek E D, Van Oostendorp H. Introducing surprising events can stimulate deep learning in a serious game[J]. British journal of educational technology, 2013, 44(1): 156-169.

[22]Vos N, van der Meijden H, Denessen E. Effects of constructing versus playing an educational game on student motivation and deep learning strategy use[J]. Computers & Education, 2011, 56(1): 127-137.

[23]Pegrum M, Bartle E, Longnecker N. Can creative podcasting promote deep learning? The use of podcasting for learning content in an undergraduate science unit[J]. British Journal of Educational Technology, 2015, 46(1): 142-152.

[25]刘建伟,刘媛,罗雄麟.深度学习研究进展[J].计算机应用研究, 2014(7):1921-1930.1942.

[26]余凯,贾磊,陈雨强,徐伟.深度学习的昨天、今天和明天[J].计算机研究与发展,2013(9):1799-1804.

[27]尹宝才,王文通,王立春.深度学习研究综述[J].北京工业大学学报,2015(1):48-59.

[28]Bahdanau, Cho K, Bengio Y. Neural machine translation by jointly learning to align and translate [J].CoRR, 2014:abs/1409.0473

[24][29][41][42]段金菊,余胜泉.学习科学视域下的e-learning深度学习研究[J].远程教育杂志,2013(4):43-51.

[30]杨南昌,曾玉萍,陈祖云,任友群.学习科学主流发展的分析及其启示——基于美国《学习科学杂志》(1991-2009)内容分析研究[J].远程教育杂志,2012(2):15-27.

[31]Kek M Y C A, Huijser H. The power of problem based learning in developing critical thinking skills: preparing students for tomorrow's digital futures in today's classrooms[J]. Higher Education Research & Development, 2011, 30(3): 329-341.

[32]Phan H P. Deep processing strategies and critical thinking: Developmental trajectories using latent growth analyses[J]. The Journal of Educational Research, 2011, 104(4): 283-294.

[33]Loyens S M M, Gijbels D, Coertjens L, et al. Students' approaches to learning in problem-based learning: Taking into account profes-

sional behavior in the tutorial groups, self-study time, and different assessment aspects[J]. Studies in Educational Evaluation, 2013, 39(1): 23-32.

[34]Mayhew M J, Seifert T A, and Pascarella E T, et al. Going deep into mechanisms for moral reasoning growth: How deep learning approaches affect moral reasoning development for first-year students[J]. Research in Higher Education, 2012, 53(1): 26-46.

[35]吴秀娟.基于反思的深度学习研究[D].扬州:扬州大学,2013.

[36]Sadeghi A, Sadeghi A. The Factors Affecting University Student Deep Learning(USDL) in the University of Guilan, IRAN (comparative study among Humanities, Agricultural and physical Education Faculties)[J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2012, 31: 810-815.

[37]Shaari R, Mahmud N, Wahab S R A, et al. Deep as a Learning Approach in Inspiring Creative and Innovative Minds among Post graduate Students in Research University[J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2012, 40: 152-156.

[38]Heijne-Penninga, M Kuks, J., Hofman, A., Cohen-Schotanus, J. Influences of deep teaming, need for cognition and preparation time on open- and closed-book test performance[J]. Medical Education, 2010(44):884-891.

[39]Baeten, M., Kyndt, E., Struyven, K., Doch, F.. Using student-centred learning environments to stimulate deep approaches to Teaming Factors encouraging or discouraging their effectiveness[J]. Educational Research Review, 2010(5):243-260.

[40]樊雅琴,王炳皓,王伟,唐烨伟.深度学习国内研究综述[J].中国远程教育,2015(6):27-33.79.

[作者简介]

张思琦,陕西师范大学教育学院在读硕士,研究方向为信息技术教育应用;张文兰,教授,博士生导师,陕西师范大学教育学院副院长,研究方向为信息技术教育应用;李宝,陕西师范大学教育学院在读硕士,研究方向为电子教材的开发、信息技术教育应用、混合式学习。

Focus and Trend of Deep Learning Research in Foreign Countries in Recent Ten Years: Based on Citation Analysis and the Knowledge Map Analysis of Co-word Matrix

Zhang Siqi, Zhang Wenlan & Li Bao

(School of Education, Shaanxi Normal University, Xi'an Shaanxi 710062)

[Abstract] With the rise of learning science, deep learning is becoming the core of research topics in education. This paper based on the methods of citation analysis and co-word cluster analysis, taking 459 pieces of essay of deep learning recorded in WOS database during 2005-2015 as research object, exploring the focus and trend of deep learning research in recent ten years through the visual knowledge map. Finally, the paper proposes some enlightenment combined with the status of domestic research, and affords reference to the similar study.

[Keywords] Deep learning; Citation analysis; Co-word cluster analysis; Knowledge map; Hotspots

收稿日期:2015年12月15日

责任编辑:陈媛