

人工智能领域关键技术挖掘分析*

王燕鹏¹ 韩涛^{**1} 赵亚娟¹ 陈芳¹ 王思培^{1,2}

(1.中国科学院文献情报中心, 北京 100190; 2.中国科学院大学经济与管理学院图书情报与档案管理系, 北京 100190)

摘要: 人工智能已成为引领新一轮科技革命和产业变革的重要驱动力量和战略性技术。本文采用无监督聚类、复杂网络结构洞和突发检测算法对人工智能高水平会议论文进行深度挖掘分析, 梳理人工智能领域的关键技术, 全面刻画人工智能领域整体技术结构, 洞悉关键技术分布和研发态势, 明确人工智能领域代表性国家与机构。研究发现: 人工智能领域共包含 14 个大类、132 项热点技术, 主要分布在机器学习、自然语言处理、计算机视觉和机器人等子领域, 如一眼模仿学习、智能自动问答、光度立体视觉、多传感器融合等; 共性技术则主要分布在机器学习子领域, 分类、回归、搜索等基础算法以及优化理论方法等共性技术为其他子领域研究实践奠定坚实基础; 新兴技术主要集中在深度学习方面, 生成对抗网络和注意力机制是其中的典型代表, 此外还包括强化学习、自主代理和多代理系统等。在人工智能领域代表性国家与机构方面, 美国在各热点技术大类下的发文量均位居全球首位, 中国整体仅次于美国, 但在强化学习、机器人、智能多代理系统研究方面发文量排名相对靠后; 国内机构中, 中国科学院在多个热点技术大类下的发文量均位居全球前列。

关键词: 人工智能; 关键技术; 聚类; 结构洞; 突发检测

中图分类号: G353.1; TP18

文献标识码: A

doi: 10.16507/j.issn.1006-6055.2019.08.001

Mining and Analysis of Key Technologies in Artificial Intelligence*

WANG Yanpeng¹ HAN Tao^{**1} ZHAO Yajuan¹ CHEN Fang¹ WANG Sipei^{1,2}

(1. National Science Library, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

2. Department of Library, Information and Archives Management, School of Economics and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: Artificial Intelligence has become an important driving force and strategic technology leading the new round of S&T revolution and industrial transformation. The paper uses K-means++ algorithm, structural holes and burst detection algorithm to recognize key technologies in Artificial Intelligence based on high-level AI conference papers. It aims to show the technical structure and typical countries/institutions of Artificial Intelligence. The result shows that: there are 14 categories and 132 hotspot technologies in Artificial Intelligence, which are mainly distributed in the fields of machine learning, natural language processing, computer vision and robotics, such as one-shot imitation learning, smart question-answering, photometric stereo and multi sensor fusion. Generic Technologies are mainly distributed in the field of machine learning, the basic algorithms and optimization methods such as classification, regression and searching lay a solid foundation for the research and practice in other AI fields. Emerging technologies are mainly distributed in deep learning, such as GAN and attention mechanism, and reinforcement learning, autonomous agency and multi-agent systems are also included. In the aspect of typical countries/institutions, the U.S. are top of the world in all 14 categories, China is second only to the U.S. as a whole, but the ranking are relatively low in Reinforcement learning, Robotics and Intelligent multi-agent system. In China, the Chinese Academy of Sciences ranks among the top in the world in many categories.

Key words: artificial intelligence; key technology; clustering; structural holes; burst detection

人工智能是指研究、开发用于模拟、延伸和扩展人的智能的理论、方法、技术及应用系统的一门技术科学。这一概念自 1956 年被提出后, 已历经半个多世纪的发展和演变。21 世纪初, 随着大数据、高性能计算和深度学习技术的快速迭代和进步, 人工智能进入新一轮的发展热潮, 其强大的赋能性对经济发展、社会进步、国际政治经济格局等具有重大且深远的影响, 已成为引领新一轮科技革命和产业变革的重要驱动力量, 是推动人类进入智能时代的核心和重要抓手^[1]。

发展热潮之下, 全球主要国家积极在人工智能领域深耕布局, 国际竞争日益激烈。2017 年 7 月, 我国发布《新一代人工智能发展规划》, 明确将人工智能作为国家未来重要发展战略, 并确定中国人工智能发展“三步走”战略目标, 到 2030 年实现人工智能理论、技术与应用总体达到世界领先水平,

* 中国科学院文献情报中心横向项目(横 1869)资助

** 通讯作者, E-mail: hant@mail.las.ac.cn

成为世界主要人工智能创新中心；2018年3月，法国总统宣布启动15亿欧元的人工智能计划^[2]，将在法国建设一个国际级的研发中心，完善数据领域政策，培养法国在人工智能领域的人才，并对技术革新的伦理和规制问题进行反思，以推动法国跻身人工智能领域的领军者行列；2018年4月，欧盟委员会计划2018—2020年在人工智能领域投资240亿美元^[3]；2018年11月，德国联邦内阁通过人工智能国家战略，计划2025年前在联邦层面投入30亿欧元，旨在人工智能领域新增100名教授席位并资助扩建人工智能研发中心^[4]；2019年2月，美国总统特朗普签署行政令，启动“美国人工智能倡议”^[5]，该倡议提出研发、资源调配、政策、人力资源培养和准备、国际合作五项发展重点领域，以维护美国人工智能领导力。

与此同时，人工智能产业蓬勃发展，全球产业界纷纷调整发展战略，人工智能创新创业如火如荼。2017年，谷歌和微软陆续将企业发展战略和愿景转向人工智能；百度也于2017年将公司使命更改为“用科技让复杂的世界更简单”，希望百度从全球最大的中文搜索引擎彻底转型人工智能科技公司；自2013年以来，全球和中国人工智能行业投融资规模都呈上涨趋势，2017年全球投融资总规模达395亿美元^[6]。

人工智能作为一门综合和高度复杂的技术科学，其发展离不开底层多类型关键技术的研发突破和支撑。厘清人工智能领域的关键技术，把握技术现状和发展趋势，将为国家前瞻性战略布局、企业研发重心调整、科研机构 and 研究人员合理选题提供重要情报参考。2019年3月，李克强总理在政府工作报告中再次提及人工智能产业的发展，提出要“深化大数据、人工智能等研发应用”。相较于2017年的“加快人工智能等技术研发和转化”和2018年的“加强新一代人工智能研发应用”，“深化”一词不仅反映出我国人工智能发展呈现层层递进和逐步深入的良好态势，也体现了热潮之后我国政府对人工智能的持续重视和未来发展展望。我们应牢牢把握人工智能关键技术和发展方向，明确中国人工智能发展的短板领域和技术，切实响应国家需求，推进人工智能各项战略规划的快速稳健实施，加快人工智能专业型人才和通用型人才培养，构建体系化队伍，加大对人工智能学术及产业力量的扶持力度，培育并打造人工智能发展的中流砥柱，以期人工智能强大的赋能性为经济社会发展注入新的动能。因此，本文以人工智能领域高水平会议论文为分析对象，采用无监督聚类方法、复杂网络结构洞理论和突发词检测算法开展深度挖掘分析，梳理人工智能领域的热点技术、共性技术和新兴技术，以期全面了解人工智能领域整体技术结构，洞悉关键技术分布和研发态势，明确人工智能领域代表性国家与机构。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

科技论文记载了科学研究和技术研发活动的大量高价值信息，反映了科技成果诞生的初始状态，是关键技术挖掘的重要数据资源。而在计算机领域，高质量会议论文在学界有着较高的关注度和认可度，同时，相对于期刊论文，会议论文的时效性更好，一定程度上代表着该领域最新、最热的研究内容，本文综合专家咨询意见及数据的可获得性，以中国计算机协会推荐的人工智能领域高水平国际学术会议（A类和B类，共19种）^[7]为基础数据源（表1），利用Scopus数据库检索并下载题录数据，包括发表年、标题、关键词、摘要等，时间跨度为2015—2018年，检索时间为2019年1月22日，共18956篇论文，作为人工智能领域关键技术分析挖掘的数据基础。

表1 人工智能高水平国际会议（共19种）

Tab.1 High-level international conference in artificial intelligence (19 in total)

会议简称	会议全称	主办单位/出版社
AAAI	AAAI Conference on Artificial Intelligence	AAAI
CVPR	IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition	IEEE
ICCV	International Conference on Computer Vision	IEEE
ICML	International Conference on Machine Learning	ACM
IJCAI	International Joint Conference on Artificial Intelligence	Morgan Kaufmann
NIPS	Annual Conference on Neural Information Processing Systems	MIT Press
ACL	Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics	ACL
COLT	Conference on Learning Theory	Springer

EMNLP	Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing	ACL
ECAI	European Conference on Artificial Intelligence	IOS Press
ECCV	European Conference on Computer Vision	Springer
ICRA	IEEE International Conference on Robotics and Automation	IEEE
ICAPS	International Conference on Automated Planning and Scheduling	AAAI
ICCBR	International Conference on Case-Based Reasoning	Springer
COLING	International Conference on Computational Linguistics	ACM
KR	International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning	Morgan Kaufmann
UAI	International Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence	AUAI
AAMAS	International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-agent Systems	Springer
PPSN	Parallel Problem Solving from Nature	Springer

1.2 研究方法

1.2.1 关键技术概念界定

对科技论文内容进行深度挖掘，旨在梳理发现人工智能领域的关键技术，具体包括热点技术、共性技术和新兴技术三类。本文对三类关键技术的概念界定如下：

- 1) 热点技术：某学科领域内，近年来受到科研人员广泛关注并已产出相应研究成果的主要研究方向和技术主题，反映了学科领域的研发现状和技术结构全貌；
- 2) 共性技术：对学科领域内其他研究方向和技术主题产生广泛影响、其研究成果可供参考借鉴和分享使用的一类技术，反映了学科领域的重要研发基础和技术前沿，是学科领域内的“思想源泉”或“集大成者”；
- 3) 新兴技术：某学科领域内，最新出现且短时间内受到广泛关注的研究方向和技术主题，反映了学科领域内具有重要潜在影响的新近研究热点。

1.2.2 研究思路与方法

本文采用无监督聚类方法、复杂网络结构洞理论以及突发检测算法开展人工智能领域关键技术挖掘分析，研究思路如图 1 所示。

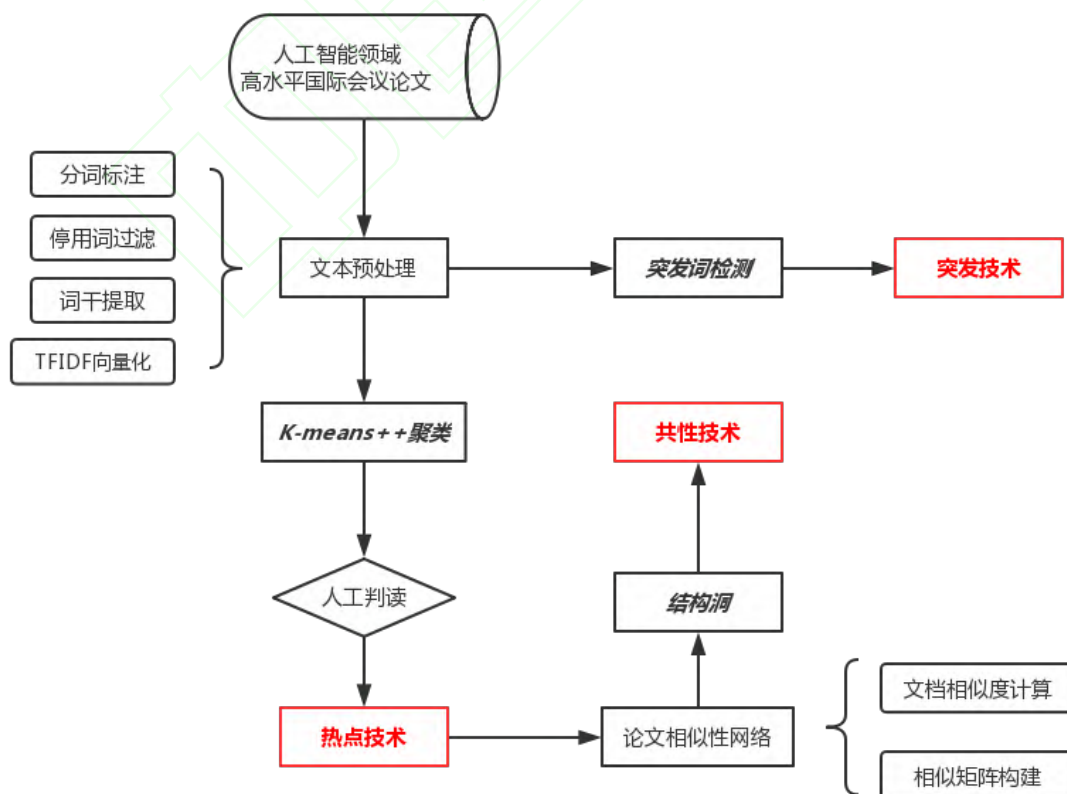


图 1 研究思路示意图

Fig.1 Schematic diagram of research ideas

具体研究过程及方法包括：

1) 基于 K-means++聚类的热点技术挖掘分析

本文基于 python 语言，利用 NLTK 包对会议论文文本数据（标题、摘要和关键词）进行预处理，包括分词、词性标注、词干提取、词性还原、停用词过滤等，利用 TF-IDF 方法对文本进行向量化表示，采用 K-means++算法对数据进行聚类，对各个聚类簇进行解读和调研，形成人工智能领域的热点技术。

2) 基于复杂网络结构洞理论的共性技术挖掘分析

结构洞理论形容非冗余的联系，指在社会网络中的某个或某些个体与部分个体发生直接联系，但与其他个体不发生直接联系的现象，从网络整体看好像网络结构中出现了洞穴^[8]（图 2）。结构洞能够为其占据者获取“信息利益”和“控制利益”提供机会，Raider^[9]的实证研究表明：结构洞占据者的位置对信息控制、识别以及交易起着重要的作用。近年来，已有相关学者利用结构洞理论开展共性技术或基础技术的识别，如江嫒^[10]、叶春蕾^[11]、王海龙^[12]等。结构洞反映了节点对网络资源的控制能力，占据结构洞的节点能够获得来自多方面的非重复性信息，反映在学科领域研究上，占据结构洞的研究方向更有可能是“思想源泉”或“集大成者”，即领域共性技术，可对学科领域内其他研究方向产生广泛影响。

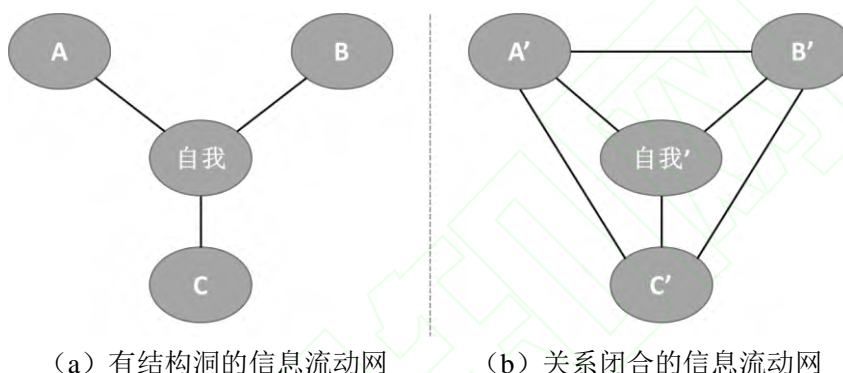


图 2 有结构洞的信息流动网 & 关系闭合的信息流动网

Fig.2 Network of information flow with structural holes & network of information flow without structural holes

本文以 K-means++聚类得到的热点技术聚类簇为节点，计算聚类簇质心向量间的相似性，以此作为节点间连接和权重的依据，构建网络。基于复杂网络结构洞理论，计算网络中各节点的限制度指标，以此反映节点在网络中运用结构洞的能力。节点的限制度指标值越小，代表节点拥有的结构洞越多，运用结构洞的能力越强，所占据的“信息利益”和“控制利益”越大，以此识别人工智能领域的共性技术。

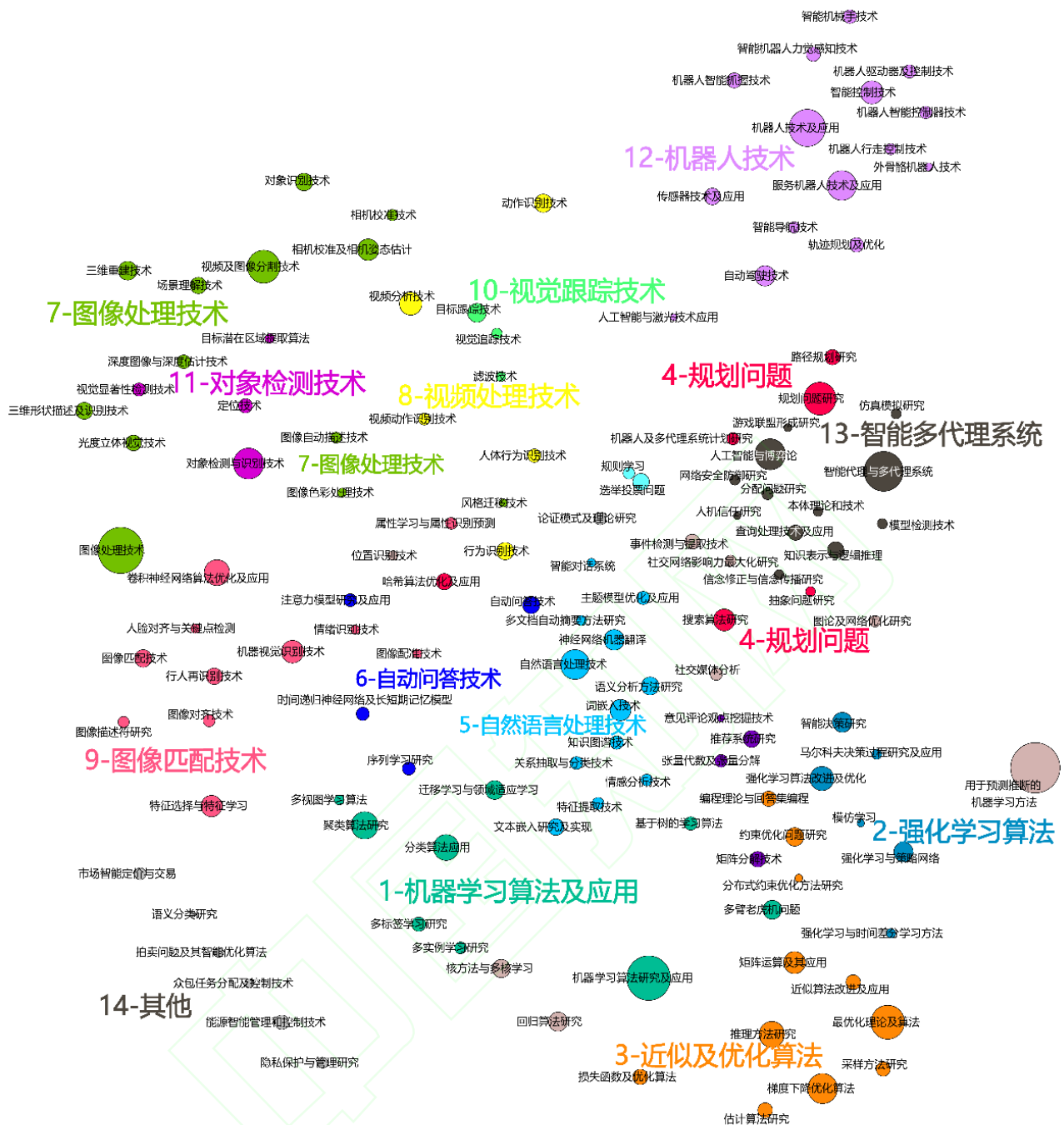
3) 基于 Burst Detection 算法的新兴技术挖掘分析

本文以清洗后的会议论文关键词为分析数据，采用 Sci2 tool 工具^[13]的 Burst Detection 算法探测最新出现且短时间内受到广泛关注的新兴技术。

2 人工智能领域关键技术分析

2.1 人工智能热点技术

人工智能领域的热点技术代表近年来的主要研究方向和技术主题，反映出人工智能领域的技术结构全貌。结合轮廓系数的计算结果，确定聚类簇数量 K=140 时，具有较好的聚类效果。经人工判读，140 个聚类簇中共有 132 个有效类和 8 个混杂类。以 132 个有效类作为节点构建网络，并进行可视化和模块划分，最终形成 14 项技术大类（~~错误!未找到引用源。~~及~~错误!未找到引用源。~~）。中国和美国在 14 项技术大类下发文量的全球排名，以及各技术大类的 Top5 优势机构列举如~~错误!未找到引用源。~~。



注：图中每个节点代表一个聚类簇，即热点技术，节点大小代表聚类簇下文章数量多少，节点颜色代表该节点归属的技术大类，“数字-标签”代表同颜色热点技术所归属的技术大类

图 3 人工智能领域热点技术分布网络

Fig.3 Hotspot technologies network in artificial intelligence

表 2 人工智能领域热点技术详表

Tab.2 Details of hotspot technologies in artificial intelligence

序号	技术大类	热点技术
1	机器学习算法及应用	用于预测推断的机器学习方法 回归算法研究 聚类算法研究 分类算法应用 基于树的学习算法 迁移学习与领域适应学习 机器学习算法研究及应用 核方法与多核学习 事件检测与提取技术 位置识别技术 图论及网络优化研究 社交媒体分析 社交网络影响力最大化研究 多臂老虎机问题 多视图学习算法 多标签学习研究 多示例学习研究
2	强化学习算法	强化学习与策略网络 强化学习与时间差分学习方法 强化学习算法改进及优化

		马尔科夫决策过程研究及应用 模仿学习 智能决策研究
3	近似及优化算法	近似算法改进及应用 估计算法研究 最优化理论及算法 编程理论与回答集编程 约束优化问题研究 采样方法研究 梯度下降优化算法 矩阵运算及其应用 损失函数及优化算法 推理方法研究 分布式约束优化方法研究
4	规划问题	哈希算法优化及应用 规划问题研究 机器人及多代理系统计划研究 搜索算法研究 路径规划研究 抽象问题研究
5	自然语言处理技术	文本嵌入研究及实现 语义分析方法研究 知识图谱技术 神经网络机器翻译 情感分析技术 关系抽取与分类技术 多文档自动摘要方法研究 词嵌入技术 主题模型优化及应用 自然语言处理技术 智能对话系统 特征提取技术 语义分类研究 矩阵分解技术 意见评论观点挖掘技术 推荐系统研究 张量代数及张量分解
6	自动问答技术	自动问答技术 注意力模型研究及应用 时间递归神经网络及长短期记忆模型 序列学习研究
7	图像处理技术	对象识别技术 深度图像与深度估计技术 场景理解技术 光度立体视觉技术 图像处理技术 三维重建技术 图像色彩处理技术 风格迁移技术 三维形状描述及识别技术 视频及图像分割技术 图像自动描述技术 相机校准及相机姿态估计 相机校准技术
8	视频处理技术	视频动作识别技术 视频分析技术 动作识别技术 行为识别技术 人体行为识别技术
9	图像匹配技术	图像匹配技术 行人再识别技术 特征选择与特征学习 人脸对齐与关键点检测 情绪识别技术 图像对齐技术 卷积神经网络算法优化及应用 机器视觉识别技术 图像配准技术 属性学习与属性识别预测 图像描述符研究
10	视觉跟踪技术	滤波技术 视觉追踪技术 目标跟踪技术
11	对象检测技术	对象检测与识别技术 定位技术 目标潜在区域提取算法 视觉显著性检测技术
12	机器人技术	机器人技术及应用 机器人智能抓握技术 智能控制技术 机器人行走控制技术 智能导航技术 外骨骼机器人技术 传感器技术及应用 机器人智能控制器技术 自动驾驶技术 智能机器人力觉感知技术 轨迹规划及优化 人工智能与激光技术应用 机器人驱动器及控制技术 服务机器人技术及应用 智能机械手技术
13	智能多代理系统	知识表示与逻辑推理 智能代理与多代理系统 本体理论和技术 人机信任研究 分配问题研究 网络安全防御研究 人工智能与博弈论 游戏联盟形成研究 信念修正与信念传播研究 模型检测技术 查询处理技术及应用 仿真模拟研究
14	其他	选举投票问题 规则学习 众包任务分配及控制技术 论证模式及理论研究 拍卖问题及其智能优化算法 市场智能定价与交易 能源智能管理和控制技术 隐私保护与管理研究

表 3 人工智能领域各热点技术大类发文量全球排名及 Top5 机构

Tab.3 Global ranking and Top5 institutions of hotspot technologies in artificial intelligence

序号	技术大类	发文量全球排名 (美国 / 中国)	发文量 Top5 机构 (发文篇数)
1	机器学习算法及应用	1 / 2	卡内基梅隆大学 (148) 微软研究院 (103) 中国科学院 (99) 加利福尼亚大学 (89) 清华大学 (74)
2	强化学习算法	1 / 5	加利福尼亚大学 (42) DeepMind 实验室 (41) 斯坦福大学 (33) 卡内基梅隆大学 (32) 麻省理工学院 (25)

3	近似及优化算法	1 / 2	加利福尼亚大学 (66) 麻省理工学院 (65) 斯坦福大学 (64) 微软研究院 (60) 苏黎世联邦理工学院 (60)
4	规划问题	1 / 2	卡内基梅隆大学 (93) 清华大学 (82) 微软研究院 (62) 北京大学 (61) 中国科学院 (60)
5	自然语言处理技术	1 / 2	微软研究院 (35) 卡内基梅隆大学 (21) 中国科学院 (17) 清华大学 (15) 北京大学 (14)
6	自动问答技术	1 / 2	卡内基梅隆大学 (44) 本·古里安大学 (25) 中国科学院 (24) 巴塞尔大学 (24) IBM 研究院 (23)
7	图像处理技术	1 / 2	微软研究院 (91) 加利福尼亚大学 (74) Adobe 研究院 (74) 中国科学院 (73) 卡内基梅隆大学 (68)
8	视频处理技术	1 / 2	卡内基梅隆大学 (38) 加利福尼亚大学 (25) 中国科学院 (21) 斯坦福大学 (21) 法国国家信息与自动化研究所 (18)
9	图像匹配技术	1 / 2	中国科学院 (88) 微软研究院 (45) 清华大学 (42) 卡内基梅隆大学 (38) 加利福尼亚大学 (38)
10	视觉跟踪技术	1 / 2	中国科学院 (24) 牛津大学 (12) 法国国家信息与自动化研究所 (10) 浙江大学 (10) 卡内基梅隆大学 (9)
11	对象检测技术	1 / 2	加利福尼亚大学 (11) 苏黎世联邦理工学院 (9) 新加坡国立大学 (9) 大连理工大学 (8) 清华大学 (7)
12	机器人技术	1 / 7	卡内基梅隆大学 (87) 麻省理工学院 (65) 法国国家科学研究中心 (64) 加利福尼亚大学 (48)

			意大利技术研究院 (43)
13	智能多代理系统	1 / 7	牛津大学 (73) 法国国家科学研究中心 (64) 南加州大学 (55) 卡内基梅隆大学 (51) 南洋理工大学 (43)
14	其他	1 / 4	法国国家科学研究中心 (39) 牛津大学 (31) 卡内基梅隆大学 (29) 微软研究院 (25) 南洋理工大学 (18)

机器学习子领域的技术大类包含机器学习算法及应用、强化学习算法、近似及优化算法和规划问题共 4 项。其中，热点技术主要包括回归、聚类、分类、近似、估计和优化等基础算法的改进研究；迁移学习、多核学习和多视图学习等新型学习方法；策略网络和时间差分学习等强化学习基本方法；机器人及多代理系统计划、路径规划等问题研究；机器学习算法在事件检测、位置识别和社交网络分析中的应用以及强化学习在智能决策中的应用研究。在上述 4 项技术大类中，美国发文量均居全球首位，中国在机器学习算法及应用、近似及优化算法和规划问题研究方面仅次于美国，但强化学习研究发文量居全球第 5 位，相对靠后。国内机构在机器学习算法及应用、规划问题研究方面表现较为突出，中国科学院、清华大学和北京大学的发文量位居全球前列。

自然语言处理子领域的技术大类包含自然语言处理技术和自动问答技术共 2 项。其中，热点技术主要包括特征提取、语义分类、词嵌入、主题模型、关系抽取与分类、知识图谱、注意力模型和长短期记忆模型等基础技术研究，还包括智能自动问答、机器翻译、情感分析、推荐系统等应用研究。在上述 2 项技术大类中，美国发文量均居全球首位，中国紧随其后。中国科学院在这 2 项技术大类的发文量均居全球前列，清华大学和北京大学也表现不俗。

计算机视觉子领域的技术大类包含图像处理技术、视频处理技术、图像匹配技术、视觉跟踪技术和对象检测技术共 5 项。其中，热点技术主要包括视频图像分割、对齐、检测、识别及跟踪所涉及的核心技术研究；三维重建、光度立体视觉、相机校准、行人再识别、人脸对齐与关键点检测等应用研究。在上述 5 项技术大类中，也都是美国发文量居全球首位，中国紧随其后。中国科学院在图像匹配和视觉跟踪技术上的发文量均居全球首位，在图像处理和视频处理技术上也位居全球前列，此外，浙江大学、大连理工大学和清华大学也表现不俗。

机器人子领域的热点技术主要包括机械手、抓握、行走、感知和驱动等智能控制技术研究，同时还包括外骨骼机器人、服务机器人和机器人传感器等硬件基础和软件优化研究。此外，人工智能领域的热点技术还包括智能多代理系统，以及众包、拍卖、市场定价、能源管理和隐私保护等相关问题的研究。在上述技术大类中，美国发文量均居全球首位，中国在机器人和智能多代理系统研究方面发文量居全球第 7 位，相对靠后。同时，国内机构在上述技术大类下的发文量均未能进入全球 Top5。

2.2 人工智能共性技术

人工智能领域的共性技术可对其他研究方向和技术主题产生广泛影响，反映出人工智能领域的重要研发基础和技术前沿。以人工智能领域热点技术分布网络（**错误!未找到引用源。**）为对象，计算网络中各节点的限制度指标并升序排列，取 Top20 的热点技术作为人工智能领域的共性技术（**错误!未找到引用源。**）。

表 4 人工智能领域共性技术详表

Tab.4 Details of generic technologies in artificial intelligence

共性技术	类簇内 文献数量	限制度 (对数值)	技术研究内容示例
用于预测推断的机器学习方法	450	-3.414	链路预测、死亡风险预测、生存预测、自适应预测模型、人际关系推断、时间序列预测、引文推荐、冰雹预测、受限玻尔兹曼机、药物不良反应预测、人格预测
机器学习算法研究及应用	394	-3.382	主动学习、多模态机器学习、互动关系学习、多标签学习、边缘化去噪、在线增强学习算法、相似性度量学习、主动流形学习

约束优化问题研究	140	-3.361	机会约束、约束优化问题搜索、约束规划、约束最短路径问题、线性约束、排序约束、约束推理、非线性约束、微分动态规划、信息路径规划、预算约束
序列学习研究	89	-3.359	导航指令到动作序列的神经映射、深度序列卷积、序列生成对抗网络、序列建模、最大连续子序列、序列学习
基于树的学习算法	92	-3.358	循环决策树学习、贝叶斯分类树、随机深林回归、随机决策树、大规模图像检索、深层神经决策森林
时间递归神经网络及长短期记忆模型	90	-3.355	LSTM 递归神经网络、认知架构、分层时态记忆、长短期记忆网络、空间记忆、记忆增强神经网络、认知转移神经元
推理方法研究	213	-3.354	近似推理、扩展关系推理、结构化推理网络、马尔可夫随机场推理、高阶逻辑推理、双重分解推理、变分推理、随机变分推理
特征选择与特征学习	169	-3.351	子模块非对称特征选择、无监督特征选择、音频特征学习、结构化特征学习、特征聚合、正交基聚类特征选择
图论及网络优化研究	71	-3.35	强双向连续图、可扩展图嵌入、因果图学习、高效修剪大型知识图、稀疏图、最大权重集团问题
分类算法应用	212	-3.349	跨语言文本分类、知识转移、多标签图像分类、循环卷积神经网络、深度堆叠网络、多任务学习、细粒度图像分类、多模态分类、大规模图像分类
机器视觉识别技术	181	-3.348	目标识别、零次学习、复杂场景人脸识别、纹理识别和图像分割、语义映射路径、深度超球面嵌入、细粒度图像识别、零样本动作识别
多示例学习研究	76	-3.348	多示例学习、子空间学习、多示例图像检索、多示例多标签学习、多示例度量学习、实例分割、多示例深度学习
最优化理论及算法	292	-3.347	凸优化、随机优化、贝叶斯超参数优化、组合优化、高维多目标优化问题、黎曼优化、稳健成本优化、时空复杂度优化
位置识别技术	55	-3.346	社交媒体地理分析、大规模位置识别、视觉地理定位、相机位姿估计、3D 位置、端到端房间布局估算
图像对齐技术	79	-3.343	匹配追踪、人脸姿势估计与人脸对齐、无监督对齐
传感器技术及应用	124	-3.343	参与式感知、深度多目标跟踪、分布式传感器网络、智能手机惯性传感器、传感器融合、分布式多机器人、可穿戴柔软人造皮肤、嵌入式微流体应变传感器
搜索算法研究	174	-3.343	启发式搜索、局部搜索、双向搜索、蒙特卡罗树搜索、双向启发式图搜索、大规模并行 A* 搜索、渐进式神经网络结构搜索、随机局部搜索
损失函数及优化算法	110	-3.343	损失函数、交叉熵损失函数、梯度下降、全方位优化算法、神经网络超参数优化
回归算法研究	148	-3.342	工具变量回归、稀疏线性回归、多视图相似度、线性回归、多输出回归
社交媒体分析	79	-3.340	多源异构社交媒体、信息可信度评估、社交媒体内容流行度、多模态感知、政治意识形态倾向性分析预测、社交媒体短文本分类

机器学习子领域占据 15 项共性技术，包括推理、特征选择与特征学习、图论、分类、搜索、回归等基础算法研究，以及约束优化、网络优化、最优化理论、损失函数及优化等机器学习算法优化方法探索，还包括序列学习、树学习、长短期记忆模型、多示例学习等新型学习方法实践，此外，也涉及到机器学习算法在生存预测、人机关系推断、药物不良反应预测方面的应用研究。由此可见，机器学习方法强大的赋能性推动了人工智能技术和应用的发展升级，各类机器学习共性技术为其他子领域研究实践奠定了坚实的方法和算法基础。

计算机视觉子领域占据 3 项共性技术，包括位置识别和图像对齐所涉及的核心技术研究，此外，还包括多标签对象识别、人脸识别、纹理识别、零次动作识别等机器视觉识别技术的研究和应用实践。机器人子领域中，传感器技术及应用作为一种共性技术，对于机器人的智能控制起到非常重要的作用，使其拥有类人的感知功能和反应能力，其中，分布式传感器网络、多传感器融合以及嵌入式微流体应

变传感器等新型传感器是当下的技术研发前沿。

2.3 人工智能新兴技术

人工智能领域的新兴技术代表最新出现且短时间内受到广泛关注的研究方向和技术主题，反映出人工智能领域内具有重要潜在影响的新近研究热点。以会议论文关键词为分析数据，采用 Sci2 tool 工具的 Burst Detection 算法计算各个关键词的突发指标，根据突发权重和突发等级降序排列，选取最高突发等级且尚未进入突发稳定状态的 Top15 关键词作为人工智能领域的新兴技术。

在人工智能领域的新兴技术中，深度学习技术出现频率最高，包括深度神经网络、对抗网络、对抗学习、注意力机制、深度卷积神经网络、长短期记忆网络等。其中，生成对抗网络和注意力机制近年来的研究热度快速上升，已成为深度学习非常重要的模型和工具，前者可用于真实数据的建模与生成，如图像、视频、自然语言和音乐等，后者则在图像处理、语音识别和自然语言处理方面有广泛应用。此外，强化学习、案例推理和演化算法等机器学习方法，图像增强、信号编码等计算机视觉技术，以及自主代理和多代理系统等均为人工智能领域的新兴技术。

表 5 人工智能领域新兴技术详表

Tab.5 Details of emerging technologies in Artificial Intelligence

新兴技术		突发权重 ¹⁾	突发时长 ²⁾	突发开始时间
英文	中文			
Deep learning	深度学习	79.24196	2	2017
Autonomous agents	自主代理	52.63567	1	2018
Multi agent systems	多代理系统	46.30415	1	2018
Image enhancement	图像增强	41.60415	2	2017
Reinforcement learning	强化学习	40.9284	1	2018
Deep neural networks	深度神经网络	40.05303	2	2017
Adversarial networks	对抗网络	35.22902	2	2017
Learning systems	学习系统	24.27039	1	2018
Attention mechanisms	注意力机制	19.68163	2	2017
Signal encoding	信号编码	19.31008	2	2017
Deep convolutional neural networks	深度卷积神经网络	16.58573	2	2017
Adversarial learning	对抗学习	12.43115	1	2018
Long short-term memory	长短期记忆网络	10.49418	2	2017
Case based reasoning	案例推理	10.08465	1	2018
Evolutionary algorithms	演化算法	9.443434	1	2018

1) 突发权重：受突发等级和突发时长影响，与上述两指标成正相关关系；2) 突发时长：突发持续的时长，即突发稳定年-突发开始年+1。

3 结论

基于人工智能高水平会议论文数据，利用无监督聚类、复杂网络结构洞理论和突发检测算法，从热点技术、共性技术和新兴技术三个方面挖掘分析人工智能领域的关键技术。根据上述分析结果可知：

人工智能领域共包含 14 个大类、132 项热点技术，其中，机器学习子领域的热点技术主要包括基础算法的优化改进和实际应用，以及迁移学习、强化学习、多核学习和多视图学习等新型学习方法的研究探索等；自然语言处理子领域的热点技术主要包括特征提取、语义分类、词嵌入等基础技术和模型研究，以及智能自动问答、机器翻译等应用研究；计算机视觉子领域的热点技术主要包括视频图像分割、对齐、检测等所涉及的核心技术研究，以及三维重建、光度立体视觉、行人再识别等应用研究；机器人子领域的热点技术主要包括机械手、抓握、行走、感知和驱动等智能控制技术研究，以及外骨骼机器人和机器人传感器等硬件基础和软件优化研究。

人工智能领域的共性技术主要分布在机器学习、计算机视觉和机器人子领域，其中，机器学习方法强大的赋能性推动了人工智能技术和应用的发展升级，各类机器学习共性技术为其他领域研究实践奠定了坚实的方法和算法基础。

人工智能领域的新兴技术主要集中在深度学习方面，生成对抗网络和注意力机制是其中的典型代

表,此外,新兴技术还包括强化学习、自主代理和多代理系统等。

人工智能作为一门基础研究和实践应用并重的技术科学,其热点技术既包含机器学习基础算法的改进优化,也涵盖自然语言处理、计算机视觉和机器人等通讯、感知和行动层面的应用研究。而通过热点技术遴选得到的共性技术则赋能了人工智能基础研究和实践应用进步,机器学习基础算法在不断进化的同时,也为相关研究方向提供了新思路、新方法和新手段,同样,机器视觉核心技术和传感器技术在也分别在计算机视觉和机器人领域起到至关重要的作用。热点技术和共性技术旨在揭示人工智能领域的技术全貌及核心技术方向,而新兴技术则从关键词层面细粒度揭示突发的技术研究内容,深度学习中的生成对抗网络和注意力机制作为人工智能新兴技术的典型代表,具有广泛的实践应用场景,对人工智能发展具有重要的潜在影响。

人工智能已成为全球重点关注的研究和领域,国际竞争日益激烈。美国在人工智能领域各热点技术大类下的发文量均位居全球首位,且遥遥领先于其他国家。中国在机器学习、自然语言处理、计算机视觉等多个技术大类下的发文量仅次于美国,但在强化学习、机器人、智能多代理系统研究方面发文量排名相对靠后,与美国、德国、法国、日本和英国等国家存在一定差距。此外,中国科学院在多个技术大类下的发文量均位居全球前列,清华大学、北京大学、浙江大学和大连理工大学也表现不俗,但与卡内基梅隆大学、微软研究院、麻省理工学院等美国著名高校和企业存在不小差距。

参考文献

- [1] 谭铁牛. 人工智能的发展趋势及对策[N]. 中华工商时报,2019-02-25(003).
TAN Tieniu. Development Trends and Countermeasure of Artificial Intelligence[N]. China Business Times, 2019-02-25(003).
- [2] MESR.La stratégie IA. pour faire de la France un acteur majeur de l'intelligence artificielle[EB/OL]. 2018-03-29. <http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid128618/la-strategie-ia-pour-faire-de-la-france-un-acteur-majeur-de-l-intelligence-artificielle.html>.
MESR. The AI Strategy: Make France a Major Player in Artificial Intelligence[EB/OL]. 2018-03-29. <http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid128618/la-strategie-ia-pour-faire-de-la-france-un-acteur-majeur-de-l-intelligence-artificielle.html>.
- [3] The White House Office of Science and Technology Policy (OSTP). White House Hosts Summit on Artificial Intelligence for American Industry[EB/OL]. 2018-05-10. <https://www.whitehouse.gov/articles/white-house-hosts-summit-artificial-intelligence-american-industry/>, <http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2018/5/412237.shtm>.
- [4] Die Bundesregierung. Strategie Künstliche Intelligenz der Bundesregierung[EB/OL]. 2018-11. https://www.bmbf.de/files/Nationale_KI-Strategie.pdf.
Die Bundesregierung. Federal Government adopts Artificial Intelligence Strategy[EB/OL]. 2018-11. https://www.bmbf.de/files/Nationale_KI-Strategie.pdf.
- [5] The White House Office of Science and Technology Policy (OSTP). Accelerating America's Leadership in Artificial Intelligence[EB/OL]. 2019-02-11. <https://www.whitehouse.gov/articles/accelerating-americas-leadership-in-artificial-intelligence/>.
- [6] 清华大学. 中国人工智能发展报告 2018 [R].北京:清华大学, 2018.
Tsinghua University. China Artificial Intelligence Development Report 2018[R]. Beijing: Tsinghua university, 2018.
- [7] 中国计算机学会. 中国计算机学会推荐国际学术刊物(人工智能)[EB/OL]. 2018-12. <http://www.ccf.org.cn/xspj/rgzn/>.
China Computer Federation. Recommendations of International Academic Journals and Conferences by China Computer Federation[EB/OL]. 2018-12. <http://www.ccf.org.cn/xspj/rgzn/>.
- [8] 刘军. 整体网分析讲义: UCINET 软件实用指南[M]. 上海:格致出版社/上海人民出版社, 2009.
LIU Jun. Lectures on Whole Networks Approach: A Practical Guide to UCINET[M]. Shanghai: Truth & Wisdom Press/Shanghai People's Publishing House, 2009.
- [9] RAIDER H J. Market Structure and Innovation[J]. Social Science Research, 1998, 27(1): 1-21.
- [10] 江娴, 魏凤. 基于专利分析的共性技术识别研究框架[J]. 情报杂志, 2015, 34(12): 79-84.

- JIANG Xian, WEI Feng. Research Framework for Identifying Generic Technology Based on Patent Analysis [J]. Journal of Intelligence, 2015, 34(12): 79-84.
- [11] 叶春蕾. 基于 Web of Science 学科分类的主题研究领域跨学科态势分析方法研究[J]. 图书情报工作, 2018, 62(2): 127-134.
- YE Chunlei. Research on the Method of Interdisciplinary Analysis in the Subject Research Field Based on the Subject Categories of WoS[J]. Library and Information Service, 2018, 62(2): 127-134.
- [12] 王海龙, 和法清, 丁堃. 基于社会网络分析的专利基础技术识别——以半导体产业为例[J]. 情报杂志, 2017, 36(4): 78-84.
- WANG Hailong, HE Faqing, DING Kun. An Identifying Method of Industrial Essential Technologies Based on Social Network Analysis: Semiconductor Industry as a Case[J]. Journal of Intelligence, 2017, 36(4): 78-84.
- [13] TEAM S. Science of Science (Sci2) Tool: Indiana University and SciTech Strategies[EB/OL]. 2009. <https://sci2.cns.iu.edu/user/index.php>.