



Report on
Artificial Intelligence Development

人工智能 发展报告 2011-2020

清华大学人工智能研究院

清华 - 中国工程院知识智能联合研究中心

核心发现

- 1.** 科技情报大数据挖掘与服务系统平台 **AMiner** 评选出过去十年**十大 AI 研究热点**，分别为：深度神经网络、特征抽取、图像分类、目标检测、语义分割、表示学习、生成对抗网络、语义网络、协同过滤和机器翻译。
- 2.** 过去十年有 5 位人工智能领域学者获得图灵奖殊荣，分别是在计算理论做出重要贡献的 Leslie Valiant，通过概率和因果推理促进人工智能发展的 Judea Pearl，以及在深度神经网络概念和工程上做出重大突破的 Yoshua Bengio、Geoffrey Hinton 和 Yann LeCun。
- 3.** 过去十年人工智能国际顶刊顶会的最佳论文奖项较多授予的领域是**计算理论、安全与隐私和机器学习**。
- 4.** 人工智能不同子领域论文的最高引用量量级跨度很大。最高引用量前十的论文研究主题以机器学习为首，其次是计算机视觉领域研究，二者的论文引用率均达到 25 万次以上。
- 5.** 中国在自然语言处理、芯片技术、机器学习、信息检索与挖掘等 10 多个 AI 子领域的科研产出水平都紧随美国之后，居于世界

前列；在多媒体与物联网领域的论文产出量超过美国，居于全球第一；而在人机交互、知识工程、机器人、计算机图形、计算理论领域，中国还需努力追赶。

6. 全球范围内，美国 AI 高层次学者的数量最多，占比 62.2%，是第二位国家（中国）AI 高层次学者数量的 6 倍以上。

7. **清华大学**是唯一入选全球人工智能领域高层次学者数量 TOP10 的中国机构。

8. 国内人工智能领域高层次人才主要分布在京津冀、长三角和珠三角地区。四成以上的 AI 高层次人才集聚在北京。

9. 过去十年全球人工智能专利申请量 521264。中国专利申请量为 389571，位居世界第一，占全球总量的 74.7%，是排名第二的美国专利申请量的 8.2 倍。

10. 人工智能未来重点发展的技术方向包括：强化学习、神经形态硬件、知识图谱、智能机器人、可解释性 AI、数字伦理、知识指导的自然语言处理等。

目录

1	前言.....	1
2	报告相关说明.....	3
	2.1 研究方法.....	3
	2.2 研究领域划分.....	4
	2.3 研究范围：国际顶级期刊和会议.....	6
3	人工智能发展历程.....	7
	3.1 人工智能的三次发展浪潮.....	7
	3.2 人工智能理论三个阶段.....	10
	3.3 人工智能技术发展脉络.....	12
	3.4 人工智能技术成熟度.....	14
4	人工智能过去十年研究进展.....	21
	4.1 全球高水平论文发表情况.....	21
	4.2 获得图灵奖的人工智能技术.....	23
	4.3 媒体评选出的重大人工智能技术.....	28
	4.4 国际顶会顶刊最佳论文授予领域分析.....	32
	4.5 国际顶会顶刊领域高影响力论文分析.....	36
	4.6 AMiner：过去十年十大人工智能研究热点.....	43
	1. 深度神经网络.....	44
	2. 特征抽取.....	45
	3. 图像分类.....	45
	4. 目标检测.....	46
	5. 语义分割.....	46
	6. 表示学习.....	47
	7. 生成对抗网络.....	47
	8 语义网络.....	48
	9. 协同过滤.....	48
	10. 机器翻译.....	49
5	人工智能子领域研究现状与趋势.....	50

5.1 机器学习.....	50
5.1.1 机器学习概念.....	50
5.1.2 机器学习过去十年主要进展.....	52
5.1.3 机器学习经典算法.....	52
5.1.4 深度学习主要模型.....	67
5.1.5 机器学习技术研究趋势.....	83
5.2 自然语言处理.....	84
5.2.1 自然语言处理概念.....	84
5.2.2 自然语言处理过去十年主要进展.....	86
5.2.3 自然语言处理技术研究趋势.....	89
5.3 知识工程.....	91
5.3.1 知识工程概念.....	91
5.3.2 知识工程过去十年主要进展.....	92
5.3.3 知识工程领域技术研究趋势.....	96
5.4 信息检索与推荐.....	98
5.4.1 信息检索与推荐概念.....	98
5.4.2 信息检索与推荐技术过去十年主要进展.....	99
5.4.3 信息检索与推荐技术研究趋势.....	102
5.5 计算机视觉.....	104
5.5.1 计算机视觉概念.....	104
5.5.2 计算机视觉过去十年主要进展.....	105
5.5.3 计算机视觉研究趋势.....	107
5.6 语音识别.....	109
5.6.1 语音识别概念.....	109
5.6.2 语音识别过去十年主要进展.....	110
5.6.3 语音识别研究趋势.....	112
5.7 机器人.....	114
5.7.1 机器人概念.....	114
5.7.2 机器人过去十年主要进展.....	115

5.7.3 机器人研究趋势.....	117
5.8 数据挖掘.....	119
5.8.1 数据挖掘概念.....	119
5.8.2 数据挖掘过去十年主要进展.....	119
5.8.3 数据挖掘研究趋势.....	121
5.9 人机交互.....	122
5.9.1 人机交互概念.....	122
5.9.2 人机交互过去十年主要进展.....	122
5.9.3 人机交互研究趋势.....	125
5.10 可视化.....	127
5.10.1 可视化技术概念.....	127
5.10.2 可视化技术过去十年主要进展.....	128
5.10.3 可视化技术研究趋势.....	131
5.11 其他人工智能外延技术.....	133
5.11.1 经典 AI	133
5.11.2 安全与隐私.....	134
5.11.3 芯片技术.....	135
5.11.4 数据库.....	138
5.11.5 计算机图形.....	143
5.11.6 多媒体.....	148
5.11.7 计算理论.....	154
5.11.8 计算机网络.....	155
5.11.9 计算机系统.....	156
5.11.10 物联网.....	158
6 人工智能领域高层次人才现状.....	160
6.1 全球 AI 领域高层次人才分析	160
6.1.1 国家地区分布.....	161
6.1.1 高层次学者数量 TOP10 国家	162
6.1.3 所在机构分布.....	162

6.2	中国 AI 领域高层次人才分析	163
6.2.1	省市地区分布.....	163
6.2.2	高层次学者数量 TOP10 国内城市	164
6.2.3	所在机构分布.....	165
6.3	中国 AI 高层次人才的国际合作论文分析	166
6.5	代表性高层次 AI 学者	167
6.6	中国 AI 高层次人才培养	170
7	人工智能专利分析.....	172
7.1	全球 AI 专利分析	172
7.1.1	专利申请趋势.....	172
7.1.2	专利申请国家/地区排名	173
7.1.3	申请人排名.....	173
7.2	中国 AI 专利分析	175
7.2.1	国内 AI 专利申请趋势	175
7.2.2	专利申请量省市排名.....	175
7.2.3	申请人排名.....	176
8	人工智能技术应用：赋能其他行业发展.....	177
8.1	智慧医疗.....	177
(1)	医疗影像智能诊断.....	178
(2)	新药研发.....	180
(3)	基因测序.....	181
8.2	智慧金融.....	183
(1)	智能风控.....	184
(2)	智慧银行.....	184
(3)	智慧投顾.....	186
8.3	智慧城市.....	188
(1)	智能政务.....	189
(2)	智能基础设施系统.....	191
(3)	智能交通.....	192

8.4 智慧教育.....	196
(1) 智慧校园.....	197
(2) 智慧课堂.....	197
(3) 智适应教学.....	199
8.5 智能制造.....	200
(1) 智能工厂.....	201
(2) 智能物流.....	204
(3) 智能系统.....	205
9 人工智能发展的机遇和挑战.....	207
9.1 人工智能未来发展机遇.....	207
9.1.1 全球主要经济体 AI 发展支持政策	207
9.1.2 中国 AI 发展支持政策	212
9.2 人工智能未来技术研究方向.....	214
9.3 人工智能发展面临的问题.....	218
9.3.1 安全与伦理挑战.....	218
9.3.2 国家之间技术限制.....	219
附录 1 人工智能领域国际顶级期刊和会议.....	223
附录 2 全国 70 所高校人工智能学院、研究院、研究所名单.....	224

1 前言

人工智能在过去十年中从实验室走向产业化生产，重塑传统行业模式、引领未来的价值已经凸显，并为全球经济和社会活动做出了不容忽视的贡献。

当前，人工智能已经迎来其发展史上的第三次浪潮。人工智能理论和技术取得了飞速发展，在语音识别、文本识别、视频识别等感知领域取得了突破，达到或超过人类水准，成为引领新一轮科技革命和产业变革的战略性技术。人工智能的应用领域也快速向多方向发展，出现在与人们日常生活息息相关的越来越多的场景中。

全球经济体都高度重视人工智能领域的科学研究和产业发展，不仅意识到人工智能是各国新一轮经济竞争的核心驱动力，而且也都意识到能够推动技术突破和创造性应用的高端人才对人工智能发展的至关重要作用。在中国，人工智能相关的学院、研究院、企业组织在 2013、2014、2015 年左右如雨后春笋般接连出现。政府、高校、企业各方都积极投入到人工智能的发展和应用中。

对于人工智能的未来，人类有很大期待，也有很多争论。有人认为今后十年人工智能将进入人类生活中每一个领域，为各行业赋能，将深刻改变世界的生产和生活方式，带来更多商业利益和社会效益；也有人对人工智能的未来发展表示担忧，认为人工智能将是人类生存所面对的最大威胁。

未来十年，人工智能技术将实现从感知智能到认知智能的新突破。中国科学院张钹院士、中国工程院李德毅院士和王恩东院士等业界人士指出，人工智能已经历计算智能、感知智能，将迈入认知智能的技术阶段。中科院院士、清华大学人工智能研究院院长、计算机系教授张钹多次指出，第三代人工智能是实现可解释的、鲁棒的、可信安全的智能系统，依靠知识、数据、算法和算力四个要素，将实现从不带认知的人工智能转变为带认知的人工智能。美国国防部 DARPA 提出第三代人工智能是能够实现情景自适应的并且具有感知、推理、规划和学习能力的智能系统^[1]。数据驱动的方法如何利用知识表示和推理获得智能系统的可解释和鲁棒性是当前人工智能的发展趋势，也是面临的重要挑战。图灵奖获得者

^[1] Gunning, D., & Yeh, P. Z. (2016). Introduction to the Special Issue on Innovative Applications of Artificial Intelligence 2015. *AI Magazine*, 37(2), 5-6.
<https://doi.org/10.1609/aimag.v37i2.2624>

Bengio^[2]也指出未来深度学习的研究将发展到系统 2（有意识地完成）的深度学习，实现系统 2 的逻辑推理功能。

本报告旨在展现人工智能发展所经历的重大科研进展、成果产出、技术影响力、人才储备，并且从人工智能技术发展的角度，阐述人工智能取得的重要成果，尤其大数据时代人工智能最具代表性的内容；介绍了全球主要国家人工智能战略支持政策和人才储备，尤其是各子领域高层次人才现状；最后深入探讨了人工智能的未来发展蓝图，理论、技术和应用方面的重大变化与挑战，以及如何赋能其他产业发展等议题。

^[2] Yoshua Bengio. (2019). Towards Compositional Understanding of the World by Agent-Based Deep Learning [Invited talk at the NeurIPS'2019 workshop on Context and Compositionality in Biological and Artificial Neural Networks], Vancouver, BC.

2 报告相关说明

2.1 研究方法

本报告综合采用了定量和定性相结合的研究方法。报告中的相关科技情报技术和人才分析，主要借助科技情报大数据挖掘与服务系统平台 AMiner，利用大数据分析和挖掘技术，采用了 2011-2020 年期间人工智能领域的顶级期刊和会议（详见附录，共计 44 个）所收录的全部论文数据和专利数据。

1.人才分析法

通过挖掘和分析论文数据，获取论文学者信息，通过命名排歧和信息抽取等大数据分析挖掘和人工智能技术，对人工智能领域的专家学者进行学者画像，构建人工智能领域人才智库，然后根据学者画像信息进行领域人才相关分析。此外，还抽取论文作者的供职机构和国家信息，对机构的研究者和论文数量进行统计。

本报告中，对人工智能的人才分析包括作者所在机构，所属国家和城市分析等多个维度。AMiner 按照发表在人工智能领域或子领域的论文数量进行排序，得到全领域和子领域中排名 TOP10 的国家、机构以及国内城市名单。

此外，本报告还针对高层次学者进行了专门分析。人工智能领域**高层次学者**的判定原则是指被评选进入 AI2000 人工智能全球最具影响力学者榜单（以下称为 AI2000）的学者。AI2000 涵盖人工智能学科 20 个子领域，具体评选规则与遴选方法是为每个子领域每年选出 10 名获奖者；每年遴选时，参考过去 10 年该领域最有影响力的期刊和会议^[3]所发表论文的引用情况，排名前 10 的学者当选该领域当年“AI2000 最具影响力学者奖”，排名前 100 的其他学者获“AI2000 最具影响力学者提名奖”。榜单通过 AMiner 系统中所收录的数据采用智能算法自动化生成，确保了榜单的客观、公平、公正、公开。榜单采用的引用数据来源于 Google Scholar。有关 AI 各子领域更多的影响力学者信息，请参见详情页 <https://www.aminer.cn/ai2000>。

2.技术趋势分析法

借助 AMiner 平台，通过挖掘和分析期刊会议的论文数据，获取人工智能 20

^[3] 具体期刊和会议的名称列表请参见附录。

个子领域相关的论文中关键词，统计这些关键词的起止年份，再按照窗格统计词频，进行词频分析和对比；同时，构建该领域的知识图谱，再综合运用知识图谱、自然语言处理、可视化、文献计量学等技术手段，基于论文和学者数据，分析得到人工智能及其子领域的技术研究热点和发展趋势方向。

3. 技术研究热点榜单研究方法

人工智能技术研究热点榜单旨在通过 AMiner 学术数据库在全球研究范围内遴选每年度 10 项人工智能学科最有影响力的技术。

具体方法为参考人工智能领域在顶级期刊和会议过去 10 年所发表论文，从标题和摘要信息中抽取论文技术研究主题和所在子领域，并按照该技术主题研究的论文发表数量、论文引用量和该技术主题进入每个会议高引论文前十名的次数（即该技术的领域引用特征）进行综合评测排序，通过 AI 算法计算出该研究主题的 AMiner 影响力指数，以此获得人工智能领域研究热点的总榜单，评选出当年的“十大 AI 研究热点”。其中，领域的国际顶级期刊和会议由技术委员会专家确定，共计包括 44 个人工智能领域顶级会议，具体名称详见附录 1。

有关 AI 领域更多的榜单信息，请参见详情页 <https://aiopenindex.aminer.cn/>。

2.2 研究领域划分

人工智能既是计算机科学的一个分支，又是一个融合了多种学科的交叉学科，加上其最近几年的高速发展，内涵和外延也在不断的变化，新兴的子领域不断涌现，工业界和学术界并没有一个对人工智能的明确定义。

本报告综合参考了计算机领域较为公认的权威性机构关于学科的分类方法，这些机构包括：国际计算机学会（Association for Computing Machinery, ACM），中国计算机学会（China Computer Federation, CCF）和电气与电子工程师协会（Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE），同时又融合了国内外专家学者的建议，选择了自然语言处理、芯片技术、机器学习、信息检索与推荐、人机交互、知识工程、语音识别、计算机视觉、机器人、数据挖掘、经典 AI、数据库、计算机图形、多媒体、可视化、安全与隐私、计算机网络、计算机系统、计算理论和物联网作为 20 个人工智能子领域进行研究，如图 2-1 所示。

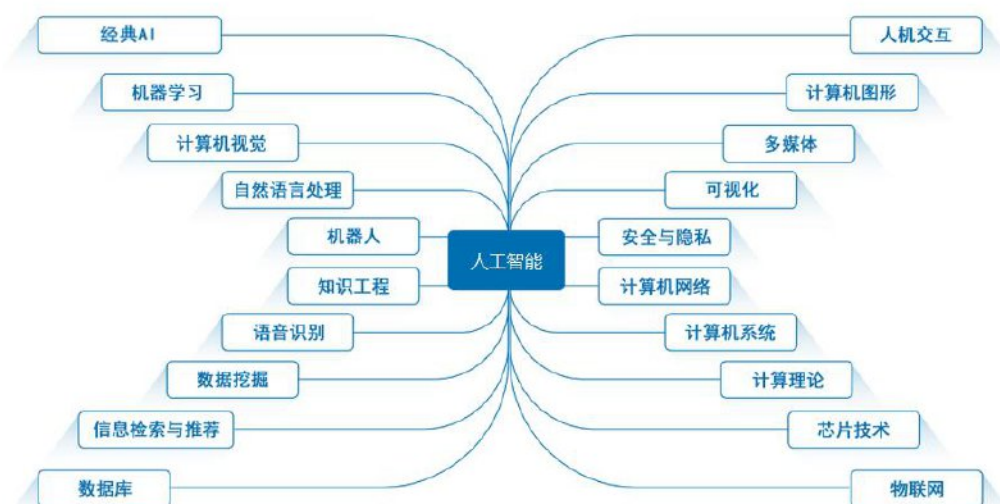


图 2-1 人工智能各子领域导图

根据技术的独立性特征，人工智能 20 个子领域可以进一步分为以机器学习、自然语言处理、知识工程、信息检索与推荐、计算机视觉、语音识别和机器人等为核心的七个人工智能关键技术，以及人机交互、数据挖掘、芯片技术、经典 AI、数据库、计算机图形、多媒体、可视化、安全与隐私、计算机网络、计算机系统、计算理论和物联网等十三个人工智能外延技术，如图 2-2 所示。

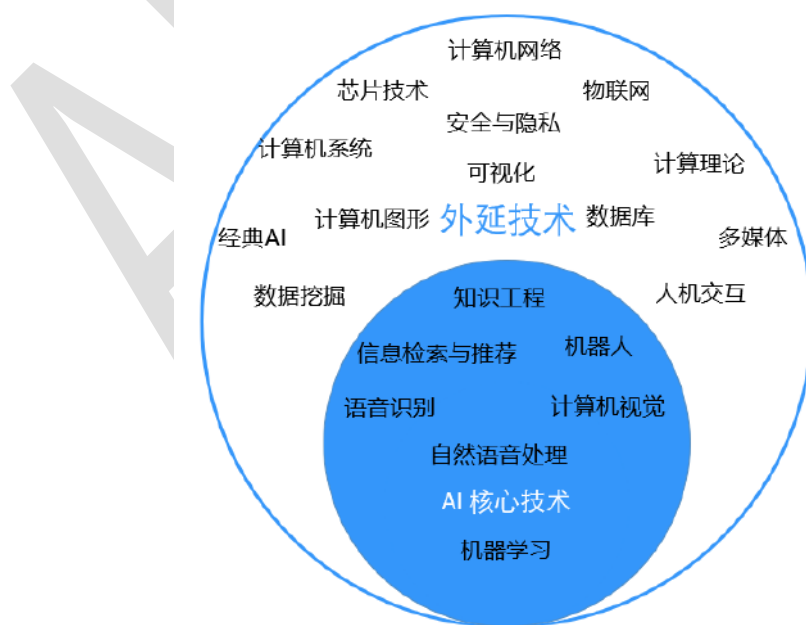


图 2-2 人工智能 20 个子领域的核心和外延划分

2.3 研究范围：国际顶级期刊和会议

本报告所采用的人工智能领域顶级期刊和会议，是根据《CCF 推荐国际学术期刊和会议目录》和 ACM 计算机学分类系统相关子领域的 A 类期刊和会议作为数据来源，并征求相关专家和团体意见，补充了新涌现学科的顶级期刊和会议，详细名单如附录 1 所示。

AMiner

3 人工智能发展历程

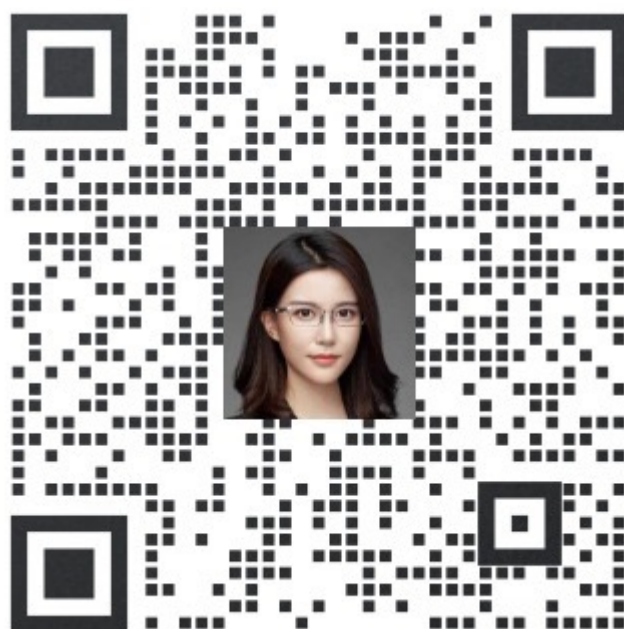
人工智能是研究人类智能行为规律（如学习、计算、推理、思考、规划等），构造具有一定智慧能力的人工系统，以完成往常需要人的智慧才能胜任的工作⁴。这是人工智能领域的先驱、麻省理工学院计算机科学家帕特里克·亨利·温斯顿（Patrick Henry Winston）教授在《人工智能》一书中对人工智能的定义。从其历史发展看，人工智能经历了三次发展浪潮；从技术脉络看，其经历了数据、算法、算力及应用场景；从理论发展看，人工智能经历了计算、感知和认知三个阶段。

3.1 人工智能的三次发展浪潮

从 1956 年“人工智能”概念在达特茅斯会议上首次被提出至今，人工智能发展已经历经 60 余年，经历了三次发展浪潮。当前全球人工智能正处于第三次发展浪潮之中。

第一次浪潮（1956-1974 年）：1956 年达特茅斯会议上，“人工智能”的概念提出，同时出现了最初的成就和最早的一批研究者，被广泛认为是 AI 诞生的标志，随之掀起了人工智能的第一次发展浪潮。该时期的核心是让机器具备逻辑推理能力，开发出计算机可以解决代数应用题、证明几何定理、学习和使用英语的程序，并且研发出第一款感知神经网络软件和聊天软件。**第二次浪潮（1980-1987 年）：**这一时期内，解决特定领域问题的“专家系统”AI 程序开始为全世界的公司所采纳，AI 变得实用起来，知识库系统和知识工程成为了 80 年代 AI 研究的主要方向。Hopfield 神经网络和反向传播（BP）算法被提出。**第三次浪潮（1993-2011 年）：**这一时期，计算性能上的基础性障碍已被逐渐克服，里程碑事件有 1997 年的深蓝战胜国际象棋世界冠军、2016 年和 2017 年的 AlphaGo 击败围棋职业选手等。同时，“智能代理”范式被广泛接受，AI 技术发展超越了研究人类智能的范畴；AI 与数学、经济学等其他学科展开更高层次的合作。2006

⁴ Owen T. Artificial Intelligence by Patrick Henry Winston (second edition) Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts, USA, July 1984.



扫码添加客服免费获取完整报告