



开放科学
(资源服务)
标识码
(OSID)

基于文献关联的生成式人工智能技术演化分析

赛秋玥 徐峰 雷孝平

中国科学技术信息研究所 北京 100038

摘要: [目的/意义] 生成式人工智能 (AIGC) 作为一种前沿技术带来了新的工业革命, 全球竞相推进 AIGC 技术的发展。深入理解 AIGC 的内涵是把握其发展趋势的关键。[方法/过程] 从多维视角进行 AIGC 技术分析, 针对前沿技术的识别和路径演化设计了 YAKE-Apriori 算法展示领域内技术发展规律和路径。首先, 基于 YAKE 算法对 AIGC 相关技术进行识别和可视化; 其次, 基于 Apriori 算法分析 AIGC 关键技术的关联技术, 揭示技术发展规律; 最后, 基于关键技术-技术基础分析刻画技术演化路径, 识别技术发展层级关系。[结论/结果] 以 AIGC 为对象, 成功识别出 GAN、Transformer 和 Diffusion 等 AIGC 相关技术和 4 个主要发展阶段, 研究有助于厘清 AIGC 的演化路径, 同时验证了 YAKE-Apriori 算法对前沿技术的识别和路径演化分析的有效性。

关键词: 生成式人工智能; 技术特征; 发展脉络; 路径演化; 热点分析

中图分类号: G35; G203

Research on the Evolution of Generative Artificial Intelligence Technology Based on Literature Association

SAI Qiuyue XU Feng LEI Xiaoping

Institute of Scientific and Technical Information of China, Beijing 100038, China

Abstract: [Objective/Significance] The advent of Generative Artificial Intelligence (AIGC) marks a new industrial revolution, with nations around the world engaging in the competitive race to advance AIGC technology. Understanding the essence and characteristics of AIGC technology is vital for responding to its growth. [Methods/Processes] This study adopts a multi-dimensional perspective to identify the evolutionary pathways of AIGC technology. The YAKE-Apriori algorithm is designed to identify cutting-edge technologies and path evolution, illuminating the directions of technological development. First, the YAKE method is applied to extract key technologies and visualize literature. Then, the Apriori algorithm is utilized to analyze the

基金项目 科技创新 2030—“新一代人工智能”重大项目、“新一代人工智能风险防范与治理手段研究”课题、“新一代人工智能伦理风险评估与应对策略研究” (2023ZD0121701)。

作者简介 赛秋玥 (1993-), 博士, 助理研究员, 主要研究方向为人工智能政策和产业研究; 徐峰 (1976-), 博士, 研究员, 主要研究方向为科技政策与管理 and 科技情报研究, E-mail: xufeng@istic.ac.cn; 雷孝平 (1979-), 博士, 研究员, 主要研究方向为科技情报分析。

引用格式 赛秋玥, 徐峰, 雷孝平. 基于文献关联的生成式人工智能技术演化分析 [J]. 情报工程, 2024, 10(5): 18-28.

associations between key technologies, thereby revealing the underlying patterns of technological evolution. Finally, the study delineates the trajectory of technology evolution through an analysis of key technologies and their foundational bases, pinpointing the hierarchical relationships within technological development. [Results/Conclusions] Focusing on AIGC, this study successfully identifies relevant technologies such as GAN, Transformer, and Diffusion, along with four primary developmental stages. These insights are crucial for grasping AIGC's trajectory and affirm the effectiveness of YAKE-Apriori method in tracking the progress of emerging technologies.

Keywords: AIGC; Technical Characteristics; Development Trajectory; Evolutionary Pathway; Hotspots Analysis

引言

随着信息时代的快速进展,人工智能已经成为推动社会发展的核心力量,它突破了传统界限,提供了新的智能工具和服务^[1]。在这些技术中,生成式人工智能(AIGC)凭借其深度学习和大数据分析能力,在文本、图像和音频内容生成方面展现了与人类智能相匹敌的能力^[2]。AIGC技术是当前世界科技发展的前沿领域之一^[3],并且将在未来推动社会智能化和自动化方向发挥更加重要的作用。然而,由于AIGC技术进步迅速,作为一种前沿技术,学术界对于AIGC的内涵尚不明确,缺乏一致的理论框架和详尽的技术演化路径分析,这限制了领域内的系统研究和理论深化,同时也制约了技术创新和应用领域的扩展。鉴于此,本研究针对前沿技术的路径演化分析需求,设计了YAKE-Apriori算法。研究以AIGC技术为例进行深入挖掘,以期揭示其技术特征和演化路径。通过对技术演化的可视化分析,本文将勾勒出AIGC技术的发展历程。此外,基于Apriori关联算法对AIGC技术的研究基础进行层级分析,探讨其技术基础和技术扩展。研究旨在针对AIGC技术构建一个全面的技术基础框架,为未

来研究和应用提供技术指引。

1 文献综述

本研究对AIGC内涵、AIGC技术特征和相关研究方法进行综述,旨在清晰展示现有AIGC研究现状和研究不足,为本研究的开展奠定研究基础。

1.1 AIGC内涵

AIGC的研究尚无统一的定义标准。通过综合现有文献,发现当前AIGC的内涵定义一般涉及内容生成和技术创新两个维度。从内容生成分析,肖峰^[4]认为,相比于感知决策阶段,AIGC代表了人工智能的一个新阶段,不仅能识别和分类现有内容,还能创造全新的文本,因而此阶段被称为内容生成阶段。柴宝勇等^[5]将AIGC与专业生成内容(PGC)及用户生成内容(UGC)进行比较,强调AIGC不仅仅是内容生产者视角下的一种内容类别,更是一种创新的内容生产方式,代表了自动化内容生成的技术集合。祝智庭等^[2]认为AIGC是在人或机构主导的PGC、UGC、人工智能辅助内容生成(AGC)之后的发展,利用深度学习等技术框

架实现了内容制作者由人变为人工智能技术。

从技术层面分析,李白杨等^[6]将人工智能技术的发展划分为基础机器学习和深度学习两大阶段。深度学习技术通过构建复杂网络架构处理高维数据集,分为判别模型和生成模型。判别模型专注于条件概率模型的构建,以区分不同类别;而生成模型则建立特定类别的联合概率分布。生成对抗网络(GAN)的问世,标志着生成式机器学习模型在内容合成领域的应用起始,随着GAN、Transformer、Diffusion等模型的进展,2022年被认为是AIGC元年^[7]。Bandi等^[8]通过文献综述法梳理了AIGC模型,介绍了其关键技术和应用领域。唐宇希^[9]根据技术专利对AIGC进行简单分析,指出AIGC融合了多项人工智能技术,包括GAN、扩散模型,以及基于Transformer架构的大规模预训练语言模型等。但是当前文献很少完整综述生成式人工智能的主流发展技术脉络,不了解其技术演进就不能更好地促进其技术向纵深发展。

1.2 AIGC技术研究综述

AIGC的技术研究主要围绕技术比较和技术演化路径进行探讨。在技术对比方面,研究多集中于ChatGPT和GAN的分析。王建磊等^[10]探讨了基于ChatGPT的技术和算法所展现的传播特性及其对未来发展趋势,强调了ChatGPT的技术特点如单一模态和数据依赖性。郑世林等^[11]指出ChatGPT在推动AI发展、劳动市场变革和教育体系重构方面的作用,同时也提出了伴随而来的伦理、价值和信息安全问题。王飞跃等^[12]对AlphaFold和ChatGPT的基本原理及关键技术进行了分析,并概述了大模型时代

AI技术的发展趋势。卢经纬等^[13]从平行智能的角度,细致剖析了ChatGPT技术。Jin等^[14]对GAN模型的演化模型和重点模型进行了对比分析。Aldausari等^[15]对GANs模型用于视频领域的模型研究和应用进行了文献综述。然而,这些研究多采用文献综述法,缺乏定量分析,未能全面反映研究现状。

技术演化研究是分析技术发展历程、趋势和规律的方法,对技术的发展具有重要价值。在技术演化研究方面,根据研究的文本类型分类可以分为文献分析法^[16-18]和专利分析法^[19-20]。针对AIGC的技术演化研究尚处于起步阶段,李白杨等^[6]基于文献资料分析了AIGC的技术特征与形态演化,从数据、模型和空间三个维度探讨了AIGC的技术特征。孙丽文等^[21]利用专利数据在能量转换视角下解析了人工智能核心技术产业化的路径。祝智庭等^[2]从时间维度勾勒了AIGC的发展历程。这些研究虽然从内容生成的角度定义了AIGC,但未深入分析技术核心及其基础支撑技术。

综上所述,一方面,现有研究对AIGC领域的内容研究相对匮乏,多数研究仅从时间维度介绍AIGC,未能深入剖析其关键技术的逻辑关系,不利于从根本上促进AIGC的全面发展。另一方面,AIGC的研究主要依赖于文献分析,较少运用数据挖掘方法来识别技术基础^[22],因此对技术演化过程的识别方法仍有待进一步优化。

2 研究设计

2.1 研究思路

本研究旨在通过文献关联分析方法构建

AIGC 演化的理论基础和逻辑框架。研究首先收集基于 AIGC 关键词检索得到的文献数据，并综合分析这些文献的引用和被引情况，以揭示 AIGC 的基础技术和其演化路径。“论文引用文献集”是指列在该论文参考文献部分的文献集，涵盖了与 AIGC 密切相关的基础技术；“论文被引文献集”是指引用该论文的后续论文的文献集，该论文一般出现在后续论文参考文献部分。被引论文内容包括了以此内容为基础的技术扩展和改进研究。深入研究这些文献可以

帮助我们全面了解 AIGC 的发展脉络，从而为技术演化分析提供更为丰富的理论框架和实证数据。

进一步地，本研究设计 YAKE-Apriori 算法研究 AIGC 的演化路径。采用 YAKE 算法提取 AIGC 领域的关键技术词。之后，应用 Apriori 算法对 AIGC 技术的引用文献进行关联分析，旨在挖掘 AIGC 技术的研究基础。最终，结合关键技术与技术基础，构建了 AIGC 演化脉络。本研究技术路线图如图 1 所示。

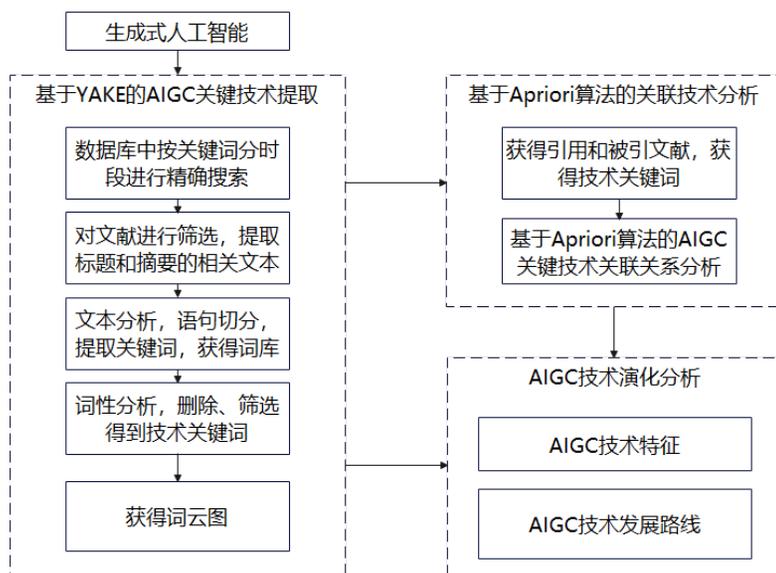


图 1 技术路线图

2.2 基于YAKE的AIGC关键技术提取

本研究采用 YAKE 算法自动提取论文标题和摘要中的关键词，以便快速概括文章的核心内容和方法。选择标题和摘要的原因在于：（1）标题和摘要集中体现了论文的要点；（2）标题和摘要部分的信息与全文的相关性更高；（3）虽然一些论文自带关键词，但这些关键词往往不能详尽反映文章的具体内容。YAKE 算法通过分析词的特征如大写特征、词的位置、词的

频率、词与文章相关性和词的频率差^[23]，有效地从大量文献中提取出关键信息。具体特征量化方法详见 Campos^[24] 的研究。联合计算指标 $S(w)$ 可以代表每个单词的重要性程度，该值越小，则词表现得越重要，如式（1）。

$$S(w) = \frac{W_{Re} * W_{Position}}{W_{Case} + \frac{W_{Freq}}{W_{Re}} + \frac{W_{DijSentence}}{W_{Re}}} \quad (1)$$

其中 W_{Re} 是词与文章相关性； W_{Case} 是大写特征； $W_{Position}$ 是候选词的位置； W_{Freq} 是词的频率；

$W_{DijSentence}$ 是候选词的句中频率。

候选关键词可以是单词或词组，因此本研究设置了滑动窗口大小为3来设定关键词序列。不考虑以停用词开头和结尾的连续序列。每个候选关键词分配一个 $S(kw)$ ，这样分数越小，关键词就越有意义。

$$S(kw) = \frac{\prod_{w \in kw} s(w)}{TF(kw) * (1 + \sum_{w \in kw} s(w))} \quad (2)$$

$S(kw)$ 是最长词数为3的候选词的得分。

2.3 基于Apriori算法的AIGC技术关联分析

Apriori 算法通常用于找出数据中的频繁项集，进而挖掘关联规则。在文献研究中，通过分析论文的引用和被引用关系，可以发现技术之间的基础关系。利用 Apriori 算法分析 AIGC 论文中文献与其引用和被引文献的关联关系^[25]，可以有效地揭示该领域的技术联系，是分析 AIGC 技术发展脉络的一个重要方法。

(1) 项与项集： $itemset = \{item_1, item_2, \dots, item_m\}$ 是所有论文的集合，包含与生成式人工智能技术有关的引用论文和被引论文的集合。每一项是每篇论文和其关键词。

(2) 关联规则：关联规则式形如 $C(A) \Rightarrow C(B)$ ，其中 $C(A)$ 、 $C(B)$ 均为包含关键词 A 和 B 的且属于 $itemset$ 的子集的非空集合，且 $C(B)$ 为 $C(A)$ 对应论文引文的关键词集合。

(3) 支持度：关联规则的支持度定义如式(3)。本研究中支持度指同时在论文中出现关键技术 A 和其引文出现关键技术 B 的次数，即出现关键词对 A 和 B ，且 B 所在论文是 A 所在论文的引文。

$$support(A \Rightarrow B) = P(A \cup B) \quad (3)$$

(4) 置信度：关联规则的置信度定义如式(4)。本研究中置信度指论文中出现关键技术 A 和其引文出现关键技术 B 的次数与出现关键词 A 的次数的比例。

$$confidence(A \Rightarrow B) = P(B|A) = \frac{support(A \cup B)}{support(A)} \quad (4)$$

(5) 频繁项集：如果项集的相对支持度满足预先定义好的最小支持阈值，则为频繁项集^[26]。本研究中，论文与其引用论文出现相同关键词对的频率越高，则关联程度越大。

Apriori 算法的两个输入参数分别是最小支持度和数据集。首先会查找所有生成式人工智能论文的项集列表。搜索每个 AIGC 中关键技术的支持度较大的前两对为与本技术关联性最大的技术。该过程重复进行直到所有关键技术均被搜索完全。

3 研究过程和结果分析

3.1 数据集介绍

研究从 Web of Science 论文库中获得数据，数据包括了论文题目、出版年月、摘要、论文引文、论文被引文。Web of Science 是相对权威的论文数据库，能够提供高质量的全面的论文研究信息，因此可以用于 AIGC 技术现状的研究。

在搜索的论文中，2006 年文献开始出现，因此检索时间段确定为 2006 年 1 月 1 日至 2023 年 10 月 1 日。检索时间为 2023 年 11 月 1 日。本研究主要对技术进展进行研究，因此检索研究领域为计算机科学、工程和数学。由于论文研究数量庞大，包括很多干扰性论文和关注度较小的论文。本研究选择引用次数大于 2

的论文进行导出分析。最终的检索式为 Topic=(“Generative AI” or “GenAI” or “AIGC” or “Generative Artificial Intelligence”) AND Time=(2006.01.01: 2023.10.01) AND Research Areas=(“Computer Science” or “Engineering” or “Mathematics”) AND Citations=(“>2”)。

为了防止检索式不能包含所有 AIGC 相关论文，根据论文的引文和被引也涉及 AIGC 内容的原则，研究再根据引用和被引文献条目，获得所有引用和被引的论文共同作为分析的数据。最终通过直接搜索 AIGC 关键词后获得 4168 篇论文，被引文献共 52151 篇论文。被引文献数量可以表示该领域的受关注度。关于 AIGC 论文的发表数和被引用量如图 2 所示。本研究引入了年增长率来划分研究时段，并新增了论文发表量年增长率和被

引用量年增长率，如图 3 所示，从 2014 年开始，论文增长率一直保持正数，论文发表量持续增加，但在 2020 年后增长率明显下降。基于这一观察，我们将 AIGC 的发展历程划分为三个阶段。在 2014 年之前是 AIGC 的起步阶段，相关论文的发表量和被引用量都相对较少且稳定。2014 年被视为 AIGC 发展的关键之年，多个 AIGC 模型在这一年被提出。2014—2020 年为初步发展阶段，论文的发表量和被引用量持续增加，表明这一时期的论文对后续发展产生了重要影响。2020 年之后进入了快速发展时期，GPT-3 的诞生打破了神经网络创新纪录，引起了高度关注，论文的发表量和被引用量迅速增长。根据近几年发展态势，未来几年 AIGC 技术研究还将是研究的热点领域。

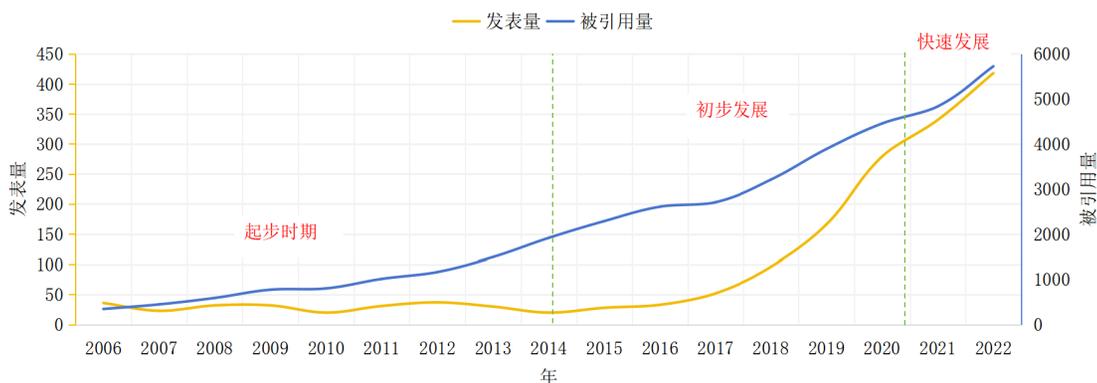


图 2 论文发表量和被引用量

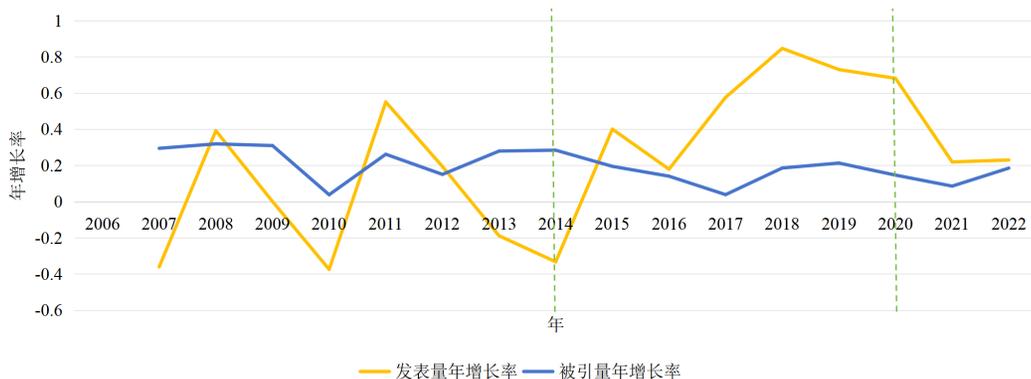


图 3 论文发表量年增长率和被引用量年增长率

3.2 基于YAKE提取AIGC技术关联词

研究根据技术关键词进行提取，我们获得了关键技术的列表并提取出技术关键词。对关键词进行分类，可以识别出基础模型系列，包括 DBN、RNN、LSTM、CNN、GAN 模型系列、Transformer 模型系列、Diffusion 模型系列以及流模型、CLIP、辐射场模型、变分自编码器模

型等其他 AIGC 相关关键技术。为了获得 AIGC 的研究热点。研究按时间划分为 2006—2013 年，2014—2020 年，2021—2022 年。图 4 介绍了文献的关键词及被引文献的分析结果，其中，第一行是直接搜索得到的文献关键词，第二行是被引文献的关键词，第三行是此时间段发表的论文在之后被引用数量的时序图。

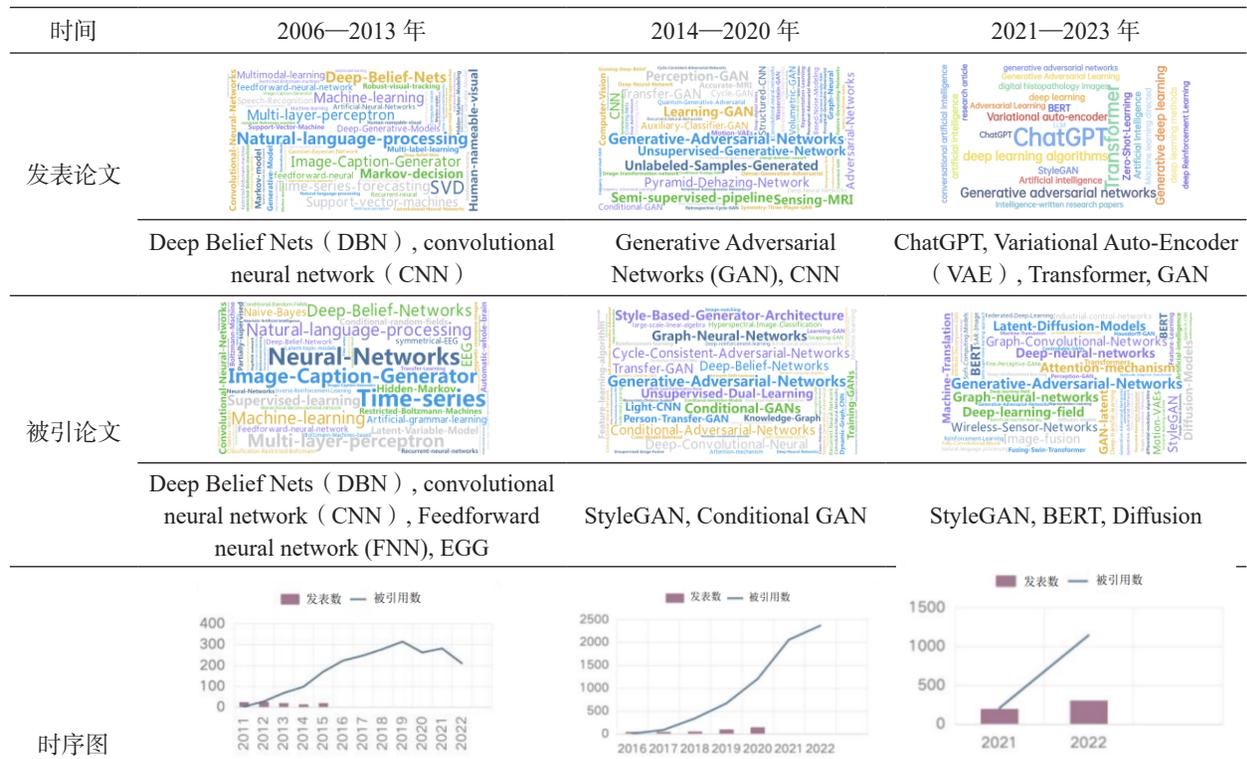


图 4 发展过程及研究基础分析

根据图 4 的关键词分析，对不同时间 AIGC 研究热点过程分析，可以获得 AIGC 领域的研究发展过程。AIGC 技术从最初的 DBN，CNN，逐渐演化到 GAN 等无监督生成网络。当前，研究的焦点集中在 Transformer 架构、ChatGPT、变分自编码器（VAE）以及 GAN 的进化模型。

对被引用论文研究发现，人工智能技术发展包括前馈神经网络(FNN)、脑电技术(EGG)、

Transformer、BERT、GAN 和扩散模型(Diffusion model) 的进化模型，AIGC 领域涵盖了广泛的机器学习和深度学习技术。这些技术的应用和发展不断推动 AIGC 研究的深入。根据被引论文的引用量趋势，我们预见 2021—2023 年间发表的文献将成为后续研究中的引用热点，尤其是围绕 Transformer、ChatGPT 和 GAN 模型的研究。这些研究领域不仅在学术界受到高度重视，也预示着它们在工业界的应用前景。

为了分析技术的研究热度，图 5 从时间维度呈现了各技术论文引用量的关系，论文引用量越大表示当前研究热度越大。从时间上可以看出 RNN、CNN 和 DBN 的研发时间较久远，是当前人工智能技术的研究基础。LSTM 模型

出现时间也较久远，且其属于 RNN 的改进模型，因此我们认为其在 AIGC 技术中属于基础模型。近年来新产生且研究热度持续上升的模型主要是 Transformer 和 GAN 模型^[27]。ChatGPT 和 GPT-3 是近两年研发的模型，属于前沿模型。

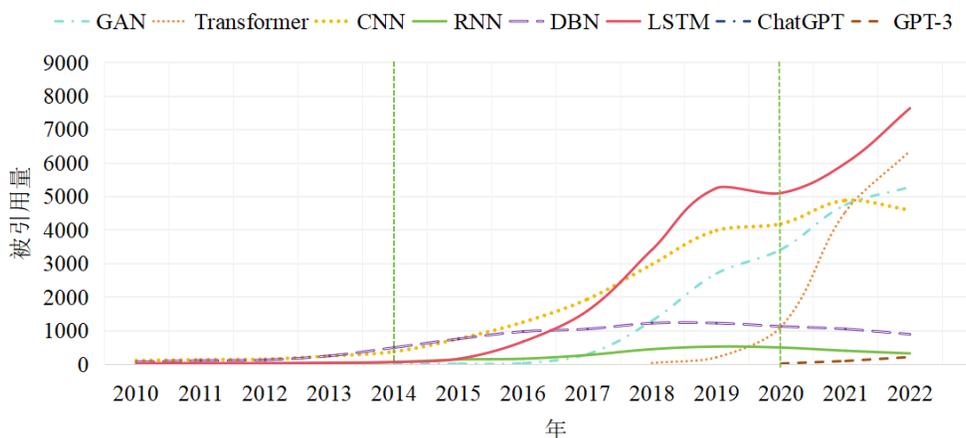


图 5 关键技术论文被引用量时序图

3.3 基于Apriori算法的AIGC技术关联分析结果

根据 3.2 内容，我们识别了 AIGC 的关键技术。通过分析关键技术相关文献的引用与被引用

情况，我们构建了几个主流技术的研究基础，见表 1。通过提取每项技术文献中被引用和引用的关键词，并筛选出频率最高的两个，我们确定了每项技术最关键的技术基础和技术拓展方向。

表 1 技术关联分析结果

关键技术	高引用	高被引	重要能力变化
GAN	Unsupervised model (8%)	Transformer (10%)	显著改善生成图像
	Neural Network (5%)	Diffusion model (6%)	
Transformer	RNN (10%)	BERT (7%)	解决序列转换的挑战
	LSTM (7.5%)	ChatGPT (3%)	
Diffusion model	概率估计 (14%)	Improved DDPM (6%)	生成图像
	贝叶斯模型 (9%)	Diffusion Probabilistic Model (2%)	

根据表 1 的数据，可以看出 AIGC 技术的发展建立在基础技术之上，这些技术通过引文关系相互关联。具体来说，GAN 模型的创新借鉴了无监督模型的理论基础，这个结论与 Kaswan 等^[28]观点一致；而 Trans-

former 模型与 RNN 和 LSTM（长短期记忆网络）都是一种特征提取器并且有替代 RNN 和 LSTM 模型成为当前的主流模型的趋势。Hao 等^[29]指出，当前大多数生成式人工智能的大语言模式均使用 Transformer 架构。

Transformer 模型奠定了 BERT 和 ChatGPT 发展的基础。Diffusion 模型以似然估计和贝叶斯模型为基础，并逐步扩展为改进的 Diffusion 模型。

3.4 AIGC 技术演化分析

技术演化路径分析的依据包括技术发明的时间顺序和技术关联关系。首先，技术演化路

径一般与时间有关，后续出现的技术一般在先前技术的基础上发明，根据 3.2 的内容，技术的出现和研究热点的时间顺序是技术演化的依据之一。此外，技术演化不仅关注于时间顺序，还要依据各技术之间的关联关系。3.3 介绍了与 AIGC 有关的技术基础关系。因此，综合时间关系和技术关联关系，研究总结出 AIGC 的发展层级，如图 6 所示。

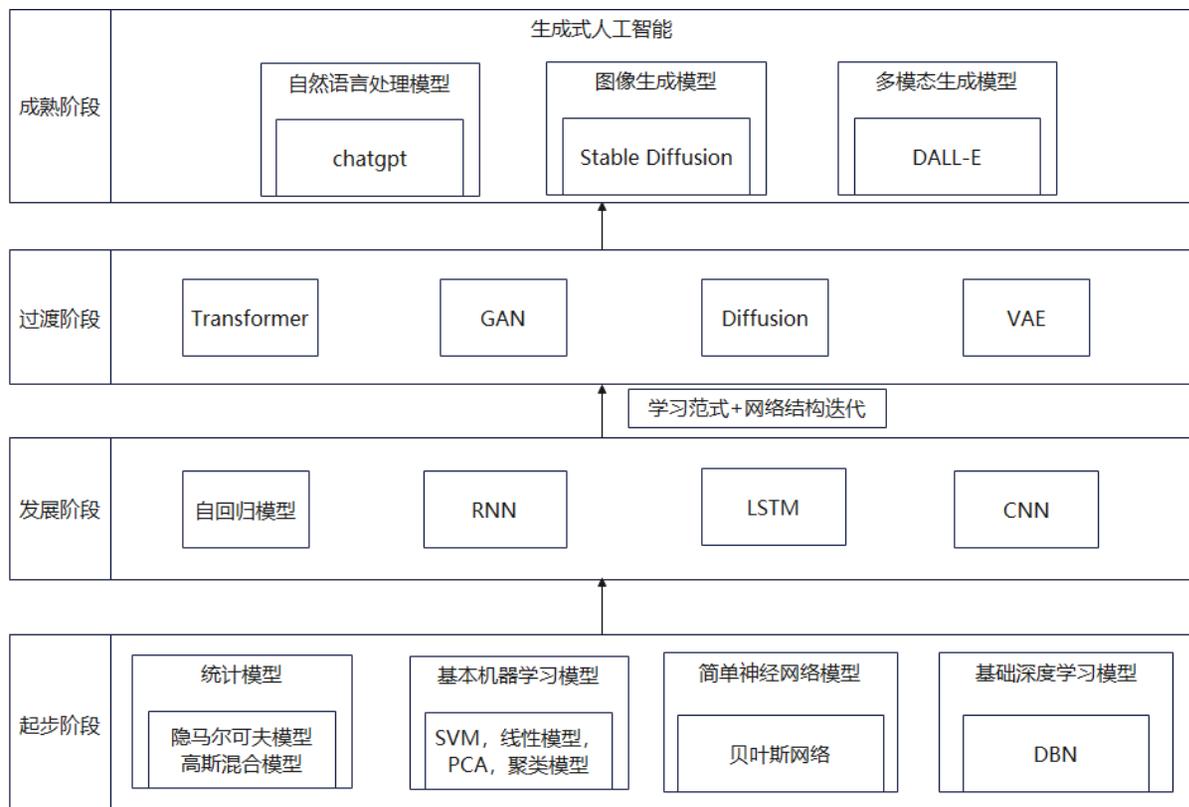


图 6 AIGC 技术演化层级分析

当前研究对 AIGC 发展进行了阶段划分，一些研究将 AIGC 发展时段划分为早期萌芽阶段，沉淀积累阶段和快速发展阶段。但是其没有区分技术过渡和技术成熟两个阶段，同时没有对每个阶段包含的基础技术进行介绍。由于这两个时期具有明显差异，因此本研究对其进行了区别和划分。本研究根据 AIGC 技术的时

间发展和技术基础，同时根据历史经验知识，确定技术发展的层级结构。AIGC 发展阶段根据其生成内容的完善程度可以分为 4 个阶段，分别是起步阶段、发展阶段、过渡阶段和成熟阶段。起步阶段的 AIGC 模型主要是基础模型，在内容生成方面能力很有限，主要完成决策和预测的内容生成。发展阶段可以完成简单的数

据生成,在自然语言和图像生成领域能力有限。过渡阶段的模型发展逐渐成型,可以完成复杂的自然语言处理和图像生成,此阶段还处于科学研究阶段,到成熟阶段 AIGC 技术已经可以用于工业界。

AIGC 技术的发展主要从学习范式和网络结构两个方面进化迭代。一方面,模型结构的进步和多样化,从简单的统计模型,基本机器学习模型,简单神经网络模型和深度学习模型发展为 GAN、Transformer 和扩散模型等。另一方面出现多种生成学习范式,从基于规则的机器学习范式和有监督学习范式发展为预训练和精调结合的学习范式,构成了 AIGC 的核心框架。AIGC 技术的定义和实践正在随着这些模型的不进化而扩展,展现出强大的创造力和应用潜力。未来的 AIGC 研究将进一步提升这些模型的生成效率、质量以及多样性,同时也会探索新的模型结构和训练方法,以更好地服务于各种生成任务。

4 总结和展望

本研究基于文献数据,对 AIGC 技术的核心要素及其技术演化路径进行了深入探讨。研究创新性地提出通过关键词提取和 Apriori 算法识别 AIGC 的关键技术方法。利用文献的引用和被引关系,以及关键技术之间的演化趋势,揭示 AIGC 技术演化规律。研究方法也适用于其他技术演化路径分析。本研究的重要贡献为研究首先以 AIGC 为研究对象,成功识别出 GAN、Transformer 和 Diffusion 等 AIGC 相关关键技术,以及 AIGC 技术的 4 个主要发展阶段,

旨在为 AIGC 技术的未来发展提供理论支持和指导方向。当前看,这些技术在未来仍拥有较大的研究空间,学术研究不断增多且技术性能不断增强。尤其是 Transformer 和 Diffusion 是 AIGC 后续发展中的重要探索方向。其次,研究验证了 YAKE-Apriori 算法用于技术演化路径的可行性,为技术演化路径的研究方法提供了技术基础,为 AIGC 的演化路径提供清晰的历史参考。

未来研究将深入分析 AIGC 主流技术的技术内涵和发展规律,预测技术发展态势,旨在为 AIGC 技术的发展提供广阔视角,并为政策制定者、研究者和行业实践者提供有用的建议和指导。

参考文献

- [1] ROUMELIOTIS K I, TSELIKAS N D. ChatGPT and Open-AI Models: A Preliminary Review[J]. Future Internet, 2023, 15(6): 192.
- [2] 祝智庭,戴岭,胡姣.高意识生成式学习:AIGC 技术赋能的学习范式创新[J].电化教育研究,2023,44(6): 5-14.
- [3] DE SCHRYVER G M. Generative AI and Lexicography: The Current State of the Art Using ChatGPT[J]. International Journal of Lexicography, 2023, 36(4): 355-387.
- [4] 肖峰.生成式人工智能与知识生产新形态[J].学术研究,2023(10): 50-57.
- [5] 柴宝勇,陈若凡,陈浩龙.中国网络内容治理政策:变迁脉络与工具选择——基于政策文本的内容分析[J].中南大学学报(社会科学版),2023,29(5): 148-161.
- [6] 李白杨,白云,詹希旎,等.人工智能生成内容(AIGC)的技术特征与形态演化[J].图书情报知识,2023,40(1): 66-74.
- [7] 孙冰,潘建东.中信建投证券生成式 AI 技术与探索[J].中国金融电脑,2023(10): 73-76.

- [8] BANDI A, ADAPA P V, KUCHI Y E. The Power of Generative AI: A Review of Requirements, Models, Input-Output Formats, Evaluation Metrics, and Challenges[J]. *Future Internet*, 2023, 15(8): 260.
- [9] 唐宇希. AIGC 技术专利分析[J]. *通讯世界*, 2023, 30(7): 190-192.
- [10] 王建磊, 曹卉萌. ChatGPT 的传播特质、逻辑、范式[J]. *深圳大学学报(人文社会科学版)*, 2023, 40(2): 144-152.
- [11] 郑世林, 姚守宇, 王春峰. ChatGPT 新一代人工智能技术发展的经济和社会影响[J]. *产业经济评论*, 2023(3): 5-21.
- [12] 王飞跃, 缪青海. 人工智能驱动的科学新范式: 从 AI4S 到智能科学[J]. *中国科学院院刊*, 2023, 38(4): 536-540.
- [13] 卢经纬, 郭超, 戴星原, 等. 问答 ChatGPT 之后: 超大预训练模型的机遇和挑战[J]. *自动化学报*, 2023, 49(4): 705-717.
- [14] JIN L, TAN F, JIANG S. Generative Adversarial Network Technologies and Applications in Computer Vision[J]. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2020, 2020(1): 1459107.
- [15] ALDAUSARI N, SOWMYA A, MARCUS N, et al. Video Generative Adversarial Networks: A Review[J]. *ACM Computing Surveys*, 2023, 55(2): 30.
- [16] 李修全. 当前人工智能技术创新特征和演化趋势[J]. *智能系统学报*, 2020, 15(2): 409-412.
- [17] 邓莎莎, 李镇宇, 潘煜. ChatGPT 和 AI 生成内容: 科学研究应该采用还是抵制[J]. *上海管理科学*, 2023, 45(2): 15-20.
- [18] 王秀杰, 陈云静. 国内外智能网联汽车研究热点可视化对比分析——基于文献计量视角[J]. *科技和产业*, 2023, 23(5): 98-107.
- [19] 徐峰, 冷伏海. 专利技术形态分析方法研究进展[J]. *图书情报工作*, 2010, 54(10): 54-57.
- [20] 冯立杰, 周炜, 刘鹏, 等. 基于引文网络和语义分析的技术演化路径识别及拓展研究[J]. *情报理论与实践*, 2023, 46(1): 90-99, 131.
- [21] 孙丽文, 李少帅, 孙洋. 能量转换视角下人工智能关键核心技术产业化路径解析[J]. *科技进步与对策*, 2022, 39(14): 73-82.
- [22] 雷孝平, 张海超, 桂婕, 等. 基于论文和专利的区块链技术研发状况分析[J]. *情报工程*, 2017, 3(2): 20-32.
- [23] 席耀一, 高鑫, 王小明, 等. 基于 ETM 模型的中亚国家“一带一路”网络舆情热点检测[J]. *情报杂志*, 2020, 39(11): 82-89.
- [24] CAMPOS R, MANGARAVITE V, PASQUALI A, et al. Yake! keyword ex-traction from single documents using multiple local features[J]. *Information Sciences*, 2020, 509: 257-289.
- [25] 万小萍, 刘向, 闫肖婷, 等. 基于关联分析的技术演化路径发现[J]. *情报学报*, 2018, 37(11): 1087-1094.
- [26] ZHENG J G, ZHANG J M. The Research about Data Mining of Network Intrusion Based on Apriori Algorithm[C]//*Proceeding of the 7th International Conference on Education, Management, Computer and Medicine (EMCM)*, 2017, 59: 661-664.
- [27] KARRAS T, LAINE S, AILA T. A Style-Based Generator Architecture for Generative Adversarial Networks[C]//*2021 IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2021, 43(12): 4217-4228.
- [28] KASWAN K, DHATTERWAL J, MALIK K. Generative AI: A review on Models and Applications[C]//*2023 International Conference on Communication, Security and Artificial Intelligence (ICCSAI)*, 2023: 669-704.
- [29] HAO J, YANEVA V. Transforming Assessment: The Impacts and Implications of Large Language Models and Generative AI[J]. *Educational Measurement-Issues and Practice*, 2024, 43(2): 16-29.