



情报杂志
Journal of Intelligence
ISSN 1002-1965, CN 61-1167/G3

《情报杂志》网络首发论文

题目：基于动态价值与多层网络的关键核心技术识别
作者：唐健廷，吴洁，谢小东
网络首发日期：2025-03-17
引用格式：唐健廷，吴洁，谢小东. 基于动态价值与多层网络的关键核心技术识别
[J/OL]. 情报杂志. <https://link.cnki.net/urlid/61.1167.g3.20250314.1427.002>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

基于动态价值与多层网络的关键核心技术识别*

唐健廷 吴洁 谢小东

(江苏科技大学 经济管理学院 镇江 212003)

摘要: [研究目的] 在关键核心技术识别过程中考虑动态价值特征和价值的跨层传递,以提高识别过程的有效性及合理性。[研究方法] 构建“发明人-技术主题-IPC”三层异构网络,结合时间价值函数、时间稳定性因子与 Attention_LSTM 模型得到节点的历史价值序列与未来价值序列,利用 ML-Rank 算法实现发明人与 IPC 节点对技术主题的跨层价值传递,根据技术主题的最终价值度排序识别关键核心技术。最后通过技术主题情况、价值度贡献情况与核密度统计,对识别结果展开分析和验证。[研究结果/结论] 结果表明,所识别的技术具有复杂性、垄断性和累积投入性等关键核心技术特征,识别方法具有较好的有效性及合理性。

关键词: 关键核心技术; 技术主题; 价值度; 动态价值; 多层网络; 跨层传递; 技术识别

中图分类号: G250

文献标识码: A

Key Core Technology Identification Based on Dynamic Value and Multilayer Network Analysis

Tang Jianting Wu Jie Xie Xiaodong

(School of Economics and Management, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212003)

Abstract: [Research purpose] The identification process of key core technologies should consider dynamic value characteristics and cross-layer value transmission to enhance the effectiveness and rationality of the identification process. [Research method] We construct a three-layer heterogeneous network of "Inventors-Technology Topics-IPC". The time value function, time stability factor, and Attention_LSTM model are utilized to derive the historical and future value sequences of the nodes. The ML-Rank algorithm is employed to achieve cross-layer value transfer from inventor and IPC nodes to technology topics. Key core technologies are identified based on the final value ranking of the technology topics. The identification results are analyzed and validated through the examination of technology themes, value contributions, and kernel density estimation. [Research result/conclusion] The results indicate that the identified technologies exhibit key core characteristics such as complexity, monopoly, and cumulative investment. The identification method demonstrates good effectiveness and rationality.

Key words: key core technology; technical topic; value; dynamic value; multilayer network; cross-layer transfer; technology identification

关键核心技术是提高国家综合竞争力、实现经济高质量发展的核心驱动力,是科技进步和产业升级不可或缺的关键支撑,指引着国家与企业未来的技术攻关战略方向^[1]。例如,厌氧消化工艺技术作为生物反应器领域的关键核心技术,对于环境保护与资源循环

利用等方面至关重要^[2]。然而,发挥关键核心技术在产业应用中重要作用的前提是识别关键核心技术。高效、准确地识别关键核心技术,对于政府和企业等各市场参与主体制定科技战略规划、开展科技创新管理具有重要意义^[3]。

基金项目:江苏省研究生科研与实践创新计划项目“创新联合体潜在合作伙伴选择及合作方向研究”(项目编号: KYCX23_3817)研究成果。

作者简介:唐健廷,男,1995年生,博士研究生,研究方向:知识融合;吴洁,女,1968年生,博士,教授,博士生导师,研究方向:知识管理;谢小东,男,1998年生,博士研究生,研究方向:数据挖掘。

通信作者:吴洁

关键核心技术的识别涉及研发层面^[4]、技术层面^[5]和应用层面^[6],从价值共创角度出发,各层面所体现的价值会相互影响。如研发层对某项技术的关注可以为其带来更高的研发投入,应用层则验证了技术所具有的产业应用价值,技术层作为连接研发层和应用层的枢纽,加强了层面间的价值联系。然而,现有对关键核心技术识别的研究往往将这三个层面视为相互独立,较少考虑到研发及应用环节对技术的价值影响过程,缺乏对技术关键核心程度的全面性考量。此外,现有研究较多考虑技术的静态价值特征,而要科学判断某项技术是否为关键核心技术,还需考虑价值的长期性和持续性,以此验证该技术并非仅是当前较为突出的“昙花一现”的技术。

因此,本文分别利用发明人和 IPC 代表技术的研发和应用,构建“发明人-技术主题-IPC”三层异构网络,通过技术本身已有价值以及从研发和应用层获取的价值来判断技术的关键核心程度,并结合发明人和 IPC 对技术主题的价值度贡献情况来验证识别结果的科学合理性。

1 相关研究

复杂网络分析可有效挖掘技术在整个网络体系中的位置和结构特征,近年来被频繁应用于技术筛选与识别。从网络结构特征出发,可以利用中心性指标衡量节点的重要程度。林文广等利用技术共现网络的度中心性对节点重要性评价,寻找关键技术^[7]。吴洁等根据共现网络中词汇的节点度值筛选技术核心词^[8]。马永红等利用接近中心性、度中心性和中介中心性作为重要性指标,识别领域内的关键共性技术^[9]。孙彩虹等搭建“技术-应用”共现关系,采用中心性指标衡量技术与应用的关联强度,在应用视角下识别关键核心技术^[10]。在此基础上,有学者在网络中加入了引文特征对技术进行筛选与识别。Park 等根据信息通信技术 (ICT) 领域的引文耦合网络,识别领域内的前沿技术^[11]。彭依迪等将引文特征与节点中心度结合,识别高速列车领域具有时序特征的核心技术^[12]。周雷等利用企业的专利技术代码构建复杂网络,根据技术的引用次数构建影响力指标,识别行业内的关键技术^[13]。

然而,仅依靠单层网络的结构特征衡量技术的关键核心程度存在维度单一的局限性。为更深入地刻画技术与不同维度的关联特征,有学者采用异构网络进行技术的筛选与识别。巩永强等结合基础研究、应用研究和产业应用维度构建引文网络识别核心技术^[14]。梁镇涛等基于“科学-技术”间引用关系预测高颠覆性专利^[15]。在此基础上,为了进一步体现关键核心技术

所具有的价值特征,曹琨等根据论文和专利文献的引文关系构建“科学-技术”知识主题复杂网络,并在技术节点中融合了技术价值、战略竞争性和技术垄断性等可以衡量关键核心技术价值的特征^[16]。

综上所述,利用复杂网络可以从网络整体视角揭示技术之间的关联、依赖和协作关系,对于识别关键核心技术具有较好的适用性。然而,现有研究通过多层网络识别关键核心技术时,局限于通过网络的结构特征来挖掘技术主题与科学维度和应用维度的关联性,未能进一步考虑关联后各维度之间的价值相互影响过程。此外,网络中对节点价值特征的分析多从静态视角出发,难以全面反映关键核心技术的价值所具有的长期性和持续性,容易将当前价值较为突出的“昙花一现”技术误判为关键核心技术。

鉴于此,为了将研发及应用环节对技术的价值传递及动态价值特征融入关键核心技术的识别过程中,本文在“发明人-技术主题-IPC”三层异构网络中引入时间价值函数与时间稳定性因子。通过历史价值序列和 Attention_LSTM 模型预测发明人及 IPC 节点对技术主题的未来价值贡献,体现动态价值特征。利用 ML-Rank 算法迭代计算发明人及 IPC 节点向技术主题跨层传递的价值度,根据最终价值度排序来识别关键核心技术。在识别过程中考虑了动态价值特征及价值跨层传递的影响,以期进一步提高关键核心技术识别过程的科学合理性。

2 研究设计

本文的研究分为数据获取及预处理、技术主题价值度计算、发明人和 IPC 节点价值度计算、多层网络构建与关键核心技术识别四个部分,研究过程如图 1 所示。

2.1 技术主题价值度计算

2.1.1 技术主题属性价值

技术主题的价值涵盖了两个维度,一是各技术主题固有的属性价值,二是结构特征赋予技术主题的重要性。由于关键核心技术具备了高技术价值特征,因此,从内在价值和外在价值两个维度梳理并构建指标体系,结合“专利-技术主题”概率矩阵对技术主题属性价值进行评估,相关指标如表 1 所示。

考虑到同一指标在不同时间窗口下,其重要性会有所不同,因此对专利数据按年份拆分,利用熵权法对指标权重动态赋值,获得“指标-年份”权重矩阵,矩阵中 ω_{mn} 表示指标 m 在第 n 年的权重。技术主题属性价值的计算方式参考曹琨等^[16]的方法,如式(1)所示。

$$Q_{(k,n)} = \sum_{m=1, i=1} P(i,k)_n \times X_{mn} \times \omega_{mn} \quad (1)$$

其中 $P(i, k)_n$ 表示专利 i 隶属技术主题 k 的概率, X_{mn} ($m=1, 2, 3, \dots, 6$) 为第 n 年对应的二级指标 m 的数值, $Q_{(k, n)}$ 为技术主题 k 在第 n 年的属性价值。最后对

每一年的属性价值求和, 得到技术主题 k 的属性价值度 Q_k 。

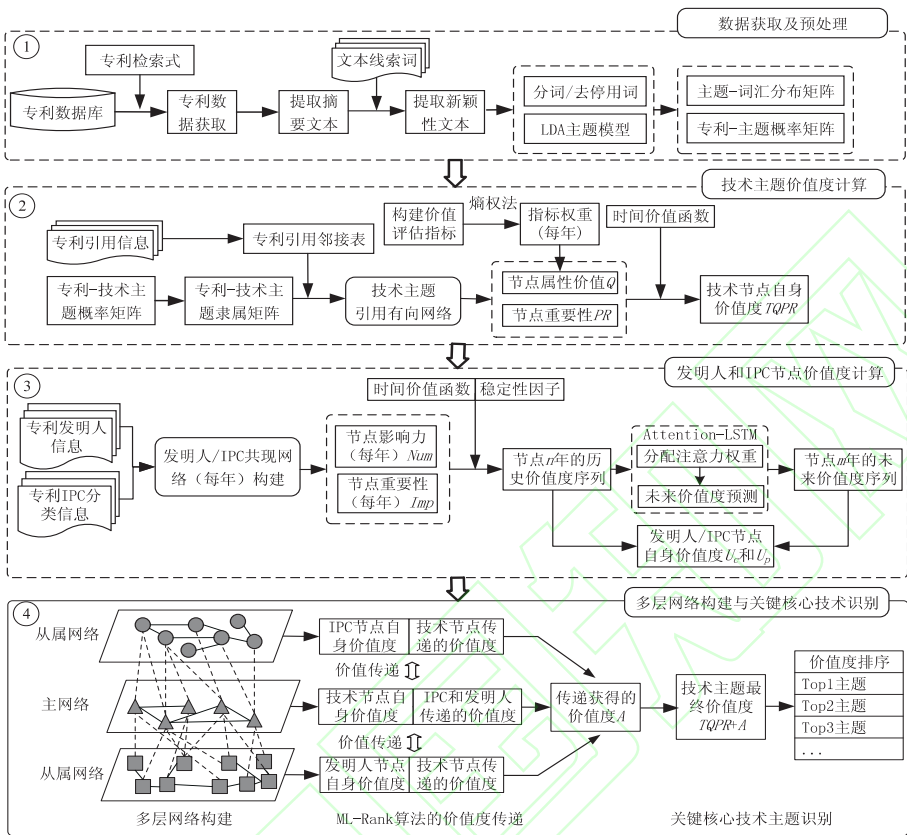


图1 基于动态价值与多层网络的关键核心技术识别过程

表1 技术主题属性价值指标

价值维度	二级指标	指标计算
内在价值	X1 技术关联程度	技术主题 P 中专利所引证的专利数量 ^[2,16]
	X2 科学关联程度	技术主题 P 中专利所引用的文献数量 ^[2,16]
	X3 技术稳定程度	技术主题 P 中专利所拥有的权利要求数量 ^[5]
	X5 市场转化程度	技术主题 P 中专利发生转让或许可次数 ^[2]
外在价值	X5 地域覆盖程度	技术主题 P 中专利的海外布局数量 ^[5,16]
	X6 技术影响程度	技术主题 P 中专利被引用次数 ^[2,5]

2.1.2 技术主题自身价值度

由于技术主题网络是以引用关系构建的有向连边网络, PageRank 算法可以在此类网络中表现出较好的适用性。因此, 通过 PR 值衡量不同网络位置上技术主题的重要性。从知识论角度出发, 知识原有价值会随着时间推移逐渐衰减, 这一动态过程被称为“文献老化”, 同样技术也会经历衰退和淘汰过程^[17], 表现为技术主题的时间价值衰减。考虑到技术主题网络的引用关系已隐含了技术的时间价值特征, 从引用关系角度结合时间价值函数对 PageRank 算法改进, 以更准确地识别网络中技术主题的自身价值。其中式(2)和式(3)分别为时间价值函数和技术主题自身价值计算公式。

$$\tau_k = e^{-\beta(t_i - t_j)} \quad (2)$$

$$TQPR_k = \frac{(1 - \alpha)}{N} + \alpha \sum_{j \in M_{(k)}} \frac{Q_k \tau_k PR_j}{k_j^{out}} \quad (3)$$

式(2)中 τ 为时间价值因子, $(t_i - t_j)$ 表示在不同技术主题中, 存在引用关系的专利 i 与专利 j 申请公开的时间差, 根据已有文献对专利技术老化率 β 的测算结果, 设定 β 为 -0.13 ^[18]。式(3)中 $TQPR_k$ 为技术主题的自身价值; PR_j 为入链节点的 PR 值, α 为阻尼因子(一般取值 0.85), $M_{(k)}$ 为节点 k 的出链节点集合, K_{jout} 为入链节点 j 的出度, N 为节点总数。

2.2 发明人和 IPC 节点价值度计算

2.2.1 发明人和 IPC 节点的影响力与重要性

发明人和 IPC 节点的自身价值体现其在领域内所拥有的影响力及重要性。一方面, 利用发明人和 IPC 节点在每年共现网络中的出现频率衡量其影响力, 发

明人申请的专利数量越多,说明发明人在研发层内的影响力越大;IPC 分类在专利中出现的次数越多,说明 IPC 在应用层内的影响力越大。另一方面是共现网络的结构特征赋予各发明人和 IPC 节点每年不同的重要性,需要融合网络全局视角和局部视角对节点重要性展开评价。全局重要性体现了发明人在研发层面较高的地位,或是 IPC 节点在产业应用层面起到较为关键的作用。表现为发明人和 IPC 节点处于整个网络中重要位置,并与多个相邻节点形成较为稠密的关联^[19]。利用某个节点的特征向量中心性与最高节点的比值衡量,比值越大说明该节点的全局重要性越高。局部重要性表现为对邻居节点的影响,如发明人会直接合作伙伴产生影响^[20],IPC 节点也会为所关联的 IPC 带来潜在的应用价值。此外,合作、关联的频次越高其影响程度也会越大。因此,通过加权邻接中心性衡量发明人和 IPC 节点的局部重要性。节点 i 的特征向量中心性 C_i 如式(4)所示,重要性 Imp_i 如式(5)所示,为节点的全局重要性和局部重要性相乘。

$$C_i = \frac{1}{\lambda} \sum_{j \in N(i)} A_{ij} C_j \quad (4)$$

$$Imp_i = \frac{C_i}{C_{\max}} * \sum_{j \in N(i)} \omega_{ij} d_j \quad (5)$$

式(4)中 C_j 为 j 节点的特征向量中心性, $N(i)$ 为节点 i 相邻节点的集合, λ 为邻接矩阵 A 的特征值。式(5)中 C_{\max} 为网络中特征向量中心性最高节点的值, ω_{ij} 为节点 i 和 j 的共现次数, d_j 为邻居节点 j 的度数。

然而,发明人和 IPC 节点的影响力与重要性并非恒久不变的,当发明人或 IPC 在某一领域中出现的频率减少后,随着时间推移,在该领域中具有的影响力与重要性程度就会下降,并在领域中逐渐被遗忘;相应地,如果发明人或 IPC 在领域内持续出现,那么影响力与重要性将得以保持,从而减缓在该领域中被遗忘的速率,这种现象可以用人类记忆遗忘的动态特征来描述。由于记忆遗忘变化是呈指数形式,具有先快后慢的特点^[21],因此,结合艾宾浩斯遗忘原理构建时间价值函数,表示发明人或 IPC 节点的影响力与重要性程度随时间的动态变化,如式(6)所示。与知识的时间衰减特征不同,记忆遗忘的时间变化还存在时间稳定性因子,用于调整发明人或 IPC 节点每年出现频率不一致情况下的被遗忘速率,如式(7)所示。

$$U_{c/p} = \frac{e^{st}}{(t_0 + t_i)^c} \times num_i \times Imp_i \quad (6)$$

$$st = \frac{1}{S_{\text{year}}^2 + 1} \quad (7)$$

式(6)中, Imp_i 为 t_i 年发明人或 IPC 节点的重要性, num_i 具有双层含义,一是代表 t_i 年发明人或 IPC 节

点的出现频率,二是代表其影响力程度, t_0 年为初始年份, st 为时间价值函数中的稳定性因子,利用节点出现年份间隔期的方差 $S^{\text{year}} + 1$ 的倒数来表示,方差越小,说明在领域内被遗忘的速率越缓慢,稳定性越高。参数 c 照文献[21]中的等记忆量保持函数结果,设为 -0.0225 。最后得到的 $U_{c/p}$ 是经过时间价值函数调整后 t_i 年份的发明人 U_c 或 IPC 节点 U_p 的价值。

2.2.2 发明人和 IPC 的自身价值度

为了进一步体现发明人和 IPC 节点对技术主题在未来可能产生的长期、持续性的价值影响。需要采用预测算法获取发明人和 IPC 节点的未来价值。Attention_LSTM 模型能够在少样本环境下筛选出核心信息,并为其赋予更高的注意力权重,并且在学习长序列数据样本上具有一定优势,多应用于时间序列的预测研究^[22]。因此,对发明人和 IPC 节点共现网络按年份进行时间切片,结合时间价值函数获得各节点的历史价值序列。采取 Attention_LSTM 模型对发明人和 IPC 节点历史价值序列预测,并获得相应的未来价值序列。本文构建的模型结构如图 2 所示。

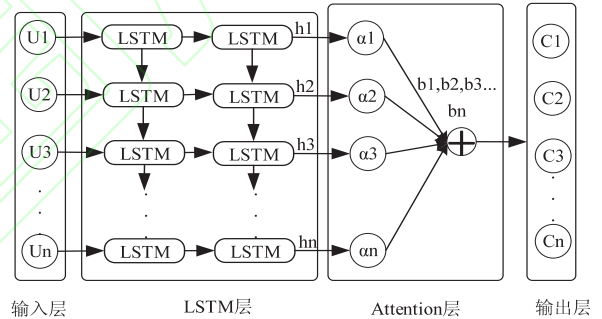


图 2 Attention_LSTM 模型结构

2.3 考虑价值跨层传递的 ML-Rank 算法

多层网络通过不同的节点及节点间的链接关系,共同形成一个整体的网络系统,可以突破单层网络研究的局限性^[23]。构建以技术主题网络为主网络,发明人和 IPC 共现网络为上、下两层从属网络的三层异构网络。考虑到关键核心技术兼具了基础研究与产业应用需求,其价值受到研发层面及应用层面的影响。因此,借鉴 HITS 算法的思想^[24],根据价值跨层传递及反馈机制提出一种适用于多层网络分析的 ML-Rank 算法。将各层节点 Authority 值定义为节点获得的价值度,将 Hub 值定义节点通过跨层网络传递出去的价值度。所构建的多层网络中,发明人和 IPC 层会对技术层发生价值传递,技术层也会反馈相应的价值度,表现为价值的双向影响。

2.3.1 发明人和 IPC 层传递的价值度

发明人和 IPC 层传递到技术层的价值度由三个因素构成:①价值度传递比例,由发明人和 IPC 节点所隶属的专利,并结合“专利-技术主题”概率矩阵得到,表

示发明人和 IPC 节点向对应技术主题价值度传递的百分比;②发明人和 IPC 节点的自身价值度,由发明人和 IPC 节点的历史价值序列与未来价值序列求和得到;③发明人和 IPC 节点的获得价值度 A_{P_i} ,由所链接的技术层节点传递赋予并进行迭代更新,如式(8)所示。

$$A^{(t+1)}_{P_i} = \sum_{k \in N(P_i)} H^{(t)}_{T_k} \quad (8)$$

其中 A_{P_i} 是发明人或 IPC 节点从技术层的获得价值度, H_{T_k} 是第 t 次迭代时,技术主题 T_k 传递过来的价值度, $k \in N(P_i)$ 表示与发明人或 IPC 节点 P_i 相链接的技术主题集合。

综合上述①、②和③,发明人和 IPC 节点传递到技术层的价值度 H_{P_i} 如(9)所示。

$$H^{(t+1)}_{P_i} = \max_Prob_i \times U_{p/c} \times A^t_{P_i} \quad (9)$$

其中 A_{P_i} 为发明人或 IPC 节点 P_i 从对应技术主题所接收到的价值度, $U_{p/c}$ 为发明人和 IPC 节点自身的价值度, \max_Prob_i 为该发明人或 IPC 节点对于技术主题的最大隶属度。

2.3.2 技术层传递的价值度

技术层赋予发明人和 IPC 节点的价值度由三个因素构成:①价值度传递比例,由发明人和 IPC 节点对于主题的隶属概率得到;②技术主题的自身价值度 $TQPR$,通过改进的 PageRank 算法计算得到;③技术主题的获得价值度 A_{T_k} ,由所链接的发明人层和 IPC 层节点传递赋予并迭代更新,如式(10)所示。

$$A^{(t+1)}_{T_k} = \sum_{i \in N(T_k)} H^{(t)}_{PP_i} + \sum_{i \in N(T_k)} H^{(t)}_{PC_i} \quad (10)$$

其中 A_{T_k} 是技术主题从发明人层和 IPC 层的获得价值度, H_{PP_i} 是第 t 次迭代时,发明人节点 PP_i 传递过来的价值度, H_{PC_i} 是第 t 次迭代时,IPC 节点 PC_i 传递过来的价值度。 $i \in N(T_k)$ 表示与技术主题 T_k 相互链接的

发明人节点和 IPC 节点的集合。技术主题 T_k 接收到价值度 H_{PP_i} 和 H_{PC_i} 后,完成一次价值度传递的迭代更新。

综合上述①、②和③,技术主题 T_k 赋予发明人和 IPC 节点的价值度 H_{T_k} 如(11)所示。

$$H^{(t+1)}_{T_k} = \max_Prob_i \times TQPR_k \times A^{(t+1)}_{T_k} \quad (11)$$

其中 A_{T_k} 为技术主题从对应发明人和 IPC 节点所接收到的价值度, $TQPR_k$ 为技术主题自身的价值度, \max_Prob_i 为该发明人或 IPC 节点对于技术主题的最大隶属度。

2.3.3 技术主题最终价值度计算

利用 ML-Rank 算法对多层网络中所有节点迭代计算,当技术主题 $t+1$ 次的 A_{T_k} 和 t 次的 A_{T_k} 差值小于设定的收敛条件时,认为价值的跨层传递已达到稳态,停止迭代。最后由技术主题的 $TQPR$ 值、技术主题所接收到的 A_{T_k} 值线性组合求得最终价值度 V_k ,如式(12)所示。

$$V_k = TQPR_k + A^{T_k} \quad (12)$$

3 实证分析

3.1 数据获取及预处理

近年来,已有多项国家政策鼓励卫星通信行业的发展,明确要求加强卫星通信的顶层设计和统筹布局,说明该产业领域所具有的重要性。鉴于此,本文对卫星通信领域展开关键核心技术识别。通过 IncoPat 数据库共检索到 24 198 件专利,检索日期为 2024 年 5 月 20 日。由于部分专利存在字段缺失,去除申请日期、标题、摘要、IPC 等关键字段缺失的专利,及合并同族专利后,共保留 16 644 件专利。具体检索条件构成如表 2 所示。

表 2 卫星通信领域专利检索条件

检索条件	检索式
IPC 分类号	(IPC-MAIN=(H04B7 * OR H04W * OR H04L * OR G16Y * OR G01S19 * OR G05B19 * OR G08G * OR H04B1 * OR
检索条件 S1	H04M * OR G01S1 * OR G01S5 * OR G01S17 * OR G01C21 *)
关键词	TIAB-DWPI=(卫星电话 OR 卫星遥感 OR 卫星通信 OR 卫星定位 OR VSAT 系统 OR 静止地球轨道卫星 OR 移动卫星通
检索条件 S2	信 OR 高通量卫星 OR 卫星链路优化 OR "Satellite Phone" OR "Satellite Remote Sensing" OR "Satellite Communication" OR "Satellite Positioning" OR "VSAT System" OR "Geostationary Earth Orbit Satellite" OR "Mobile Satellite Communication" OR "High Throughput Satellite" OR "Satellite Link Optimization"))
时间范围 S3	PD=[20040101 TO 20231231]
检索式构成	RESULT="S1" AND "S2" AND "S3"

考虑到技术主题需要更多地关注专利的技术特征,因此将摘要中的新颖性文本内容作为技术特征的特征。提取 16 644 件专利的摘要文本,根据用于描述新颖性文本的线索词,包括“has”,“makes”,“includes”,“involves”,“comprises”,“improves”,“contains”,“capable of”等^[25],利用 Python 中的 re 模块编写正则表达式,使用 re.findall 函数抽取所有专利摘要

中的新颖性文本内容。利用 nltk 工具包对所提取的文本内容进行分词,结合卫星通信领域的专业词汇及 nltk 术语库内置停用词汇共同设置停用词,获得“专利-词汇”文档。将“专利-词汇”文档输入 LDA 主题模型中,将模型的参数 α 和 β 分别设为 0.1 和 0.01^[26],根据主题困惑度及可视化结果确定技术主题最优数量为 47,输出得到相应的“技术主题-词汇”分布矩阵和

“专利-技术主题”概率矩阵。

3.2 技术主题自身价值计算

引用关系反映了潜在的技术流动与继承,以技术主题作为节点、引用关系作为有向连边构建凸显技术积累路径的技术主题网络。从 16 644 件专利中抽取引证专利信息,共获取到 1 243 条引证关系并构成专利引用邻接表。根据“专利-技术主题”概率矩阵中最大隶属概率,对所隶属的技术主题进行标记,将引证关系映射到技术主题中,进而形成技术主题之间的引用邻接表,以此构建技术主题的有向网络,其中节点数量为 47,边数量为 457,如图 3 所示。

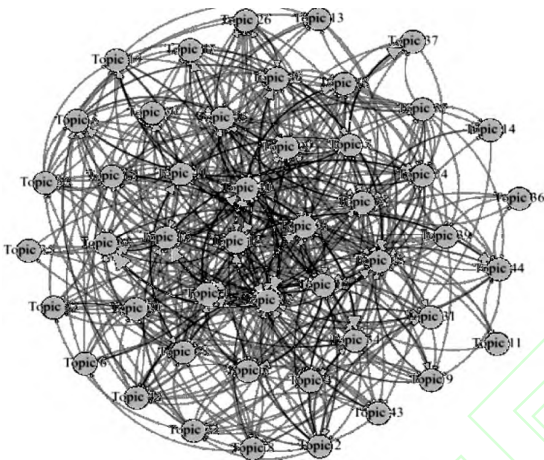


图 3 技术主题引用网络

对专利数据按年份拆分,利用熵权法对指标权重动态赋值,获得“指标-年份”权重矩阵,根据专利的二级指标数值、“专利-技术主题”概率矩阵以及对对应年份的指标权重,通过式(1)计算得到每一年技术主题的属性价值,并进行求和后得到 Q。根据专利申请公开日期表及引用关系,计算各技术主题发生引用和被引的总时间差,利用式(2)计算每个技术主题的时间 τ 值。将属性价值 Q、时间 τ 值标准化后,设置式(3)中改进的 PageRank 计算的收敛容限为 10^{-6} ,计算后得到技术主题自身价值 TQPR,其中前 5 的技术主题如表 3 所示。

表 5 发明人和 IPC 节点的自身价值(部分)

发明人节点	历史价值	未来价值	自身价值	IPC 节点	历史价值	未来价值	自身价值
罗禾佳	11.1632	6.5620	10.2430	H04B7	4744.1845	4559.8622	4707.3200
孙晨华	8.9777	11.5480	9.4918	G01S19	2365.8508	1819.0709	2256.4948
陈莹	8.4298	8.7915	8.5021	H04W4	1194.3424	930.9209	1141.6581
James TPanttaja	8.2226	6.3730	7.8527	H04W84	616.8242	672.1905	627.8975
Matthew JRanney	7.9418	5.0393	7.3613	H04L29	478.5128	126.9434	408.1990

由表 5 可知,罗禾佳等发明人、以及 H04B7 等 IPC 分类在领域内具有较高的影响力及重要性,意味着对于技术层的价值度贡献也较高。此外,由于发明人共现网络相比 IPC 共现网络更为稀疏,导致发明人自身

表 3 技术主题自身价值度排序(部分)

序号	主题	Q	τ	PR	TQPR
1	Topic10	14.2182	6.97E+51	0.0302	0.0882
2	Topic42	31.9392	2.07E+51	0.0263	0.0873
3	Topic7	10.7808	1.55E+52	0.0195	0.0384
4	Topic45	6.3914	1.82E+52	0.0228	0.0369
5	Topic18	13.5415	1.65E+51	0.0205	0.0356

从表 3 中可以发现,Topic10 的时间 τ 值、重要性 PR 和综合的自身价值 TQPR 最高,但属性价值 Q 不及 Topic42。而 Topic42 具有较高的属性价值,反映出该技术主题涵盖的专利质量较好。Topic7 在考虑属性价值 Q 和时间 τ 值后,自身价值有所提升。可以看出,节点重要性、节点属性价值与时间价值特征均会对技术主题自身价值产生影响。

3.3 发明人和 IPC 节点自身价值度计算

当两位发明人或两个 IPC 分类出现在同一件专利里面时,认为存在共现关系。为此,在每年已拆分的专利数据中抽取相关信息,分别构建发明人共现网络和 IPC 共现网络。统计每年发明人和 IPC 节点的出现频率 num,利用式(4)和式(5)计算其重要性 Imp_i ,并通过式(6)的时间价值函数获取发明人和 IPC 的历史价值序列 U_i 和 U_p 。最后将历史价值序列输入 Attention_LSTM 模型进行未来价值序列预测,模型相关参数如表 4 所示。

表 4 Attention_LSTM 相关参数

参数名	参数值	参数名	参数值
输入长度	20	激活函数	tanh
输出长度	5	迭代次数	50
LSTM 层数	2	批量大小	32
优化算法	Adam	学习率	0.001

考虑到历史价值序列反映了发明人和 IPC 节点已有的价值,而未来价值序列则代表了未来可能的价值趋势。因此,根据二八法则将历史价值赋予 80% 权重,未来价值赋予 20% 权重,求和得到发明人和 IPC 节点的自身价值,自身价值度前 5 的发明人和 IPC 节点如表 5 所示。

价值的数值与 IPC 节点存在较大差距。因此,需要分别对节点的自身价值进行标准化处理。

3.4 跨层价值传递及关键核心技术识别

将所有年份的发明人、IPC 构成的共现网络视为

上、下两层从属网络,并与技术主题层的主网络共同构成三层异构网络,对多层网络的节点及连边进行统计性描述,如表 6 所示。

表 6 多层网络的结构属性

发明人节点	技术主题节点	IPC 节点	发明人层连边	技术主题层连边	IPC 层连边
27991	47	502	99220	457	5336

表 7 技术主题最终价值度排序(部分)

序号	主题	TQPR	发明人_Authority	IPC_Authority	最终价值 V _k	排名变化
1	Topic 42	0.0873	0.0465	0.0303	0.1640	+1
2	Topic 10	0.0882	0.0366	0.0251	0.1499	-1
3	Topic 18	0.0356	0.0536	0.0287	0.1179	+2
4	Topic 9	0.0341	0.0385	0.0340	0.1066	+6
5	Topic 5	0.0356	0.0391	0.0239	0.0986	+1
6	Topic 7	0.0384	0.0351	0.0250	0.0985	-3
7	Topic 27	0.0350	0.0336	0.0236	0.0921	0
8	Topic 38	0.0337	0.0291	0.0219	0.0847	3
9	Topic 1	0.0349	0.0289	0.0199	0.0836	0
10	Topic 45	0.0369	0.0215	0.0174	0.0758	-6

表 7 中,发明人_Authority 和 IPC_Authority 分别表示发明人和 IPC 节点向技术主题传递的价值度。可以看出,经过价值度传递后,较多技术主题的最终价值排名发生了变化。其中,排名变化较大的技术主题是 Topic 9 和 Topic 45,其原因在于所获得的发明人和 IPC 传递价值度差异较大;而 Topic 42 的最终价值 V_k 最高,相较于仅计算自身价值 TQPR 时的排名得到提升,表明技术主题 Topic 42 在卫星通信领域的关键核心地位。

表 8 提示词设计

条件设定	
任务描述	您是一名卫星通信领域的专家,请根据下面输入的技术主题词汇及其词频,结合您在卫星通信领域的专业知识和行业经验,对该技术主题进行技术描述。
任务规范	①语言控制:使用领域内公认的专业术语。②内容控制:高度凝练技术主题蕴含的核心技术点。 ③稳定性控制:生成内容温度为 0.5(适中)。④关系控制:输入与输出具有较强因果关系。
规定输入格式	0.0184 * "receiver" +0.0182 * "satellite" +0.0135 * "apparatus" +0.0117 * "devices" +0.0107 * "user" +0.0102 * "response" +0.0091 * "portion" +0.0063 * "associated" +0.0059 * "active" +0.0049 * "communications" +0.0046 * "wirelessly" +0.0045 * "portable" +0.0042 * "station" +0.0040 * "substantially" +0.0039 * "geostationary" +0.0039 * "interface"
规定输出格式	便携设备与卫星移动通信

表 8 中,提示词设计包含四个部分:任务描述确保 GPT-4o 能从卫星通信领域的专业视角处理问题;任务规范明确任务执行时需要遵循的标准和规范,分为语言控制、内容控制、稳定性控制和关系控制,其中稳定性控制通过设置适中的生成温度,避免对技术描述的过度细化,同时防止产生过多的随机变动或不相关内容;规定输入与输出格式用于让 GPT-4o 学习和理解任务执行时所需的数据类型、格式和结构。

由表 9 可知,Topic 42 的技术描述为“便携设备与

利用式(8)-式(12)构建的 ML-Rank 模型对各层的价值度传递进行计算,设定收敛条件为 10⁻⁶。输入技术主题 TQPR 值、标准化后的发明人自身价值度 U_p、标准化后的 IPC 节点自身价值度 U_c,以及“发明人-技术主题”与“IPC-技术主题”的最大隶属度矩阵,经过 9 次迭代后输出的结果如表 7 所示。

3.5 识别结果分析

3.5.1 技术主题层面

通过“主题-词汇”分布矩阵提取最终价值 V_k 排名前 10 的技术主题及其涵盖的主题词汇,为了进一步提高主题识别的客观性和效率,参考 GPT 提示词学习方法^[27],对排名前 10 的技术主题应用 GPT-4o 进行技术描述,提示词设计如表 8 所示。在完成 GPT-4o 提示词学习训练后,依次对后续技术主题进行技术描述,结果如表 9 所示。

卫星移动通信”,该技术可融合卫星与地面 5G 基站,实现智能手机、平板电脑等便携设备的移动通信。从基础资源投入及政策角度而言,我国当前已有 5G 基站总数达 404.2 万个,5G 电话用户达 9.66 亿户;国家工信部也发布了《关于加强端网协同助力 5G 消息规模发展的通知》,要求手机生产企业按照 5G 行业标准进行系统设计和功能升级,表明技术在应用方面拥有完善的基础设施,得到国家政策的有力支持。从技术应用场景及未来前景而言,便携设备通信不仅广泛用

于日常语音通过和宽带上网,还在应急救灾、大众救援、林业巡查、海洋作业等特殊场景中发挥着重要作用;目前,该技术的热点问题之一是实现“5G NTN 手

机直连卫星”,利用卫星系统的全球覆盖特点,减少因距离、时延、网络覆盖不足等问题对通信性能的影响,说明技术具有着广阔的市场及技术发展潜力。

表 9 技术主题词汇及技术描述

序号	主题	技术主题词汇(部分)	技术描述
1	Topic 42	receiver, satellite, apparatus, devices, user, response, portion, associated, active, communications, wirelessly, portable	便携设备与卫星移动通信
2	Topic 10	terminals, plurality, coverage, spot, beams, reuse, geographic, transponders, region, content, color, multiple, antennas	网络区域覆盖与频率复用
4	Topic 18	following, determining, uplink, path transmission, link, service, resources, function, delay, bandwidth, energy, distribution	上行链路传输与资源分配
3	Topic 9	operation, unit, sensor, main, processing, wireless, server, processor, mode, monitoring, control, microprocesso, voice	无线传感器与控制系统
5	Topic 5	digital, offset, signals, interference, modulation, waveform, filter, performing, symbol, number, carrying, spectrum	数字信号处理与干扰抑制
6	Topic 7	frame, packet, transmitted, said, order, sps, interval, transport, parallel, trigger, subset, transponder, slots, obtain, sending	数据帧传输与时隙调度
7	Topic 27	corresponding, obtaining, local, acquiring, road, current, area, fusion, navigation, gps, coordinates, image, global	全球定位导航与图像融合
8	Topic 38	difference, threshold, azimuth, angle, distance, tracking, wave, range, loop, latitude, longitude, sar, direction, inertial, radar	合成孔径雷达与导航跟踪
9	Topic 1	sequence, value, phase, code, correlation, parameter, peak, detection, sequences, sampling, noise, binary, doppler, power	通信信号检测与相位编码
10	Topic 45	measuring, frequencies, vibration, motors, feeder, placing, known, cellular, vibrating, step, strate, coupling, frequency	设备振动测量与频率耦合

3.5.2 发明人层面

从发明人层面对“便携设备的卫星移动通信”技术所具有的关键核心技术特征进行分析,提取“发明人-技术主题”价值度传递矩阵中发明人对 Topic 42 的传递值,共有 9363 位发明人对 Topic 42 存在价值贡献,其贡献分布情况如图 4 和图 5 所示。

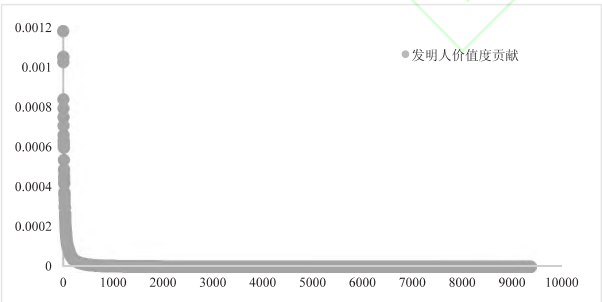


图 4 发明人对 Topic 42 的价值度贡献

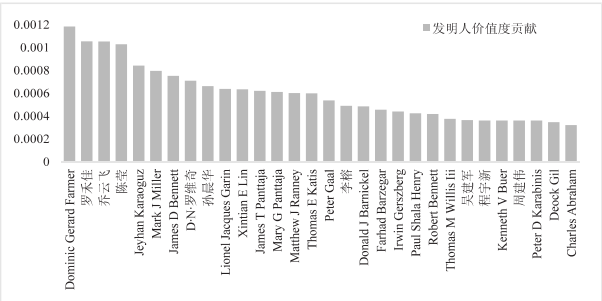


图 5 对 Topic42 价值度贡献最高的前 30 位发明人

从图 4 可以看出,发明人对“便携设备与卫星移动

通信”技术的价值贡献呈现出明显的长尾分布特征。该技术涉及了卫星与地面基站的资源协同等复杂的技术问题,只有位于头部的少数发明人具备相应的研发能力,能够对技术做出主要价值贡献。而位于尾部的大多数发明人由于知识或资源的限制,并不具备相应的能力对技术深入研究,因此仅能提供边缘价值贡献。通过查阅图 5 中价值贡献度最高的前 30 位发明人,发现上述发明人属于 Qualcomm、华为、Avago 等资金实力雄厚的企业,这些企业在技术研发过程中占据主导地位,说明技术在研发领域具有一定的垄断趋势。此外,这些企业拥有雄厚的资金和长期的技术积累,能够支持发明人对技术进行深入研究,反映出该技术的研发过程需要长期且充足的资源投入。可见“便携设备的卫星移动通信”技术具有着技术复杂性、垄断性和累积投入性^[5]这些关键核心技术特征。

3.5.3 IPC 层面

进一步从 IPC 层面对“便携设备与卫星移动通信”技术所具有的关键核心技术特征进行分析,共有 312 个 IPC 节点对 Topic 42 存在价值贡献,其贡献分布情况如图 6 和图 7 所示。

从 6 图中可以看出,虽然 IPC 对“便携设备与卫星移动通信”技术的价值贡献同样呈现长尾分布,但相较于发明人价值贡献的分布更为平缓,说明该技术并非只聚焦于少量的应用领域。进一步分析图 7 可知,

H04B7(无线电传输系统)是该技术最核心的应用,此外,还涉及到了 G01S19(定位系统)、H04W4(通信网络业务)、G01C21(导航系统)等应用,反映出该技术具有的应用领域通用性。此外,大多数中小型企业为了降低技术产业化过程的风险,更倾向于将技术的应用方向定位于已被市场验证过,相对成熟的应用领域^[28]。这些领域对应的 IPC 分布于价值贡献的头部,而大量分布于尾部的 IPC 则指向一些当前尚未完全产业化的边缘应用,其价值未得到充分挖掘。然而,随着技术的成熟和市场需求的变化,这些大量边缘应用可以转变为新的应用热点,体现出该项技术所具有的商用价值。可见“便携设备与卫星移动通信”技术具有着应用领域通用性和商用价值^[6]这些关键核心技术特征。

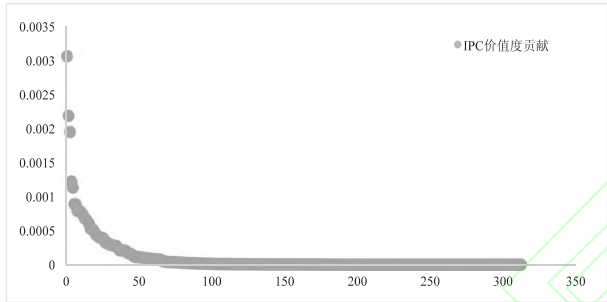


图6 IPC 分类对 Topic 42 的价值度贡献



图7 对 Topic42 价值度贡献最高的前 30 个 IPC 分类

3.6 识别结果比较

通过比较不同层数网络的识别结果,论证识别方法的有效性与合理性。由于专利技术的价值分布契合对数正态分布特征^[29],因此,基于这一假设,对“技术”、“发明人-技术”、“技术-IPC”和“发明人-技术-IPC”四种网络中的技术主题价值分布进行核密度估计,并利用 K-S 检验评估价值分布的拟合效果,结果如图 8 和表 10 所示。

表 10 四种网络技术主题价值分布拟合效果的 K-S 检验结果表

	“技术主 题”网络	“发明人-技 术主题”网络	“技术主题 -IPC”网络	“发明人- 技术主题- IPC”网络
KS_Statistic	0.1298	0.1169	0.1143	0.1081
KS_p-value	0.3750	0.5048	0.5337	0.6038

由表 10 结果可知,所有 p-value 值均大于 0.05,

表明上述四种网络计算的技术价值度分布结果无法拒绝原假设,符合对数正态分布。此外,比较四种网络计算得到的 Statistic 值发现,“发明人-技术-IPC”网络的 Statistic 值最小,说明其价值度分布与对数正态分布的接近程度高于其他三种网络,体现出在关键核心技术识别中考虑“发明人-技术主题-IPC”三层网络具有较高的有效性和合理性。

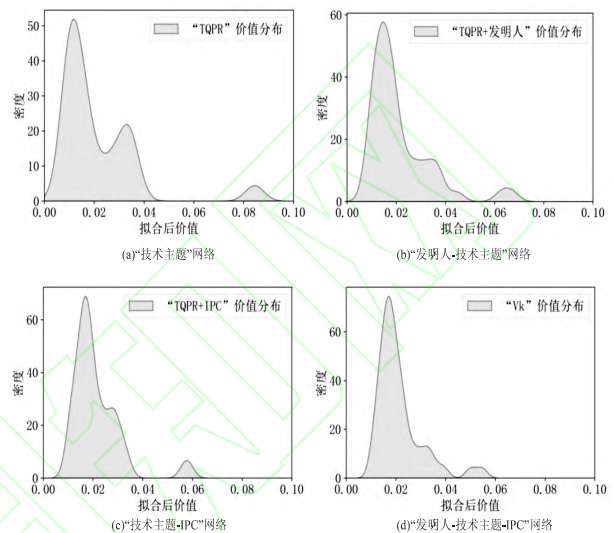


图8 四种网络技术主题价值分布的核密度估计图

4 结论与建议

本文在关键核心技术识别过程中,利用时间价值函数与 Attention_LSTM 模型得到节点的动态价值特征,利用 ML-Rank 算法实现发明人与 IPC 节点对技术主题的跨层价值传递,根据最终价值度排序识别关键核心技术,得到如下结论和相关建议。

4.1 研究结论

卫星通信领域的关键核心技术为“便携设备与卫星移动通信”技术,由于技术具有复杂性、垄断性和累积投入性等特征,只有 Qualcomm、华为、Avago 等资金实力雄厚的企业中的发明人具备了对技术的深入研发能力,能够对技术做出重要价值贡献,而大多数发明人仅能提供边缘价值贡献。此外,该技术还具有应用领域通用性和商用价值,但大多数中小型企业为了降低技术产业化过程的风险,更倾向于将技术的应用方向定位于已被市场验证过,相对成熟的应用领域,一些边缘应用的价值尚未得到充分挖掘。

4.2 理论意义

在关键核心技术识别过程中融入动态价值特征和价值的跨层传递,需要从三方面考虑:①结合时间稳定性因子构建时间价值函数,可以动态调整发明人和 IPC 节点每年出现频率不一致情况下,影

响力与重要性的下降速率。②利用历史价值序列结合 Attention_LSTM 模型预测未来价值序列,可以体现发明人和 IPC 节点对技术长期、持续的价值影响,以此验证某项技术并非是当前“昙花一现”的技术。③通过 ML-Rank 算法实现价值度的跨层传递,能够反映出研发及应用环节对于技术的价值影响。此外,价值传递后所得到的技术价值分布与已有研究中对于价值分布呈对数正态特征的描述更接近。

4.3 管理启示

从研发层面来看,由于“便携设备与卫星移动通信”技术的技术复杂性和研发长期性,具备雄厚资金实力的企业可以通过合作研发的方式,寻找对该项技术具有边缘价值贡献且研发方向一致的发明人,通过共享研发资源,解决这些发明人由于知识或资源限制而导致研发能力欠缺的问题,推动发明人从边缘价值贡献向重要价值贡献转变,共同提升对于该项技术的攻关能力。对于中小型企业而言,由于技术存在着较强的垄断性,独立研发突破技术壁垒的难度较大,因此可以积极寻求雄厚资金实力的企业合作,以提高技术竞争力。

从基础资源及政策推动来看,企业在融合卫星系统实现高性能移动通信的同时,仍需要注重对现有 5G 网络基础设施的利用,寻找 5G 通信与卫星通信的技术协同点,避免因卫星系统通信延迟或信号衰减而导致的通信中断风险。此外,该项技术当前得到较强的政策支持,企业应紧密关注技术的政策导向,特别是有关技术标准、产品标准等方面的政策变化。一方面,企业可以通过对研发战略的动态调整,确保研发标准符合政策要求;另一方面,企业也可以在政策支持下获得更多有利资源和市场机会。

在产业应用中,该项技术具有较强的应用领域通用性和大量的边缘应用。具有雄厚技术基础的企业可以尝试与各行业下游的企业合作,积极探索与验证该项技术在各类边缘应用中的应用场景,充分挖掘技术新的商用价值。此外,技术在产业应用中的价值验证也是一个长期且持续推进的过程,企业需要不断收集各应用领域对于该项技术的反馈数据,以此推动技术的持续迭代和优化。最终形成一个从产业端到研发端,再回到产业端的价值增值与验证的闭环。

参考文献

[1] 王海军. 关键核心技术创新的理论探究及中国情景下的突破

路径[J]. 当代经济管理,2021,43 (6): 43-50.

[2] 刘志迎,姚嘉珍. 生物反应器关键核心技术识别与国别差距研究[J/OL]. 科学学研究;1-20 [2024-09-10]. <https://doi.org/10.16192/j.cnki.1003-2053.20240401.001>.

[3] 曲永义. 关键核心技术识别与管制——基于美欧日比较研究[J]. 北京社会科学,2023,(8): 45-56.

[4] 高道斌,陈悦,韩盟,等. 融合双层技术结构与综合特征评估的关键核心技术识别——以数控机床领域为例[J/OL]. 情报杂志,1-10 [2024-09-20]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1167.G3.20240911.1507.008.html>.

[5] 徐霞,吴福象,王兵. 基于国际专利分类的关键核心技术识别研究[J]. 情报杂志,2022,41 (10): 74-81.

[6] 李维思,谭力铭,章国亮,等. 基于多源信息融合的产业链关键核心技术主题识别研究——以人工智能领域为例[J]. 信息资源管理学报,2022,12 (1): 116-126.

[7] 林文广,赖荣荣,肖人彬. 基于复杂网络的专利数据驱动的产品创新设计[J]. 中国机械工程,2020,31 (7): 842-852.

[8] 吴洁,桂亮,刘鹏. 基于图卷积网络的高质量专利自动识别方案研究[J]. 情报杂志,2022,41 (1): 88-95,124.

[9] 马永红,孔令凯,林超然,等. 基于专利挖掘的关键共性技术识别研究[J]. 情报学报,2020,39 (10): 1093-1103.

[10] 孙彩虹,蔡鸿宇,石进,等. 专利应用视角下的关键核心技术识别研究[J/OL]. 情报理论与实践,1-17 [2024-09-25]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1762.G3.20240824.1528.002.html>.

[11] Park I, Park G, Yoon B, et al. Exploring promising technology in ICT sector using patent network and promising index based on patent information[J]. ETRI Journal, 2016, 38(2): 405-415.

[12] 彭依迪,郭筱虹,王可欣. 高速列车核心技术识别及演变特征[J]. 科技管理研究,2022,42 (18): 36-42.

[13] 周雷,杨萍,龚葵,等. 结合商业数据库的行业关键垄断技术识别研究——以半导体行业为例[J]. 情报杂志,2019,38 (6): 30-37,6.

[14] 巩永强,王超,王锐,等. 复杂网络视角下的核心专利识别研究[J]. 情报理论与实践,2022,45 (10): 103-113.

[15] 梁镇涛,毛进,李纲. 融合“科学-技术”知识关联的高颠覆性专利预测方法[J]. 情报学报,2023,42 (6): 649-662.

[16] 曹琨,吴新年,白光祖,等. 基于“科学-技术”复杂网络的关键核心技术识别研究——以数控机床领域为例[J/OL]. 数据分析与知识发现,1-18 [2024-09-25]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/10.1478.G2.20240506.1342.002.html>.

[17] 韩晓彤,朱东华,汪雪锋. 科学推动下技术机会发现方法研究[J]. 图书情报工作,2022,66 (10): 19-32.

[18] 张欣,马瑞敏. 基于改进 PageRank 算法的核心专利发现研究[J]. 图书情报工作,2018,62 (10): 106-115.

[19] 方曦,彭康,刘云. 融合知识网络嵌入特征的潜在诉讼专利预警模型研究[J]. 情报杂志,2024,43 (10): 166-175.

[20] 谢小东,吴洁,盛永祥,等. 基于图卷积网络的发明人跨领域合作伙伴识别方法[J]. 情报杂志,2024,43 (4): 175-183,167.

[21] 江志恒,刘乃岑. 论遗忘函数——关于记忆心理学的数学讨论[J]. 心理学动态,1988,(3): 56-60.

[22] 蒋翠清,王香香,王 钊. 基于消费者关注度的汽车销量预测方法研究[J]. 数据分析与知识发现,2021,5 (1): 128-139.

[23] Boccaletti S, Bianconi G, Criado R, et al. The structure and dynamics of multilayer networks[J]. Physics reports, 2014, 544 (1): 1-122.

[24] Kleinberg J M. Authoritative sources in a hyperlinked environment[J]. Journal of the ACM (JACM), 1999, 46(5): 604-632.

[25] 唐晓波,吴海婷,吴佳琳. 基于特征知识元的专利语义引用识别方法研究——以量子计算领域为例[J]. 情报理论与实践,2023,46 (10): 86-95.

[26] 李 贺,曹 阳,沈 旺,等. 基于 LDA 主题识别与 Kano 模型分析的用户需求研究[J]. 情报科学,2021,39 (8): 3-11, 36.

[27] 张玲玲,黄务兰. 基于 ChatGPT API 和提示词工程的专利知识图谱构建[J/OL]. 情报杂志,1-8[2024-11-13]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1167.G3.20240828.1212.006.html>.

[28] 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.

[29] Trajtenberg M. A penny for your quotes:Patent citations and the value of innovations[J]. The Rand journal of economics, 1990: 172-187.