

数据驱动的产业技术情报分析方法体系框架构建

The Method Framework for Data-driven Information Analysis Towards Industrial Technology

霍朝光 卢小宾 杨冠灿 霍帆帆
HUO Chaoguang LU Xiaobin YANG Guancan HUO Fanfan

(中国人民大学信息资源管理学院, 北京, 100872)

摘要:【目的/意义】数据驱动的产业技术情报分析,是数据战略浪潮下的科技尖兵。本文旨在完善现有产业技术情报分析方法体系,进一步融合新兴算法以促进其发展。【研究设计/方法】梳理了目前产业技术情报分析中采用的方法,简述了各种分析方法的研究特点,提出在大数据环境下革新传统情报分析思路,塑造数据驱动的产业技术情报分析模式,构建了数据驱动的产业技术情报分析核心方法体系框架。【结论/发现】面向六大产业技术情报分析目标,针对识别、预测、评估、预警四大情报分析任务,本文构建文本数据、网络数据、图像数据三类核心数据驱动的,囊括文本挖掘、图挖掘、图像挖掘三大方法体系的产业技术情报分析方法框架。【创新/价值】构建了文本数据、网络数据、图像数据三维驱动的产业技术情报分析方法体系框架,凝练文本挖掘、图挖掘、图像挖掘三种非结构数据情报分析模式。

关键词: 情报分析; 产业技术; 文本挖掘; 图挖掘; 图像挖掘; 数据驱动

中图分类号: G250.2 **DOI:** 10.13366/j.dik.2022.01.073

引用本文: 霍朝光, 卢小宾, 杨冠灿, 等. 数据驱动的产业技术情报分析方法体系框架构建 [J]. 图书情报知识, 2022, 39(1): 73-83. (Huo Chaoguang, Lu Xiaobin, Yang Guancan, et al. The Method Framework for Data-driven Information Analysis Towards Industrial Technology[J]. Documentation, Information & Knowledge, 2022, 39(1): 73-83.)

Abstract: 【Purpose/Significance】The Data-driven information analysis of industrial technology is the frontier of science and technology in the wave of data strategy. This paper aims to improve the existing method system of industrial technology information analysis and enhance its development through fusion with new algorithms. 【Design/Methodology】This study concluded current methods of industrial technology information analysis and illustrated their research characteristics. It also suggested a transformation of traditional information analysis method and proposed to build a schema for data-driven information analysis of industrial technology. Then it developed a core method framework for industrial technology information analysis. 【Findings/Conclusion】Orienting to the six aspects of industrial technology information analysis, aiming at the four tasks of identification, prediction, evaluation and early-warning, this paper constructs an information analysis method framework consisting of text mining, graph mining and image mining. 【Originality/Value】This paper constructs a three-dimensional information analysis method framework of industrial technology, which is driven by text data, network data and image data. It also concludes the information analysis modes of three kinds of unstructured data, which are text mining, graph mining and image mining.

Keywords: Information analysis; Industrial technology; Text mining; Graph mining; Image mining; Data-driven

1 引言

产业技术情报分析旨在围绕某个特定产业领域,利用情报学分析方法,对产业的相关技术进行类别识别和发展预见,揭示产业技术发展态势与竞争格局、产业技术热点与发展阶段、关键技术布局及演化情况等^[1-2]。产业技术情报分析是推动产业技术创新发展的重要支撑,在产业技术研发需求明确、产业技术重点攻关、产业资源分配、产业政策制定等方面发挥着重要的

作用,是预警专利威胁、规避企业陷阱、反技术制裁的重要情报手段^[3-4]。

数据驱动的产业技术情报分析,是数据战略浪潮下的科技尖兵。2020年4月《中共中央国务院关于构建更加完善的要素市场化配置体制机制的意见》提出土地、劳动力、资本、技术、数据市场配置五要素,首次明确数据成为五大生产要素之一。2020年10月8日,美国国防部发布《国防部数据战略》(DoD Data Strategy),宣布将国防部建设成为“以数据为中心的

【基金项目】本文系国家自然科学基金重点项目“新时期产业技术情报分析方法体系研究”(21ATQ008)的研究成果之一。(This is an outcome of the key project “Information Analysis Method Research Towards Industrial Technology in the Era of New Time”(21ATQ008) supported by National Social Science Foundation of China.)

【通讯作者】卢小宾 (ORCID:0000-0002-2866-4509), 博士, 教授, 研究方向: 信息分析理论与方法, Email: luxb@ruc.edu.cn. (Correspondence should be addressed to LU Xiaobin, Email: luxb@ruc.edu.cn, ORCID: 0000-0002-2866-4509)

【作者简介】霍朝光 (ORCID:0000-0002-5063-0938), 博士, 讲师, 研究方向: 文本挖掘与图挖掘, Email: huochaoguang@ruc.edu.cn; 杨冠灿 (ORCID:0000-0002-1706-1884), 博士, 副教授, 研究方向: 专利分析与挖掘, Email: yanggc@ruc.edu.cn; 霍帆帆 (ORCID:0000-0001-8392-8995), 博士研究生, 研究方向: 政策信息分析与挖掘, Email: huo_ff@163.com。

机构”^[5]。数据可以是“石油”，也可以是“弹药”，数据是国家、机构和企业等单位的战略资产，是数字经济的关键资源^[6]。在全球数据战略下，如何布局数据战略，释放结构化、半结构化和非结构化等产业技术数据红利，构建数据驱动的产业技术情报分析体系，是全面、实时、自动、智能产业技术预见的重中之重^[7]。

数据驱动的产业技术情报分析，关键在于融合新兴算法，完善现有情报分析方法体系。美国国际战略研究中心(Center for Strategic and International Studies, CSIS)报告《保持情报优势：通过创新重塑情报》(Maintaining the Intelligence Edge: Reimagining and Reinventing Intelligence through Innovation)指出，新兴技术不仅会改变情报系统评估全球威胁的相关性质，还会改变情报系统准确检测和评估这些威胁的能力^[8]，并且该报告提出将科学技术情报分析提升为核心分析学科，意在监测他国新兴和颠覆性技术领域的动态。

鉴于此，本文梳理了目前产业技术情报分析中采用的方法，比较各种分析方法的研究机理和特点，提出塑造数据驱动的产业技术情报分析模式，在大数据环境下转变传统情报分析模式，面向各类型情报分析目标，构建数据驱动的产业技术情报分析方法体系框架，强调塑造文本数据、网络数据、图像数据驱动的文本挖掘、图挖掘、图像挖掘等产业技术情报分析方法体系。

2 研究现状

产业技术情报分析方法是产业技术情报分析与服务研究的科学方法论，是科技情报分析工作不可或缺的利器，也是智慧产业情报服务的核心^[9]。归纳总结现有的产业技术情报分析方法，包括德尔菲法、技术路线图、情境分析法等定性视角的情报分析方法，指标预测法、技术属性预测法、专利分析法、科学文献分析法以及融合专家知识、基金信息、新闻报道等多种信息的定量视角的情报分析方法，各情报分析方法的研究机理、优缺点以及应用案例，如表1所示。

在定性的研究方法中，主要收集和利用专家对某一技术的态度、看法和知识。例如，通过问卷调查直接收集专家的意见，以多轮投票的形式让专家进行民主

投票，在全面利用专家知识的同时，规避个别专家局限或极端的看法；通过构建技术路线图，邀请领域专家在此结构化、图形化分析基础上，进行研判和推理；通过未来场景构建，根据需求设想、牵引未来的技术发展。在以往定性研究方法中，往往缺乏大规模的客观数据支持，更多是一种非数据驱动的产业技术情报分析方法。

在定量的研究方法中，主要收集和利用专利、科学文献、新闻报道、基金项目以及专家知识等，探测某一项产业技术的萌发势头，评估其发展阶段，预判其发展潜力，强调利用客观数据，采用更加量化的科学方法，同时假以专家知识进行佐证。例如指标预测法、引文网络分析法、共词网络分析法、文本主题模型法等一系列方法。目前，定量研究方法虽然具有一定的数据支持，在数据利用和方法应用方面进行了大量的探索，并引入以及改进一系列较新的算法，但仍然缺乏数据驱动意识和系统的数据驱动思维，在应用层面仍然集中在某一领域的数据集，方法应用零散片段、缺乏体系，数据驱动的意识不够鲜明，面向产业技术的情报分析方法体系有待进一步整合。

3 数据驱动的产业技术情报分析模式和目标

3.1 产业技术情报分析模式转变

数据驱动是第四范式思想——数据密集型研究范式时代的典型代表，即数据是现实世界事物、现象和行为在数字空间的映射，数据蕴含着现实世界的运行规律，陈国青等学者将其称作数据驱动范式，强调利用数据进行关系模式发现^[43]。如图1所示，数据驱动的产业技术情报分析方法体系强调融合第四范式思想，强调从方法论视角以数据驱动的方式，革新产业技术情报方法体系，从第三研究范式到第四研究范式，产业技术情报分析的模式已经完全不同，已经由原先的问题发现、假设提出、采集数据、分析检验等思路变为数据采集、数据挖掘、知识发现、知识验证的模式，即数据驱动的知识全面创新，由此迫切需要融合新的产业技术情报分析方法^[44]。

此外，数据驱动的产业技术情报分析模式尤其强调主观、客观数据的融合。数据驱动的产业技术情报分

表1 产业技术情报分析方法

Table 1 Information Analysis Methods of Industrial Technology

方法视角	方法类型	研究机理	研究特点	应用领域示例
定性	德尔菲法 / 专家咨询法	邀请领域专家进行多次不记名问卷调查	充分利用专家知识; 多轮投票相对民主; 专家成本较高; 无法针对海量技术进行分析	能源技术 ^[10] ; 国家电网技术 ^[11] ; 环境工程技术与农业技术 ^[12]
	技术路线图	通过结构化、图形化的工具分析技术变化的过程和趋势	直观简洁; 实施过程较长, 无法进行实时快速分析	无线通信超级系统技术 ^[13]
	情境分析法	构建未来场景, 研究技术实现的相对障碍和途径	根据需求牵引进行技术识别; 只适用于需求牵引技术	医学考古技术 ^[14]
定量	指标预测法	通过不同技术的特征体系识别和预测	指标明确, 简单有效; 指标数据获取难	Web 应用程序 ^[15] ; 软盘技术等
	技术属性预测法	根据商品供需原理进行预测	充分利用技术出现的动力机制; 技术性能和需求数据难获取	无线通信技术 ^[16] ; 汽车锂电池技术 ^[17]
	专利分析法	基于 TRIZ 理论从技术的成熟度和系统功能进行判别	利用专利的级别、数量、性能和利润等指标; 数据较为主观, 更多依赖于主观判断	汽车产业技术 ^[18] ; 电动汽车技术 ^[19]
		基于专利的外部特征进行识别	充分利用技术的时效性、影响力; 无法揭示技术的组成	固定酶、腹腔镜等技术 ^[20] ; 智能手机技术 ^[21] ; 中药专利 ^[22] ; 新材料技术 ^[23]
		基于专利文本的关键词以及其他内容进行分析	利用专利关键词出现的频率、增长率、共现网络等; 仅专注于专利文本	钙钛矿太阳能电池 ^[24] ; AI 领域技术 ^[25] ; 机器人和数控机床技术 ^[26]
		专利引证网络	利用引证数据更加可靠、权威; 引证数据滞后性	电动汽车技术 ^[27] ; 燃料电池电动汽车技术 ^[28] ; 石墨烯技术 ^[29] ; 奈拉滨药物技术 ^[30]
	科学文献分析法	基于共词网络等方法的技术识别	操作简单, 结果客观; 仅考虑技术自身的相关文献	氮化镓、复杂网络和纳米碳等技术 ^[31] ; 3D、大数据、比特币等领域 ^[32] ; 钙钛矿材料技术 ^[33]
		基于知识突变和离群数据等指标的分析法	通过科学文献中的突变词等客观反映事实; 仍需专家主观研判	科技领域 ^[34] ; 无人机技术 ^[35] ; LIS 领域 ^[36]
		基于引文数量以及引文网络的分析法	利用引文曲线、引用跃迁指数等相对权威的指标; 引文滞后性	干细胞领域 ^[37]
	专利 + 科学文献	专利引证网络和引文网络聚类	可针对海量数据进行分析; 受技术工具影响较大	物联网领域 ^[38] ; 钙钛矿太阳能电池 ^[39]
		专利和文献引证网络与文本挖掘	客观、海量; 依赖于文本挖掘技术	纳米发电机技术 ^[40]
专利 + 专家知识	提取专利主题, 供专家进行研判	在定量分析的基础上加入专家知识; 多依赖于主题模型	医疗技术 ^[41]	
专利 + 科学文献 + 基金 + 新闻 + 专家知识	利用专利、合作网络、基金项目、论文、新闻报道以及社会影响、是否基础研究或应用研究等进行预测	融合多源异构数据, 可对海量技术进行自动分析和研判; 依赖于文本挖掘、图挖掘等技术	无人驾驶技术 ^[42]	

The Method Framework for Data-driven Information Analysis Towards Industrial Technology
数据驱动的产业技术情报分析方法体系框架构建

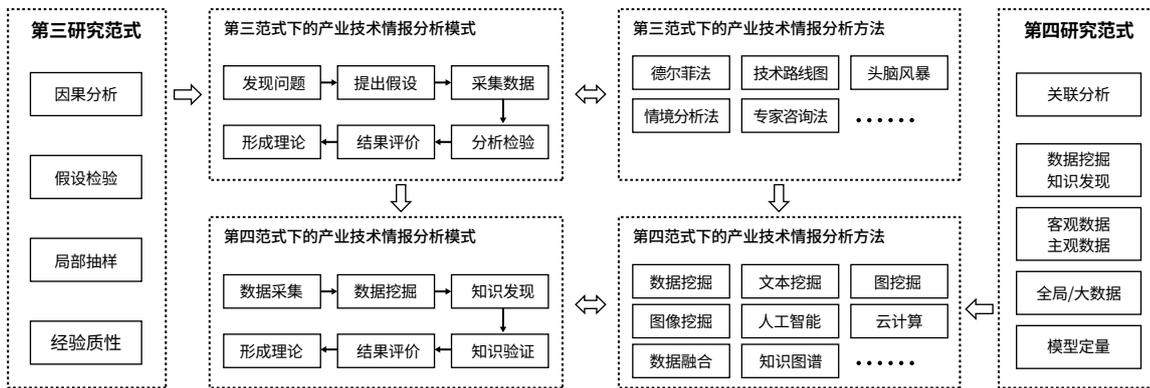


图1 数据密集型研究范式下产业技术情报分析模式转变

Fig.1 Transformation of Industrial Technology Information Analysis Mode in the Data-intensive Paradigm

析方法体系，不仅强调囊括客观的大数据，让数据说话，还注重融合专家知识、领域观点等主观数据，促进知识融合^[45]，例如基于专家知识等主观数据，构建知识图谱、知识库等，将专家的主观知识同客观数据融合，以知识赋能情报分析，防止单纯基于客观数据的机器智能脱离产业技术的本质规律，综合围绕数据中心、知识中心，构建多维异构数据融合的产业技术情报分析智慧体。

3.2 产业技术情报分析目标

根据技术创新程度和影响差异，产业技术有类型之分，不同类型的产业技术形成不同的情报分析目标。目前，产业技术情报分析工作主要围绕持续性技术、突

破性技术、颠覆性技术、新兴技术、共性技术、卡脖子技术等目标展开^[23,46]，根据这些情报分析目标的要求，需要围绕各个产业或领域，对当前产业技术发展态势进行评估，对初露头角但具有潜在发展前景的产业技术进行识别，对未来可能产生重大影响的产业技术进行预测等。不同产业技术情报分析目标，关乎不同形式的创新，其关系如表2所示。

其中,Ahsan和Musteen最早基于经典的创新理论，从创新强度视角将技术创新划分成突破性技术创新和持续性技术创新，持续性技术强调对现有技术渐进式、增量式的性能或功能改进，是渐进式创新(incremental innovation)的集中体现^[47]；突破性技术(radical technology)强调该技术对已有技术性能和功

表2 产业技术类型

Table2 Categories of Industrial Technology

产业技术类型	视角	初期服务对象	作用机制	不同产业技术之间的关系
持续性技术	技术	主流客户	对现有技术渐进式、增量式的性能或功能改进	
突破性技术	技术	主流客户	强调对已有技术的性能和功能有跳跃式的突破，一种非连续性、间接性技术创新	
颠覆性技术	市场	新客户 / 潜在客户	对现有技术、主流市场和在位企业进行颠覆	
新兴技术	技术	主流客户 / 新客户	新出现的技术	
共性技术	技术和产业	所有客户	在很多领域已经或未来可能被普遍应用，对整个产业或多个产业产生深度影响的一类技术	
卡脖子技术	国家或企业安全	所有客户	技术不可自主研发，又无替代产品，绝对性地依赖于一两个供应商或供应国，威胁国家或企业安全	

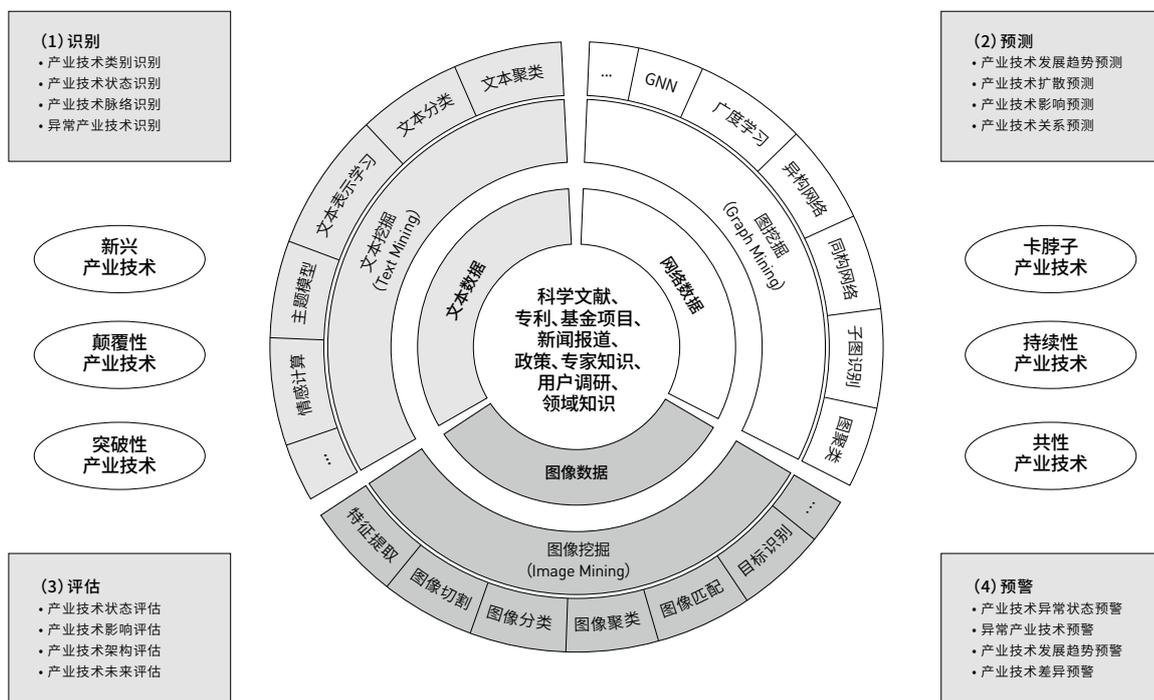


图2 数据驱动的产业技术情报分析核心方法体系框架

Fig. 2 The Core Method Framework of Data-driven Information Analysis of Industrial Technology

可能都需要三大方法体系的支持。三大方法体系同时也可以用于任何一种情报分析任务和任何一类产业技术的情报分析。六大产业技术在应用三大方法体系时，主要体现在形形色色的数据中，一类数据对应一类方法，多源异构数据则对应多种方法。总而言之，数据驱动范式下的产业技术情报分析中，文本数据、网络数据、图像数据三类核心数据是力量之源，文本挖掘、图挖掘、图像挖掘三大核心方法体系是方法之剑，识别、预测、评估、预警是情报分析的四大任务，而实现对六大产业技术的情报分析是终极目标。

4.1 文本数据驱动的产业技术情报分析方法

文本数据 (text data) 是产业技术最广泛的载体，如科学文献、专利文本、政策文本、新闻报道以及专家与学者对技术的评价与观点信息等，如何从文本大数据中识别出相关产业技术，并根据文本特征对产业技术进行分类和预测，是文本数据驱动产业技术情报分析模式研究的关键^[55]。如图3所示，将产业技术文本数据转化为情报，其核心在于文本挖掘 (text mining) 等情报分析方法的融合。

文本挖掘是一种从文本数据中抽取隐含的、未知的、潜在有用的模式、关联、规律和知识发现的过程^[56]，

需要依据自然语言处理 (Natural Language Processing, NLP) 等模式进行文本预处理，进而进行文本解码 (text encoding)、文本相似度计算 (text similarity)、文本分类 (text categorization)、文本聚类 (text clustering)、文本自动摘要 (text summarization)、文本自动管理 (automatic text management) 等处理。面向产业技术的文本挖掘情报分析方法，强调在广泛收集产业技术文本数据的基础上，有效清洗、处理文本数据，结合具体的产业技术识别、预测任务，从海量文本数据中识别、提取文本特征，即在文本表示学习的基础上辅以机器学习/深度学习等方法，以实现产业技术情报分析目标。其关键在于，针对海量的文本数据，如何提取文本中相关产业技术的特征，相比Bert动则上亿个参数，如何借鉴Sentence-BERT、SBERT-WK等轻量级算法^[57]，改进并融合到产业技术文本挖掘方法体系中，是文本数据驱动情报分析研究的重点。

4.2 网络数据驱动的产业技术情报分析方法

网络数据是产业技术实体和关系最有力的表达方式之一，其以节点 (node) 代表相关产业技术及属性，以边 (relation) 代表产业技术之间的复杂关系，如产业技术相关知识网络、合作网络、引证网络、价值链、集

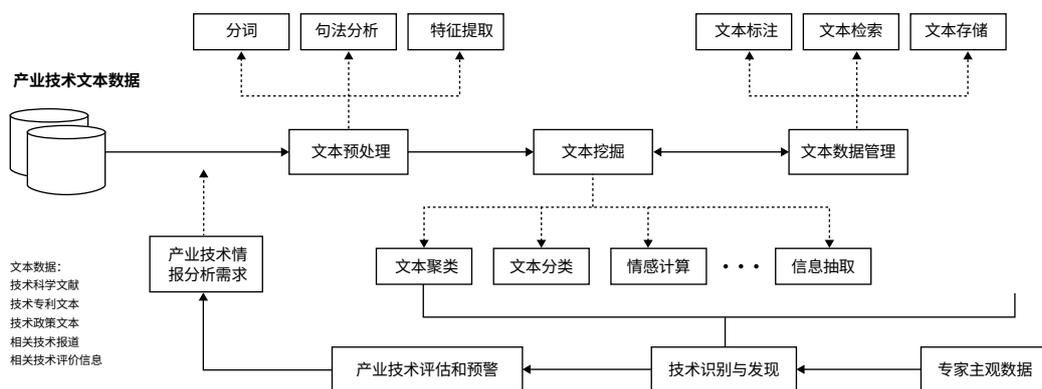


图3 文本数据驱动的产业技术情报分析方法
Fig.3 Industrial Technology Information Analysis Driven by Text Data

群网络以及相关产业技术知识图谱等,网络数据又统称为图数据(graph data),因此如图4所示,将产业技术网络数据转化为情报的核心在于图挖掘(graph mining)等情报分析方法的融合。

图挖掘是一种对图(graph)或网络数据中潜在的、未知的结构、模式、规律等识别和预测的过程,其复杂程度远超单一的图计算(graph computation)^[58]。面向产业技术的图挖掘情报分析方法,强调在合理识别和抽取节点与关系的基础上,完成同构、异构等不同类型图构建,运用图聚类、路径计算、子图识别、影响力计算等方法对图中的节点和关系进行计算^[59],根据节点影响力识别不同类型的产业技术,计算和揭示产业技术之间的直接与间接关系,根据子图特征对产业技术集群进行识别,并对相关产业技术之间未来的关系进行预测。例如Common Neighbors、Admic Adar、Jaccard Coefficient等节点相似度计算模型,Shortest Path、Katz、FriendLink、Random Walk等关系相似度计算模型,Deepwalk、Node2vec、Edge2vec、SDNE等同

构网络无监督特征自学习模型,以及Metapath2vec、W-Metapath2vec^[60]、TransPath^[61]等异构网络特征自学习模型。

目前在图挖掘方面比较受关注的当属广度学习(broadening learning)和图神经网络(Graph Neural Network,GNN)等算法模型。其中,广度学习主要针对异构网络,强调如何在异构网络中进行图挖掘,比较适用于产业技术多源异构网络数据,可进行识别、预测、预警等多种情报分析任务,例如CCMF(Cross-network Collaborative Matrix Factorization)、HUMOR(Heterogeneous Multi-source Clustering)、ILSTM(Improved Long Short-Term Memory)等算法模型^[62]。图神经网络则适用于任何一种网络数据,例如LGNN(Layered Graph Neural Network)、GGS-NN(Gated Graph Sequence Neural Network)、GPNN(Graph Parsing Neural Network)等算法模型^[63]。随着GNN的创新应用和企业级应用开放,上千亿级关系的大型图可在14小时内完成训练,在1.2个小时内完成后续推理预测工作^[64]。

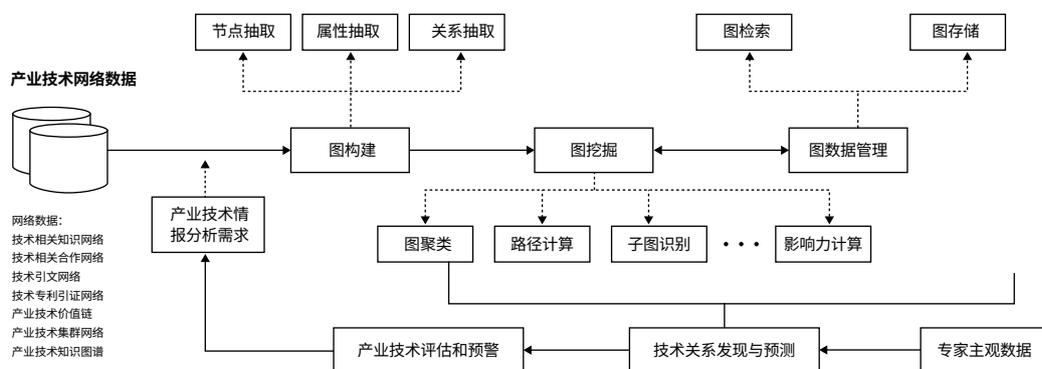


图4 网络数据驱动的产业技术情报分析方法
Fig.4 Industrial Technology Information Analysis Driven by Network Data

The Method Framework for Data-driven Information Analysis Towards Industrial Technology
数据驱动的产业技术情报分析方法体系框架构建

随着图机器学习 (Graph Machine Learning, GML) 的发展和逐渐成熟, 基于图挖掘的产业技术情报分析, 将成为科技尖兵开展情报工作必不可少的利器。

4.3 图像数据驱动的产业技术情报分析方法

图像数据也是产业技术重要的载体, 如产业技术相关专利图纸、设计图纸、实验图像以及竞争产品图像等, 无论是动态的视频, 亦或实时监控的录像与拍照, 都是情报分析重要的图像数据。如图5所示, 将产业技术图像数据转化为产业技术情报, 需要根据情报分析需求, 对相关图像进行切割、模式识别、特征提取等, 根据图像所包含的内容进行产业技术识别和预测, 图像挖掘 (image mining) 等情报分析方法是实施的关键。

图像挖掘是一种利用计算机视觉 (computer vision) 技术从图像、视频等数据中抽取信息和进行知识发现的过程^[65-66]。面向产业技术的图像挖掘情报分析方法, 强调融合计算机视觉、图像处理、图像检索、统计学等多种技术为一体, 在对图像处理的基础上, 根据情报任务对图像进行分类、聚类以及匹配等, 并结合专家主观数据对从图像中识别和预见的产业技术进行修正, 完成情报任务。例如, 在进行产业技术情报分析时, 往往会遇到大量PDF格式的数据无法直接被机器阅读, 此时解析PDF就势必需要借助图像挖掘技术^[67]。

面向产业技术情报分析的图像挖掘, 其关键在于提高机器对产业技术相关图像的理解以及提高图像数据中产业技术类别识别的准确率, 例如移植和改进 R-CNN (Regions with CNN features)、Fast R-CNN、Faster RCNN、YOLOv1 (You Only Look Once)、SSD、

RetinaNet等图像挖掘算法, 从人脸支付、自动驾驶、广告检测等领域, 迁移到产业技术图像情报分析中来。相对于其他领域比较广泛和容易获取的图像数据而言, 产业技术相关图像数据却常常难以获取, 获取的完整度也大打折扣, 而具有成熟标注的产业技术图像数据库则更为稀少。产业技术情报分析作为科技尖兵, 不应对海量而丰富的图像数据“熟视无睹”, 不能成为“睁眼瞎”, 科技情报领域的学者应当积极推进图像挖掘算法在产业技术情报分析方面的创新应用, 进而形成面向科技情报分析的图像挖掘方法研究体系。

5 结语

新时期我国产业技术的发展面临着更多的挑战和阻碍, 为了更好地服务产业技术发展、赋能产业技术决策, 我国更应该创新情报分析理念, 摒除落后的情报分析手段以及固有的情报文化障碍, 积极融合新兴技术, 创新我国产业技术情报分析方法体系, 重塑数据战略浪潮下的科技“尖兵”, 服务国家创新发展战略。

本文梳理了目前产业技术情报分析中采用的方法, 简述了各种分析方法的研究机理和特点, 论证了大数据环境下的情报分析模式及对应的情报分析目标, 整合并构建数据驱动的产业技术情报分析方法体系框架, 着力塑造与文本数据、网络数据、图像数据等相对应的文本挖掘、图挖掘、图像挖掘方法体系, 针对产业技术不同的情报分析目标, 打造与之相匹配的情报分析模式。

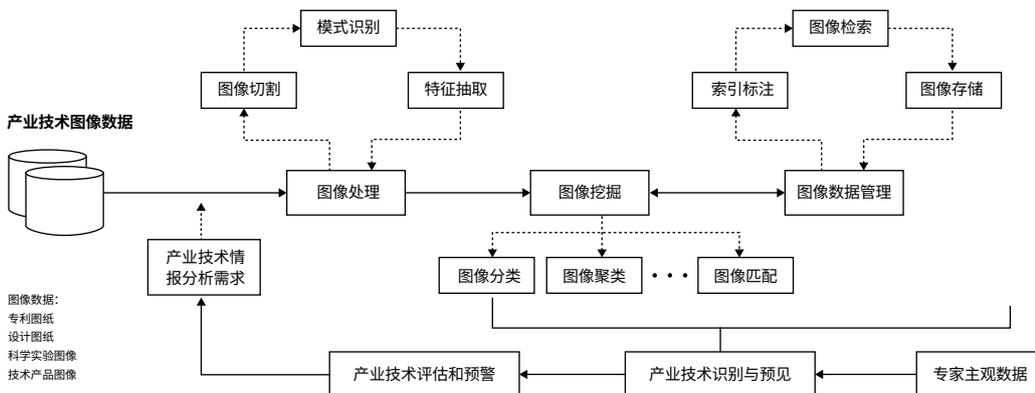


图5 图像数据驱动的产业技术情报分析方法

Fig. 5 Industrial Technology Information Analysis Driven by Image Data

数据驱动的产业技术情报分析方法体系, 绝不仅是单一维度方面的数据, 文本挖掘、图挖掘、图像挖掘等产业技术分析模式, 虽然自成一体, 各有其适用的场景和独特要求, 但也互补互成, 无论是方法层面的核心思想, 还是应用层面的灵活改进, 均可相互借鉴, 例如借鉴文本表示学习思想形成的网络表示学习, 借鉴文本预训练模型Bert形成的图网络的预训练

Graph-Bert^[68], 以及将图像数据当作一种特殊的图数据, 利用图神经网络(GNN)进行图像挖掘创新应用等。数据驱动强调多维数据整合、多源异构数据融合, 从特征层面、模型层面、决策层面形成一体的融合机制, 面向产业技术情报分析中的识别、预测、决策、预警等任务, 全面搜集数据、充分利用数据, 凝练形成新的产业技术情报分析方法体系。

作者贡献说明

霍朝光: 研究设计, 论文撰写;
卢小宾: 研究设计, 论文撰写;
杨冠灿: 论文修改;
霍帆帆: 资料收集, 参与修订;

参考文献

- [1] 洪凡. 产业技术情报挖掘方法与流程研究——基于专利文献数据分析的视角[J]. 情报理论与实践, 2017, 40(5): 65-70. Hong Fan. Research on the Process and Mining Methods of Industrial Technology Intelligence[J]. Information studies: Theory & Application, 2017, 40(5): 65-70.
- [2] 孙玉玲, 董璐, 贾苹. 产业技术情报分析框架与指标构建研究——以非粮生物质产业为例[J]. 情报理论与实践, 2016, 39(5): 12-16. (Sun Yuling, Dong Lu, Jia Ping. Research on the Construction of Framework and Indicators for Industry Technical Intelligence Analysis [J]. Information studies: Theory & Application, 2016, 39(5): 12-16.)
- [3] 王知津, 周鹏, 韩正彪. 基于情景分析法的技术预测研究[J]. 图书情报知识, 2013(5): 115-122. (Wang Zhijin, Zhou Peng, Han Zhengbiao. A Study of the Technological Forecasting Based on Scenario Analysis[J]. Documentation, Information & Knowledge, 2013(5): 115-122.)
- [4] 张世玉, 王伟. 企业专利威胁预警的“E-L”模型研究[J]. 情报杂志, 2021, 40(1): 56-61. (Zhang Shiyu, Wang Wei. An Enterprise Patent Threat Early Warning Model: The “E-L” Model[J]. Journal of Intelligence, 2021, 40(1): 56-61.)
- [5] Department of Defense of the USA. Executive Summary: DoD Data Strategy[EB/OL]. [2021-03-03]. <https://media.defense.gov/2020/Oct/08/2002514180/-1/-1/0/DOD-DATA-STRATEGY.PDF>.
- [6] 程学旗, 梅宏, 赵伟, 等. 数据科学与计算智能: 内涵、范式与机遇[J]. 中国科学院院刊, 2020, 35(12): 1470-1481. (Cheng Xueqi, Mei Hong, Zhao Wei, et al. Data Science and Computing Intelligence: Concept, Paradigm, and Opportunities[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2020, 35(12): 1470-1481.)
- [7] 郑荣, 杨竟雄, 张薇, 等. 多源数据驱动的产业竞争情报智慧服务研究[J]. 情报学报, 2020, 39(12): 1295-1304. (Zheng Rong, Yang Jingxiong, Zhang Wei, et al. Research on Intelligent Services for Industrial Competitive Intelligence Driven by Multi-Source Data[J]. Journal of the China Society for Scientific and Technical Information, 2020, 39(12): 1295-1304.)
- [8] Maintaining the Intelligence Edge: Reimagining and Reinventing Intelligence through Innovation[EB/OL]. [2021-03-03]. https://csis-website-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/publication/210113_Intelligence_Edge.pdf.
- [9] 张百尚, 拓晓瑞. 面向政府决策的战略性新兴产业技术情报研究[J]. 科技管理研究, 2020, 40(14): 38-42. (Zhang Baishang, Tuo Xiaorui. Technical Information Research of Strategic Emerging Industries for Government Decision Making[J]. Science and Technology Management Research, 2020, 40(14): 38-42.)
- [10] Stoiciu A, Szabo E, Totev M, et al. Assessing the Disruptiveness of New Energy Technologies-An Ex-Ante Perspective[EB/OL]. [2021-04-22]. <https://epub.wu.ac.at/4310/>.
- [11] 李晓龙, 鲁平, 李存斌. 基于 Delphi 和 DEMATEL 法影响国网的颠覆性创新技术影响因素综合排序分析[J]. 科技管理研究, 2017, 37(6): 127-133. (Li Xiaolong, Lu Ping, Li Cunbin. Analysis on the Influencing Factors of Disruptive Innovations in the State Grid and the Comprehensive Ranking Based on Delphi and DEMATEL Method[J]. Science and Technology Management Research, 2017, 37(6): 127-133.)
- [12] 但智钢, 史菲菲, 王志增, 等. 中国环境工程科技2035技术预见研究[J]. 中国工程科学, 2017, 19(1): 80-86. (Dan Zhigang, Shi Feifei, Wang Zhizeng, et al. Technology Foresight Research on China's Environmental Engineering Science and Technology to 2035[J]. Strategic Study of CAE, 2017, 19(1): 80-86.)
- [13] Vojak B A, Chambers F A. Roadmapping Disruptive Technical Threats and Opportunities in Complex, Technology-based Subsystems: The SAILS Methodology[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2004, 71(1-2): 121-139.
- [14] 赵丛苍, 祁翔. 论情境分析法在医学考古学中的应用——以先秦时期为例[J]. 西北大学学报(哲学社会科学版), 2021, 51(2): 5-15. (Zhao Congcang, Qi Xiang. On the Application of “Context Analysis” in the Medical Archaeology: Taking the Pre-Qin Period as an Example[J]. Journal of Northwest University (Philosophy and Social Science Edition), 2021, 51(2): 5-15.)
- [15] Keller F, Gunasekharan S, Mayo N, et al. Timing Accuracy of Web Experiments: A Case Study Using the WebExpSoftware Package[J]. Behavior Research Methods, 2009, 41(1): 1-12.
- [16] Anderson T R, Daim T U, Kim J. Technology Forecasting for Wireless Communication[J]. Technovation, 2008, 28(9): 602-614.

- [17] 黄鲁成,成雨,吴菲菲,等.关于颠覆性技术识别框架的探索[J].科学学研究,2015,33(5):654-664. (Huang Lucheng, Cheng Yu, Wu Feifei, et al. Study on Identification Framework of Disruptive Technology[J]. Studies in Science of Science,2015,33(5):654-664.)
- [18] 许泽浩,张光宇,亢凯,等.基于TRIZ理论的颠覆性技术选择环境研究[J].工业工程,2016,19(4):43-47.(Xu Zehao, Zhang Guangyu, Kang Kai, et al.A Study of the Disruptive Technology Selection Environment Based on TRIZ Theory[J]. Industrial Engineering Journal,2016,19(4):43-47.)
- [19] 许泽浩,张光宇,黄水芳.颠覆性技术创新潜力评价与选择研究:TRIZ理论视角[J].工业工程,2019,22(5):109-117.(Xu Zehao, Zhang Guangyu, Huang Shuifang.A Research on Disruptive Technology Innovation Potential Evaluation and Selection: Perspective of TRIZ[J]. Industrial Engineering Journal,2019,22(5):109-117.)
- [20] Buchanan B, Corken R. A Toolkit for the Systematic Analysis of Patent Data to Assess a Potentially Disruptive Technology[J]. Intellectual Property Office United Kingdom, 2010(7):1-16.
- [21] 苏敬勤,刘建华,王智琦,等.颠覆性技术的演化轨迹及早期识别——以智能手机等技术为例[J].科研管理,2016,37(3):13-20.(Su Jingqin, Liu Jianhua, Wang Zhiqi, et al. The Evolution Trajectory and Early Identification of Disruptive Technology by Taking Smartphones and Other Technologies as an Example[J]. Science Research Management,2016,37(3):13-20.)
- [22] 罗素平,寇翠翠,金金,等.基于离群专利的颠覆性技术预测——以中药专利为例[J].情报理论与实践,2019,42(7):165-170.(Luo Suping, Kou Cuicui, Jin Jin, et al. Disruptive Technology Prediction Based on Outlier Patents: Traditional Chinese Medicine Patents as an Example[J]. Information studies:Theory & Application,2019,42(7):165-170.)
- [23] 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.(Ma Yonghong, Kong Lingkai, Lin Chaoran, et al. Key Generic Technology Identification Based on Patent Mining[J].Journal of the China Society for Scientific and Technical Information, 2020,39(10):1093-1103.)
- [24] 黄鲁成,王静静,李欣,等.基于论文和专利的钙钛矿太阳能电池的技术机会分析[J].情报学报,2016,35(7):686-695.(Huang Lucheng, Wang Jingjing, Li Xin, et al. Detecting Technology Opportunities Based on Papers and Patents for Perovskite Solar Cells[J].Journal of the China Society for Scientific and Technical Information,2016,35(7):686-695.)
- [25] Zhou Z, Chen X, Li E, et al. Edge Intelligence: Paving the Last Mile of Artificial Intelligence with Edge Computing[J]. Proceedings of the IEEE, 2019, 107(8):1738-1762.
- [26] 陈伟,林超然,孔令凯,等.基于专利文献挖掘的关键共性技术识别研究[J].情报理论与实践,2020,43(2):92-99.(Chen Wei, Lin Chaoran, Kong Lingkai, et al. Research on Key Generic Technology Identification Based on Text Mining of Patent Document[J].Information studies:Theory & Application,2020,43(2):92-99.)
- [27] Yun J H J, Won D K, Jeong E S, et al. The Relationship Between Technology, Business Model, and Market in Autonomous Car and Intelligent Robot Industries[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2016, 103: 142-155.
- [28] Aaldering L J, Song C H. Tracing the Technological Development Trajectory in Postlithiumion Battery Technologies: A Patent-based Approach[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 241: 118343.
- [29] 戚筠,唐恒,石俊国.基于小世界网络特性的核心技术识别研究——以石墨烯为例[J].情报杂志,2020,39(2):50-55.(Qi Yun, Tang Heng, Shi Junguo.Research on Core Technology Identification Based on Small World Network Characteristics: A Case Study of Graphene[J].Journal of Intelligence,2020,39(2):50-55.)
- [30] 杨冠灿,刘占麟,李纲.基于指数随机图模型的专利引用关系形成机制研究——以奈拉滨药物为例[J].图书情报工作,2019,63(10):75-86.(Yang Guancan, Liu Zhanlin, Li Gang.Understanding Mechanisms of Patent Citation Formation Based on ERGM: A Case Study of the Nelarabine Drug[J].Library and Information Service,2019,63(10):75-86.)
- [31] Fujita K, Kim C K, Lee I, et al. Simultaneous Transitions in Cuprate Momentum-space Topology and Electronic Symmetry Breaking[J]. Science, 2014, 344(6184):612-616.
- [32] Dotsika F, Watkins A. Identifying Potentially Disruptive Trends by Means of Keyword Network Analysis[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2017, 119: 114-127.
- [33] 黄璐,朱一鹤,张巍.基于加权网络链路预测的新兴技术主题识别研究[J].情报学报,2019,38(4):335-341.(Huang Lu, Zhu Yihe, Zhang Yi.Research on Identification of Emerging Topics Based on Link Prediction with Weighted Networks[J].Journal of the China Society for Scientific and Technical Information, 2019,38(4):335-341.)
- [34] 张金柱,张晓林.利用引用科学知识突变识别突破性创新[J].情报学报,2014,33(3):259-266.(Zhang Jinzhu, Zhang Xiaolin. Identification of Radical Innovation Based on Mutation of Cited Scientific Knowledge[J].Journal of the China Society for Scientific and Technical Information,2014,33(3):259-266.)
- [35] 刘忠宝,康嘉琦,张静.基于主题突变检测的颠覆性技术识别——以无人机技术领域为例[J].科技导报,2020,38(20):97-105.(Liu Zhongbao, Kang Jiaqi, Zhang Jing.The Disruptive Technology of Recognition Based on Topic Mutation Detection: With the Drone Technology as an Example[J]. Science & Technology Review,2020,38(20):97-105.)
- [36] 霍朝光,董克,司湘云.国内外 LIS 学科主题热度演化分析与预测[J].图书情报知识,2021(2):35-47.(Huo Chaoguang, Dong Ke, Si Xiangyun. Evolution Analysis and Prediction of Scientific Topic Popularity in the Field of LIS[J].Documentation,Information & Knowledge,2021(2):35-47.)
- [37] 曹艺文,许海云,武华维,等.基于引文曲线拟合的新兴技术主题的突破性预测——以干细胞领域为例[J].图书情报工作,2020,64(5):100-113.(Cao Yiwen,Xu Haiyun, Wu Huawei, et al. Study on Radical Innovation Prediction to Emerging Technology Topics Based on Citation Curve Fitting-Taking the Field of Stem Cells as an Example[J].Library and Information Service,2020,64(5):100-113.)
- [38] Takano Y, Kajikawa Y. Extracting Commercialization Opportunities of the Internet of Things: Measuring Text Similarity between Papers and Patents[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2019, 138: 45-68.
- [39] Li S Y, Garces E, Daim T. Technology Forecasting by Analogy-based on Social Network Analysis: The Case of Autonomous Vehicles[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2019, 148: 119731.
- [40] Li X, Fan M, Zhou Y, et al. Monitoring and Forecasting the Development Trends of Nanogenerator Technology Using Citation Analysis and Text Mining[J]. Nano Energy, 2020, 71: 104636.

