

科技文献语义关联网络及其应用探析

张 昱 张均胜 姚长青
(中国科学技术信息研究所, 北京 100038)

摘要: 科技文献之间的语义关联直接影响着科技文献检索与推荐等科技信息服务的质量。如何快速准确地建立科技文献资源之间的关联网络以提高科技文献信息服务质量是目前数字图书馆领域的重要研究内容和方向。首先阐述科技文献语义关联网络内涵, 科技文献语义关联网络包括科研实体、研究内容及其之间的语义关联关系; 然后提出语义关联网络构建方法, 基于元数据和文本内容分析构建科技文献语义关联网络, 并利用关系推理与预测方法以适应大规模自动构建的需求; 最后对语义关联网络的应用进行探析, 指出科技文献语义关联网络构建是一种语义化组织工作, 为科技文献检索、推荐及情报分析提供支持。

关键词: 科技文献; 语义关联; 语义关联网络; 信息组织; 信息分析; 元数据; 文本内容分析

中图分类号: G35

文献标识码: A

DOI: 10.3772/j.issn.1674-1544.2020.01.007

Semantic Link Network of Scientific Literature and Its Application

ZHANG Yu, ZHANG Junsheng, YAO Changqing

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

Abstract: Semantic links among scientific literature have influence on the quality of scientific information services such as search and recommendation. How to establish accurate semantic links quickly for improving scientific information service quality is an important research question in digital library research field. Firstly, we define semantic link network of scientific literature that contains research entities, contents and their semantic associations. Then, the construction method of semantic link network of scientific literature is proposed based on metadata and text analysis. Automatic relation reasoning and inference are necessary for satisfying the large-scale semantic link network. Finally, possible applications of semantic association network are analyzed, and it is pointed out that establishing semantic link network of scientific literature is an approach of semantic information organization, which could support search, recommendation and information analysis of scientific literature.

Keywords: scientific and technical literature, semantic link, semantic link network, information organization, information analysis, metadata, text content analysis

0 引言

科技文献之间的语义关联直接影响着科技文献检索与推荐等科技信息服务的质量。现阶段的

数字化科技文献资源已经积累了大量的元数据及数字资源, 但科技文献之间的关联应用还处于初级阶段, 主要的应用包括科技文献语义出版、检索服务与信息发现等^[1-2]。如何快速准确地建立

作者简介: 张昱 (1981—), 男, 中国科学技术信息研究所高级工程师, 研究方向: 科技信息管理、科技政策研究 (通信作者); 张均胜 (1980—), 男, 中国科学技术信息研究所研究员, 研究方向: 科技信息管理、科技情报分析; 姚长青 (1974—), 男, 中国科学技术信息研究所研究员, 研究方向: 科技管理、科技情报分析。

基金项目: 国家自然科学基金项目“基于文献的科研事件语义链接及其应用研究”(71503240)。

收稿时间: 2019 年 4 月 12 日。

科技文献资源之间的关联网络以提高科技文献信息服务质量是目前数字图书馆领域的重要研究内容和方向。建立科技文献之间的关联形成科技文献知识关联网络，是从海量科技文献资源中挖掘知识的需要，也是改善科技文献信息服务的需要。

科技文献信息服务的两项重要任务是文献检索和文献推荐。现有的科技文献检索方法大多基于关键词匹配方法，从海量数字化科技文献中选取相关文献并按照相关度或者时间先后进行排序。为提高科技文献信息服务质量，需要深度挖掘科技文献之间的关联关系，利用科技文献之间的关联关系发现，寻找大量科技文献研究问题和研究内容背后的本质规律。目前，科技文献信息服务主要提供两种检索服务：一是用户确切知道且存在的科技文献，二是用户大体知道科技文献信息存放但不知其具体内容的科技文献。对于与用户需求相关但用户不知来源的文献，难以通过现有的文献检索方式获取。为此，科技文献信息服务需要从被动响应式服务向主动推荐式服务转变。科技文献推荐服务应根据科技文献之间的关联、用户需求之间的关联、科技文献和用户需求之间的关联 3 个方面入手。对检索用户兴趣建模是一个比较困难的工作，因为用户的兴趣是不断变化的，并且涉及个人隐私问题。通常采用用户提交兴趣和系统检索日志挖掘的方法近似地描述用户的兴趣^[3]。建立科技文献信息之间的语义关联可以连接科技文献和用户，分析科技文献和用户之间的关联关系，有助于改善文献检索和文献推荐效果。

科技文献语义化在一定程度上实现了数字文献资源的有效组织并为资源利用效率优化奠定了基础。数字文献资源语义化通过显性地、以机器可读的表达方式描述文献资源的属性特征和关联关系，建立基于规范的组织模型，对文献实体之间和属性之间的关系进行序化，并提供基于语义关系的、统一的存取方式^[4]。数字文献资源的语义化涉及内容语义化和组织语义化两个层面。内容语义化通过自然语言处理技术实现对文献资源

内容的语义标注，达到文献内容的计算机理解与掌握，即描述内容中的概念意义及不同概念间的关联；组织语义化则通过不同形式标签的使用实现文献资源组织形式的语义化，揭示文献组织中概念间的结构化和网络化关联^[5]。

科技文献语义关联网络构建是科技文献语义化工作的重要组成部分。科技文献的特点决定了科技文献关联网络的稳定性，即科技文献是逐渐累加的。尽管有些文献会被撤回，但不会像万维网信息那样频繁地变动。稳定的科技文献关联网络有助于关联关系的一次建立、多次应用，并且容易捕捉其增长规律，发现科技发展内在规律。因此，本文拟对科技文献语义关联网络内涵、构建方法及其应用进行初步探讨。

1 语义关联网络的内涵

科技文献语义关联网络研究与应用同语义网和知识图谱紧密相关。语义网络、语义网、元数据、本体等技术都是实现数字文献资源语义化的重要手段。语义网（Semantic Web）的构想由万维网的创造者 Tim Berners-Lee 等^[6]提出，其目标是要建立一种使网络资源的语义能自表示、便于机器理解、基于互联网的信息共享平台，试图克服目前基于 HTML 的万维网信息共享的缺点。超链接机制的简单性和易用性使得万维网取得了巨大的成功，但是对于存在某种关联的相链接的资源之间却没有形成语义关联，从而阻碍了语义检索与智能应用的开展。知识图谱（Knowledge Graph）是由 Google 于 2012 年提出的概念，知识图谱由知识以及知识之间的关系组成，知识之间的关系通过两个实体之间相连接的边来表示^[7]。本质上，知识图谱是一种揭示实体之间关系的语义网络，可以对现实世界的事物及其相互关系进行形式化的描述。现在知识图谱已被用来泛指各种大规模的知识库。构建知识图谱可以依托维基百科概念拓扑图，探究概念与其临近概念的关系，并且提出了基于链接的自动筛选最关联概念算法^[8]。在基本科技文献信息链接的基础上，建立信息粒度更大的科研事件关联网络，可以从事

件角度进行科技情报分析^[9-10]。

科技文献并不是孤立的个体,多篇文献之间存在多种关联关系。科技文献语义关联网络描述了科技文献及相关实体(如研究者、研究机构、研究项目、研究领域、会议/期刊)和研究内容(如研究主题、关键词等)之间的语义关联关系。

合著和引用是科技文献之间两种最重要的关联。合著分析是反映研究者关系的重要方法。Beaver^[11]采用文献计量学的方法论证了科学合作的客观存在,并进行了较为全面的理论研究。Newman^[12]和Okubo等^[13]借助文献计量学及社会网络分析的方法,对科学家个体间的合作、机构间的合作及国家间的合作进行研究,构建并分析科研合作网络的结构及属性。温芳芳^[14]利用面向专利文献的专利权人—分类号耦合分析方法考察专利权人之间潜在的合作关系,与现实合作网络比较分析,并将其结果可视化。李纲等^[15]在研究科研合作网络过程中,引入复杂网络和超图数学理论研究工作网络中的知识扩散演化模型。引用关联是根据科技文献之间的引证关系建立形成的,最初由Garfield提出引文分析理论并创立了科学引文索引,引文关联研究内容包括引文耦合的定义、同被引分析、共引分析、构建引文网络等。Meister等^[16]利用专利引证网络获得知识流动和技术扩散的路径。邱均平等^[17]在构建引文网络的基础上,引入时间维度进行分析,有效地揭示了知识的扩散与演进过程。由于引文网络存在语义关联单一而且不能推理的局限性,陈卫玲^[18]把语义链接网络与引文网络相结合,提出了引文语义链网络模型,使原有的引文网络不但能够具有语义而且具有推理能力,还可以根据引用语义链推理规则获得网络中隐含的引用语义链和文献之间新的语义关系。高劲松^[19]提出基于关联数据的引文知识链接模式,利用文献之间的相互引用关系建立了文献知识链接网络。

对科技文献内容语义关联分析主要针对科技文献关键词的共词分析。共词分析法是通过分析文献集合中概念或专业术语的共现关系来确定文献集合主题之间的关系^[20]。通过词与词之间的共

现与关联关系反映概念之间的关系,从而解释了学科领域研究内容的内在相关性和微观结构,结合时间线的网络分析展示科技发展动态和趋势。

将科技文献的多要素组合分析是新趋势,单一或者少量几种要素的关联分析已经难以满足复杂多样的科技信息分析与服务需求^[21-22]。目前相关研究主要集中在分析科技文献与实体间的关系,缺乏对科技文献所有要素关联方面相对完整的理论、方法和应用研究,难以从宏观层面对科技文献要素关联情况形成整体认识,不利于完整地揭示科技文献要素关联规律,容易造成相关文献的可靠性低、冗余度高,影响相关文献检索与文献分类聚类效率^[23]。

2 语义关联网络构建方法

建立科技文献语义关联网络的关键技术包括语义关联的建立、发现和自动推理。科技文献之间的语义关联的建立离不开人工的管理、分类和校对,海量的科技文献迫切需要通过计算机技术和自动化技术等自动或者半自动地发现并建立语义关联。基于科技文献数据集的科技文献及实体关联网络构建流程如图1所示。

基于文献数据集建立科技文献之间的语义关联,可以从科技文献的元数据和内容两个方面入手。利用科技文献的元数据,可以建立科技文献相关实体如研究者、研究机构、论文、会议/期刊、研究领域及出版商等之间的关联关系。针对科技文献内容,可以进行向量化表示,然后计算科技文献文本之间的相似度,利用相似度计算结果可以进行科技文献的分类和聚类,进而建立科技文献之间的类属关联。上述科技文献关联网络构建过程中综合考虑了科技文献的元数据和文献内容,建成的科技文献语义关联网络包括科技文献及相关实体,利用关联关系推理规则进行关联推理与计算可以得到更多关联关系;根据关联关系的统计关系可以预测可能的关联关系^[24]。基于科技文献语义关联网络可以进行网络规律研究与知识发现,可以利用复杂网络分析方法对网络中的节点度数、关联路径等进行统计分析和模式发

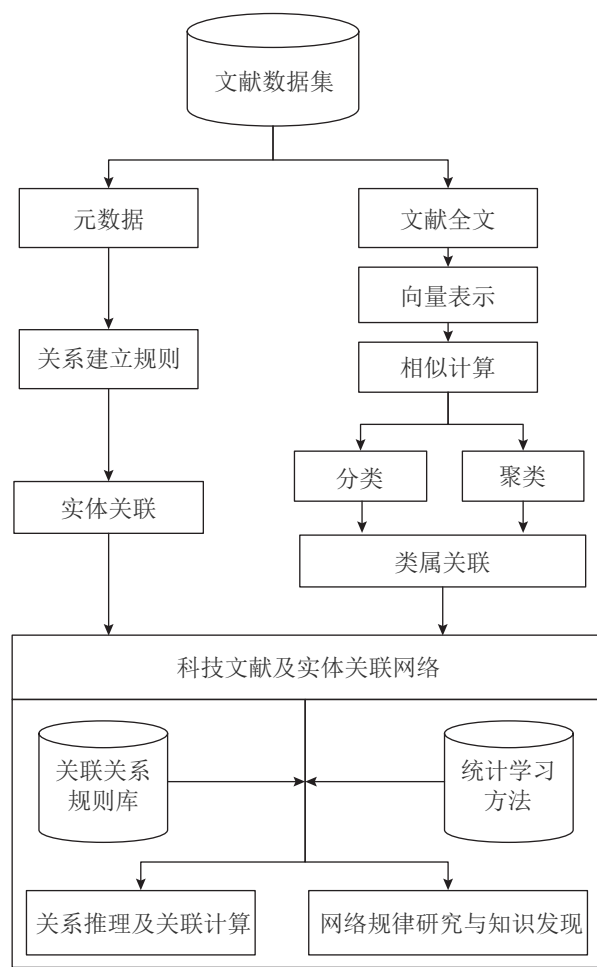


图1 科技文献及实体关联网络构建流程

现。科技文献元数据和内容的语义关联建立方法可作如下划分。

(1) 基于科技元素与元数据的关系

科技文献内容包括很多相关元素如公式、图表、数据集、实验材料、实验仪器等。科技文献之间的关联可以依据上述元素建立，同时科技研究元素可以作为科技文献的属性。利用科技文献中的元素可以建立科技文献之间的关联。通过比较科技文献的属性值可以建立科技资源之间的基本关系。科技文献元数据用于描述科技文献的基本属性，主要包括研究者、发表时间、发表刊物或者会议、出版商、关键词、数字资源编号等信息。利用科技文献的元数据可以有效地建立科技文献之间的关联，并且根据科技文献的元数据发现许多基本的关联关系。例如，根据作者信息可以发现同作者关系；利用文献发表时间，可以发

现文献之间的先后关系；利用关键词、主题词可以发现文献所述的分类领域等。科技文献相关实体之间的关联关系如表1所示。

(2) 基于科技文献内容与分类的关系

采用自然语言处理等技术分析文本内容，提取命名实体，通过词法分析和句法分析辅助建立与发现实体之间的关联和关系。实体识别和关系抽取是利用自然语言处理技术实现从文本到知识图谱自动构建的关键技术。

文献分类是科技文献管理的重要内容。对科技文献的合理分类，不仅有助于科技文献的收集整理，还可以帮助用户根据分类体系进行快速检索。利用文献的分类信息，可以计算文献之间的相似度。在科技文献数据量增长迅速的今天，单靠人工组织信息无法满足要求，自动分类和聚类技术能够有效地弥补单纯人工分类之不足。自动聚类无需事先的训练，通过对科技文献内容分析、提取特征计算对应的科技文献之间的相似度，进行科技文献的自动聚类。科技文献的自动分类则需要对分类器进行事先训练，通过从人工分类的科技文献集合中，分析提取重要的分类特

表1 科技文献相关实体之间的关联关系

科研实体对	关系类型集合
[研究者, 研究者]	{同事, 合著, 导师, 同学}
[研究者, 论文]	{读者, 作者, 编辑}
[研究者, 期刊]	{作者, 读者, 编辑}
[研究者, 研究机构]	{受雇于, 访问, 学生}
[研究者, 项目]	{主持, 参与}
[研究者, 会议]	{主席, 作者, 读者, 编辑}
[论文, 论文]	{引用, 同领域, 同作者, 同问题, 同方法}
[研究者, 研究领域]	{从事}
[会议, 会议]	{同领域, 同出版商}
[会议, 研究领域]	{属于}
[期刊, 期刊]	{同领域, 同出版商}
[期刊, 会议]	{同领域, 同出版商}
[期刊, 研究领域]	{属于}
[研究领域, 研究领域]	{子领域}
[项目, 会议]	{资助}
[项目, 领域]	{属于}
[期刊, 出版商]	{被出版}
[会议, 出版商]	{被出版}

征,指导未分类文档的分类。

科技文献的自动分类和聚类非常重要,但是分类结果未必准确,在进入严格的分类组织体系之前通常需要进行人工校正。揭示自动聚类结果的物理意义通常需要人工观察聚类结果之后给出较为合理的解释。自动分类和聚类技术并不能完全取代人工分类组织,而是作为一种技术手段帮助科技资源管理者加快分类组织过程。

(3) 基于科技文献引用链接的关系

引用关系不仅蕴含了科技文献之间的先后顺序,还体现了文献之间的相关性。科技文献之间的引用建立了科技知识和成果之间的关联,也体现了科技成果的增量式发展过程。基于科技文献之间的引用关系,可以发现文献之间的同引用、同被引用等关系。利用科技文献之间的引用关系可以对科技文献进行分类^[25],而且可以利用科技文献之间的引用关系对科技文献进行评价^[26]。

3 关联关系推理与推断自动化

仅靠人工标注难以适应海量科技文献语义关联网络构建与应用,需要在已有科技文献关联网络中,基于已有的语义关联自动地推导或者预测更多可能存在的语义关联和语义关系^[24]。因此,科技文献资源之间语义关联与语义关系的自动推断是自动建立科技文献关联网络的重要步骤。

为了自动推断科技文献之间的关联关系,一种可行的方法是基于人工编制的推理规则,自动推导出更多的语义关系,进而建立科技文献资源的语义关联网络。科技文献资源之间的关联自动建立与关系的自动推理是知识组织自动化的核心技术。进行关系推理的基础是建立关联关系之间的推理规则,因此,语义关联与语义关系推理规则库是科技文献之间语义关联和语义关系推断的关键。规则库的建立需要维护规则推理结果的一致性。在很多情况下,科技文献之间的关联并非十分明确,而且关联程度大小认定结果也会因人而异,为此可以引入关联的概率值描述关联关系的可能性。在科技文献语义关联网络中,除了可以利用逻辑推理规则,还可以采用统计学方法,

发现关联网络中的频繁模式。根据科技文献网络的自相似性,可以预测网络中可能的关联^[27]。

推理是通过科研事件语义链网络中已有的语义链,根据推理规则进行推理,获得原有网络中潜在的或未知的语义链的过程。

(1) 两个科研事件之间语义关系的推理规则

语义链网络中描述两个资源之间的推理规则可以表示为 $R_1 \xrightarrow{\alpha} R_2 \Rightarrow R_1 \xrightarrow{\beta} R_2$,即 $\alpha \Rightarrow \beta$,说明两个资源之间的直接语义关系 α 可以推导出语义关系 β 。例如,合著关系可以推出同领域关系。

(2) 三个科研事件之间语义关系的推理规则

由两条已有的语义链接推导出新的第三条语义链接,如图2所示,有以下3种情况:

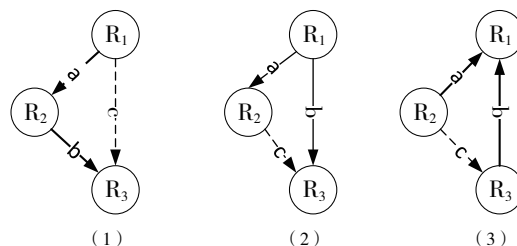
$$R_1 \xrightarrow{a} R_2, R_2 \xrightarrow{b} R_3 \Rightarrow R_1 \xrightarrow{c} R_3;$$

$$R_1 \xrightarrow{a} R_2, R_1 \xrightarrow{b} R_3 \Rightarrow R_2 \xrightarrow{c} R_3;$$

$$R_2 \xrightarrow{a} R_1, R_3 \xrightarrow{b} R_1 \Rightarrow R_2 \xrightarrow{c} R_3.$$

其中, R_1, R_2, R_3 是语义链网络中的3个资源节点, a, b, c 表示三者之间的语义链接,图2中实线箭头表示已有的语义链接,虚线箭头表示可推导出的语义链接。

比如,存在两个科研实体 e_1 和 e_2 之间的时间先后关系的链接 $e_1 \xrightarrow{\text{before}} e_2$ 表示 e_1 早于(before) e_2 ,以及 e_2 和 e_3 之间先后关系的链接 $e_2 \xrightarrow{\text{before}} e_3$,根据推理规则 $\text{before} \bullet \text{before} \Rightarrow \text{before}$,即可得到新的语义链接 $e_1 \xrightarrow{\text{before}} e_3$ 。推理规则根据不同的数据集和实际的语义关系会有不同的形式,但是存在通用的表示形式。在科技文献语义关联网络中,此类型的语义关联关系包括:晚于、同时、同期刊、同



注:实线箭头表示已有的语义链接,虚线箭头表示可推导出的语义链接。

图2 推理规则的基本形式

项目、同作者、同问题、同方法、同结论、同引用、同被引等。

科研事件网络的推理规则需要根据实际数据集合的具体情况进行分析, 通用推理规则的基本形式在一定程度上能够满足科研事件网络构建的需求。除此之外, 还需要根据科技文献资源本身的特征进行分析, 更好地完善推理规则。

4 语义关联网络应用探析

科技文献语义关联网络中, 节点众多, 连接众多, 关系种类众多, 形成一个复杂的科研信息语义互连网络。利用复杂网络的研究方法和知识可以深度挖掘科技文献资源之间的内在联系, 为科技评价、管理和决策提供支持。在科技文献关联网络中, 利用统计方法可以发现其中蕴含的规律。在大规模的科技文献关联网络中, 存在一些在小规模网络图中难以发现和觉察的规律, 比如节点度数的幂律分布、小世界模型、自相似性、成团特性等。

利用复杂网络研究方法理论得到的研究结果可以直接支持一些智能应用。例如节点的中心性可以用来发现研究热点、研究者的权威程度; 网络的增长规律和演化规律, 有助于分析科技发展的规律, 能够及时把握和跟踪未来的研究方向; 科技文献语义关联网络的社区划分结果可以形成一些不同于现有分类体系的分类结果, 在信息推荐和信息过滤中起到重要的作用。

科技文献关联网络有助于发现科研发展脉络。如通过分析科技文献的分布能够捕捉当前的研究热点以及该领域当前的研究前沿。不同领域的研究成果可以相互应用和促进, 加快跨领域的研究。如通过发表时间可以了解科技文献关联网络的增长规律; 借助于可视化技术可以快速了解到当前的研究前沿; 通过科技文献之间的关联, 尤其是引用关系, 可以对文献的权威性进行评价; 根据科技文献之间的链接疏密度可以了解研究问题的冷热程度。

每篇科技文献的发表可以看作是一个发表类型的科研事件, 不同科研事件存在着多种关联,

其中时序和因果是两种重要的关系^[28]。图3中描述了6个相互关联的科研事件(对应《情报学报》2015—2017年刊发的论文)按照时间顺序演化的情况, 其中实心箭头表示科研事件之间或可由科研事件要素之间关系推导的语义链接。为了示例的清晰性, 未将所有的关联关系全部绘制出来。时间轴上半部分的3个科研事件是关于舆情监测和应急情报分析的, e_{316} 和 e_{369} 研究的问题和采用的方法是相关的, 并且两者之间存在引用关系。 e_9 、 e_{36} 和 e_{148} 均被 e_{333} 引用, 在研究问题方面具有一定的相关性, 与微博、在线社交媒体和意见领袖相关, 但也存在一定的差异, e_{36} 侧重通过扫描统计量进行网络舆情监测, e_{36} 、 e_{148} 和 e_{333} 是侧重识别意见领袖来应对重大突发事件或危机信息传播过程中网络舆情监控和应急管理。通过梳理舆情监测和应急管理的研究情况, 可以发现不同的研究问题和研究方法, 从而帮助研究人员了解相关领域的研究现状或发现新的研究方向。图3以时间轴为主线, 呈现了科研事件网络随时间变化的动态演变情况, 图中的科研事件数量较少, 当科研事件较多时, 时间轴上只显示科研事件链, 科研事件要素等细节信息会被隐藏, 当需要详细信息时才会显示出来。

科技文献关联网络的时序增长规律和研究热点对于科技研究决策起到重要的支撑作用。科技文献关联网络的增长规律蕴含了科技研究本身的发展规律, 对于预测科技研究前沿和热点把握以及下一步的研究增长点 and 制高点具有重要意义。

5 总结

本文对科技文献语义关联网络内涵、构建方法及应用进行了初步探讨。(1) 科技文献语义关联网络包括科研实体(如研究者、研究机构、论文、期刊、会议等)、研究内容(如研究问题、方法、结论、主题、分类等)及其之间的语义关联关系。(2) 构建科技文献语义关联网络需基于元数据和文本内容分析, 并利用关系推理与预测方法以适应大规模自动构建的需求。(3) 科技文献语义关联网络构建是一种语义化组织工作, 能

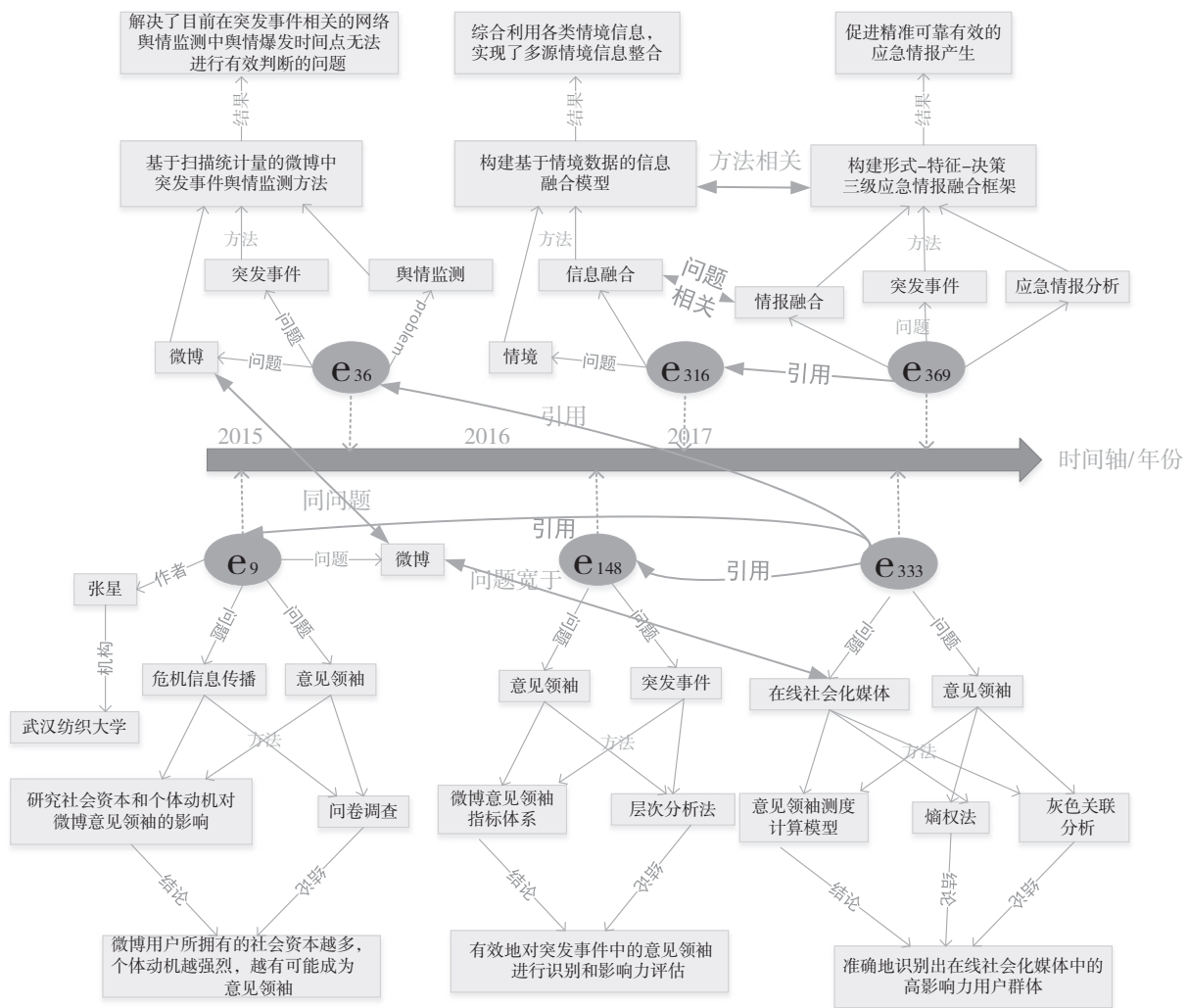


图3 基于文献的科研事件发展脉络图

够为科技文献检索、推荐及情报分析提供支持。本文不足之处在于当前的应用还处于初始探索阶段, 需要进一步构建大规模科技文献关联网络进行分析应用。

参考文献

- [1] 王晓光, 宋宁远. 语义出版物的内容组织架构研究: 基于纳米出版物和微型出版物的比较分析[J]. 出版科学, 2017, 25(4): 20-27.
- [2] 曾建勋, 丁迺劲. 基于语义的国家科技信息发现服务体系研究[J]. 中国图书馆学报, 2017, 43(4): 51-62.
- [3] SUGIYAMA K, HATANO K, YOSHIKAWA M. Adaptive web search based on user profile constructed without any effort from users[C]// Proceedings of the 13th international conference on World Wide Web. ACM, 2004: 675-684.
- [4] 白海燕, 乔晓东. 基于本体和关联数据的书目组织语义化研究[J]. 现代图书情报技术, 2010, 26(9): 18-27.
- [5] 刘耀, 穗志方, 胡永伟, 等. 基于内容与形式交互的图书馆资源组织语义化方法研究[J]. 情报理论与实践, 2010, 33(10): 105-107.
- [6] BERNERS-LEE T, HENDLER J, LASSILA O. The semantic web[J]. Scientific American, 2001, 284(5): 28-37.
- [7] 漆桂林, 高桓, 吴天星. 知识图谱研究进展[J]. 情报工程, 2017, 3(1): 4-25.
- [8] 杨林, 张立波, 罗铁坚, 等. 一种基于链接和语义关联的知识图示化方法[J]. 计算机研究与发展, 2017, 54(8): 1655-1664.
- [9] ZHANG J, SUN Y, YAO C. Semantically linking events for massive scientific literature research[J]. Electronic

- Library, 2017, 35(4): 724–744.
- [10] ZHANG J, YAO C, SUN Y, et al. Building text-based temporally linked event network for scientific big data analytics[J]. Personal & Ubiquitous Computing, 2016, 20(5): 743–755.
- [11] BEAVER D D, ROSEN R. Studies in scientific collaboration part III: Professionalization and the natural history of modern scientific co-authorship[J]. Scientometrics, 1979(3): 231–245.
- [12] NEWMAN M E. The structure of scientific collaboration networks[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2001, 98(2): 404–409.
- [13] OKUBO Y, MIQUEL J F, FRIGOLETTI L, et al. Structure of international collaboration in science: Typology of countries through multivariate techniques using a link indicator[J]. Scientometrics, 1992, 25(2): 321–351.
- [14] 温芳芳. 基于专利权人—分类号耦合分析的潜在合作关系网络研究[J]. 情报学报, 2016, 35(12): 1265–1272.
- [15] 李纲, 巴志超. 科研合作超网络下的知识扩散演化模型研究[J]. 情报学报, 2017, 36(3): 274–284.
- [16] MEISTER C, MEISTER M. Trends and trajectories in MEMS-related technologies: An analysis on the basis of patent application data[C]//Cas2005 Proceedings. 2005 International Semiconductor Conference. New York: IEEE, 2005: 187–190.
- [17] 邱均平, 李小涛. 基于引文网络挖掘和时序分析的知识扩散研究[J]. 情报理论与实践, 2014, 37(7): 5–10.
- [18] 陈卫玲. 引文语义链网络的社区发现研究[D]. 重庆: 西南大学, 2010: 21–35.
- [19] 高劲松, 梁艳琪, 马倩倩, 等. 面向关联数据的引文知识链接模式研究[J]. 现代图书情报技术, 2013, 29(3): 21–26.
- [20] 钟伟金, 李佳. 共词分析法研究(一): 共词分析的过程与方式[J]. 情报杂志, 2008, 27(5): 70–72.
- [21] 王菲菲, 邱均平, 余凡, 等. 信息计量学视角下的数字文献资源语义化关联揭示[J]. 图书情报工作, 2014, 58(7): 12–18.
- [22] 瞿辉, 王菲菲. 基于多维语义关联的学术文献展示方法研究[J]. 情报杂志, 2015(11): 157–161.
- [23] 金海, 袁平鹏. 语义网数据管理技术及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 40–43.
- [24] ZHANG J, WANG H, SUN Y. Discovering associations among semantic links[C]//2009 International Conference on Web Information Systems and Mining. IEEE, 2009: 204–208.
- [25] LU Q, GETOOR L. Link-based classification[C]//Proceedings of the 20th International Conference on Machine Learning (ICML-03). 2003: 496–503.
- [26] GARFIELD D. Citation analysis as a tool in journal evaluation[J]. Science, 1972, 178(4060): 471–479.
- [27] CLAUSET A, MOORE C, NEWMAN M. Hierarchical structure and the prediction of missing links in networks[J]. Nature, 2008, 453(7191): 98–101.
- [28] 王佳琪, 张均胜, 乔晓东. 基于文献的科研事件表示与语义链接研究[J]. 数据分析与知识发现, 2018, 2(5): 32–39.

(上接第 39 页)

参考文献

- [1] 张成亮. 省级科技文献共享服务平台科技信息服务调查分析[J]. 图书馆理论与实践, 2017(2): 83–87.
- [2] 袁红军. 省级科技文献共享服务平台数字资源建设调查[J]. 中国科技资源导刊, 2018, 50(2): 14–20. DOI: 10.3772/j.issn.1674-1544.2018.02.003.
- [3] 李云霞. 省级科技文献共享服务平台知识服务现状调查研究[J]. 情报杂志, 2017, 36(4): 125–129.
- [4] 吴磊琦, 王衍. 基于智库理念的省级科技文献平台竞争情报服务研究[J]. 图书馆研究与工作, 2018(8): 41–44.
- [5] 张发亮, 胡媛, 朱益平. 区域科技创新信息服务平台建设与服务模式研究[J]. 图书馆学研究, 2016(24): 55–61.
- [6] 李长云, 张悦. 区域科技资源共享平台发展动力机制研究[J]. 情报理论与实践, 2018, 41(4): 33–37.
- [7] 李佳, 王宏起, 李玥, 等. 大数据时代区域创新服务平台间科技资源共享行为的演化博弈研究[J]. 情报科学, 2018, 36(1): 38–44.
- [8] 李玥, 张雨婷, 李佳. 演化视角下区域科技资源共享平台集成服务模式研究[J]. 中国科技论坛, 2017(2): 51–57.
- [9] 徐峰. 科技情报与科技智库的融合发展探析[J]. 情报工程, 2017, 3(5): 4–11.