

跨地域科研协作模式分析*

叶光辉 夏立新

摘 要 在系统调研跨地域科研协作现状基础上,本研究提出跨地域科研协作模式分析框架,以信息搜寻与信息检索融合 (IS&R) 等为测试主题,构建跨地域科研协作网络;计算无向加权科研协作网络节点中心性,发现各主题研究热点国家、城市 and 机构;模拟有向加权科研协作网络连接强度,描绘科研协作关系中知识流动方向;识别科研协作过程中节点角色,发掘城市科研协作主流模式;通过 QAP 分析,测度地理距离对节点间科研协作强度的影响,剖析节点科研实力与节点间科研协作强度的相关关系;借助演化分析,厘清科研协作网络发展历程及节点角色迁移情况。结果显示,上述主题在跨地域科研协作过程中既存在共性的节点分布、网络连接和扩展模式,又表现出一定的学科差异。图 5。表 11。参考文献 23。

关键词 科研协作 信息检索 信息搜寻 跨地域 社团分析

分类号 G312

Analysis on Cross-Regional Scientific Research Collaboration Model

YE Guanghui & XIA Lixin

ABSTRACT

Independent research is being promoted to the level of interdisciplinary and cross-regional scientific research collaboration, but the research on the latter is far less abundant than the former. Through systematic literature analysis, the current research topics on the status quo and performance evaluation of industry-university-research cooperation are revealed. The main methods are statistical analysis and network analysis.

The information search and information retrieval (IS&R), health informatics (HI) and user seeking behavior (USB) are used as test subjects, and a total of 3 242 bibliographic records in Web of Science are obtained to construct cross-regional scientific research collaboration network. The centrality of node in undirected weighted collaboration network is calculated to discover hotspot countries, cities and universities; simulating the connection strength of directed weighted network, the direction of knowledge flow has been depicted; identifying the role of nodes, the mainstream model of scientific research collaboration at city level can be explored. Through QAP analysis, the influence of geographic distance on the collaboration intensity is analyzed, and the correlation between the node research ability and the collaboration intensity is revealed; With the help of evolutionary analysis, the development history of

* 本文系国家自然科学基金项目“基于标签语义挖掘的城市画像计算与应用模型研究”(编号:71804055)和中央高校基本科研业务费项目“基于社会化标签挖掘的城市画像研究”(编号:CCNU18QN040)研究成果之一。(This article is an outcome of the project “City Profile Calculation and Application Model Based on Tag Semantic Mining” (No. 71804055) supported by National Natural Science Foundation of China and the project “Research on City Profile Based on Social Tag Mining” (No. CCNU18QN040) supported by the Fundamental Research Funds for the Central Universities.)

通信作者:叶光辉,Email:3879-4081@163.com, ORCID:0000-0001-8111-5034 (Correspondence should be addressed to YE Guanghui, Email: 3879-4081@163.com, ORCID: 0000-0001-8111-5034)

collaboration network and the migration of node roles are clarified.

The results show that the hotspots of research on three themes are mainly located in North America, Europe and Asia. Although there are scientific research collaborations between different regions, research collaboration with regional cities is still the main mode; Europe and North America occupy a dominant position in the dissemination of knowledge on various topics, play the role of the initiator of knowledge flow and have a strong driving role in the development of scientific research in other regions; the core-periphery analysis divides the urban nodes participating in scientific research collaboration into four classes: core dominant node, core participating node, periphery dominant node and periphery participating node; the geographical distance between nodes has weak negative correlation with the intensity of scientific research collaboration between nodes; the more disparate the node scientific research strength, the greater the probability of scientific research collaboration; the connection of weak scientific research strength nodes has no significant impact on the formation of scientific research collaboration network. The connection between different scientific research strength nodes has strong randomness, but the overall trend is that the connection between the strong node and the weak node has more beneficial effect on the formation and expansion of scientific research cooperation network. The dynamic analysis of the research collaboration networks has revealed the distinctive research directions and fronts of three themes.

Although the above-mentioned topics have relatively complete academic representations, the judgments on cross-regional scientific research collaboration may require more tests. Cross-regional research collaboration networks have shown some sparseness, and the application effects of some community discovery algorithm need to be improved. 5 figs. 11 tabs. 23 refs.

KEY WORDS

Scientific research collaboration. Information search. Information retrieval. Cross-regional. Community analysis.

0 引言

自主科研能力是衡量科研院所、大型公司等组织内部管理水平和外部影响力的重要指标,其值越大,表明组织内外资源配置效率越高,在相当长一段时期内,对组织内存量优化配置所产生的绩效要优于组织外增量配置所产生的绩效。但随着知识经济的融合发展和学科综合化水平的提升,自主科研正被推向跨学科、跨地域科研协作的层面^[1-2],科研主体正由最初独立进行问题求索的个体或实体组织,发展为相

互协作的虚拟研究团队^[3]。这一变化的出现不是偶然,而是科研协作不断累计强化所涌现出来的群体现象,回顾近百年产出的1 990万篇论文和210万篇专利,Wuchty等^[4]和Börner等^[5]在分析其作者合作关系的基础之上,已经证明在知识资源产出效率上,科研协作正占据越来越明显的优势^[6]。如今专注于科学研发群体发起、组织、交流、从事科研活动等过程的SciTS (Science of Team Science)已成为国际上一个正在兴起的跨学科交叉研究领域^[7],与此相关开展的项目包括VIVIO项目^①、iPlant项目^②、LiquidPub项目^③等,都取得了不错的效果。但有关

① <http://www.vivoweb.org>

② <http://www.iplantcollaborative.org>

③ <http://www.iiia.csic.es/ca/project/liquidpub>

跨地域科研协作的研究却远不如跨学科科研协作研究那么丰富, 尽管这两部分研究存在着部分交叉。

依据地理信息测量尺度的差异, 跨地域科研协作可细分为跨区域科研协作、跨国家科研协作、跨城市科研协作、跨机构科研协作。其中, 国家、城市和机构都可从科研协作成果中提取, 区域则是综合地理邻近和主题耦合算法, 对国家、城市和机构进行聚类的分析结果。从研究方法层面来讲, 跨地域科研协作分析需要结合网络分析和统计分析方法, 网络分析借助共现方法, 揭示不同尺度地理节点之间的知识联系强度和知识传递方向, 统计分析利用相关分析, 测度节点自身属性对网络连接与增长的影响大小。从分析过程来讲, 跨地域科研协作研究遵循共同的路径: “数据采集及预处理—地理位置数据建网—整体网分析—社团结构识别—节点属性与关系指标相关性分析”, 这一路径与研究方法其实是紧密对照的, 这主要源于网络分析与统计分析虽然处理不同格式的数据, 但这些数据之间可以相互转换, 因此跨地域科研协作无论采用哪一种模式, 都会涉及聚类分析、相关分析等内容。从工具支撑来讲, 跨地域科研协作分析不同于常规网络分析, 节点地理位置数据需要依赖外部地图数据, 在网络节点数据与地图标注数据精确匹配的基础之上, 节点网络才能体现地理特性。综上可知, 地理信息分析理论方法及技术工具的不断发展, 为跨地域科研协作研究提供了良好的基础, 本文系统分析跨地域科研协作研究现状, 以不同类别的主题研究为测试主题, 识别并发掘跨地域科研协作社团结构, 剖析并测度节点属性信息对网络形成及发展的影响。

1 跨地域科研协作研究现状

通过文献调研发现, 跨地域科研协作研究主要包括 3 部分。

(1) 地理距离对科研协作绩效的影响研究。一直以来, 科研协作都倾向发生于地理位置邻

近的组织或个体之间, 这有利于双方进行充分有效的沟通, 促进互动过程中更频繁的信息交换以及隐性知识的传播^[8-9], 因此近距离科研协作绩效往往高于跨区域科研协作绩效^[10]。但随着国际化交流的日益推进, 地缘优势已不再是科研合作的主要影响因素, 科研机构的自身实力已成为最为重要的考虑因素, 如陈光华等^[11]、Petruzzelli^[12]都通过负二项回归等模型假设分析, 证实地理距离对科研协作绩效的影响不显著。

(2) 跨地域科研协作网络分析研究。该研究以科研协作产出成果为连接点, 建立起成果参与组织或个体之间的同质网络, 并多维度计算该网络的结构指标。如吴素春等^[13]以湖北省论文合著数据为例, 运用地理信息系统技术, 从合作强度、网络密度、距离偏好、极化效应等方面研究了以创新型城市(武汉)为主导的湖北省区域科研合作网络; 李纲等^[14]选取计算机领域合著论文为样本, 运用社会网络分析, 从网络整体、合作密度、城市地理距离、城市科研能力等几个方面对我国城市间的科研合作进行研究; 刘凤朝等^[15]以燃料电池领域中国学者合作发表的 SCI 论文为数据源, 绘制中国区科研合作网络图谱并获取网络结构的特征; 张玉涛等^[16]利用数据挖掘为 SCI & SSCI 数据库数据挖掘主题论文题录数据, 构建了三个不同地理级别的科研合作网络, 并利用社会网络分析方法对这三个不同类型的网络特征进行了对比分析; 除此之外, 司尚奇等^[17]、刘芳芳等^[18]也都对基于不同科研成果形成的协作网络结构特征进行了测度和解读。

(3) 跨地域科研协作网络形成机理及演化研究。该部分研究在科研协作网络现状分析的基础之上, 揭示网络结构形成的内部动力及外部诱因, 并动态展现网络结构的演化特性。如漆永乐^[19]鉴于目前研究主要聚焦于科研合作网络的结构特征分析的不足, 探究了组织情境、空间情境对科研合作网络形成的影响机理; 夏丽娟等^[20]利用产学研联合申请并授权的发明专利数据, 研究了跨地域产学研协同创新的网络演化; 李健^[21]和朱贵龙等^[22]分别以专利数据和产学研

成果转化政策为研究样本,运用社会网络分析方法,绘制了不同阶段主体协作网络图谱,并对主体合作网络结构进行了探讨。

综上所述可知,目前跨地域科研协作研究样本主要聚焦专利数据、科技政策文本、科技论文等,被选择的原因在于这些样本的跨机构属性,从较多研究关注产学研合作现状及绩效评估也可窥见一斑;研究方法主要选择的是统计分析和网络分析,统计分析主要使用相关分析和负二项回归分析,网络分析主要关联到社会网络分析和复杂网络分析,其中社会网络分析主要用于测度跨地域科研协作的结构指标和识别网络社团,复杂网络分析除上述指标测度之外,还常与仿真分析结合,探究网络形成机理与连接模式;研究结果服务领域主要面向科技研发和现状调研。从研究主题、研究对象、研究方法和研究服务四个维度解析,可看出目前在社会科学领域,跨地域科研协作研究还相对较少,而基于现有研究所做的横向对比分析则更少,因此本文试图以多学科领域合作研究主题为样本,探究社会科学领域跨地域科研协作的特征及形成动因。

2 跨地域科研协作模式分析框架

综合研究现状,本文设计了跨地域科研协作模式分析的研究框架(见图1),以跨地域科研协作网络为研究对象,分别阐述网络构建、网络社团分析和网络形成动因分析的过程。这三部分之间不是割裂的,而是存在着密不可分的联系。

(1) 跨地域科研协作网络构建

跨地域科研协作网络构建是后续两部分分析的基础,网络构建以成果本身为纽带,建立地理信息相关字段间的网络,其本质就是将二模网络转换为一模网络。一模网络依据节点地理范围从小到大可分为机构协作网络、城市协作网络、国家协作网络和区域协作网络。因此跨地域科研协作网络构建的核心在于从题录信息中提取表征地理信息的节点名,并建立不同尺度的节点网络。

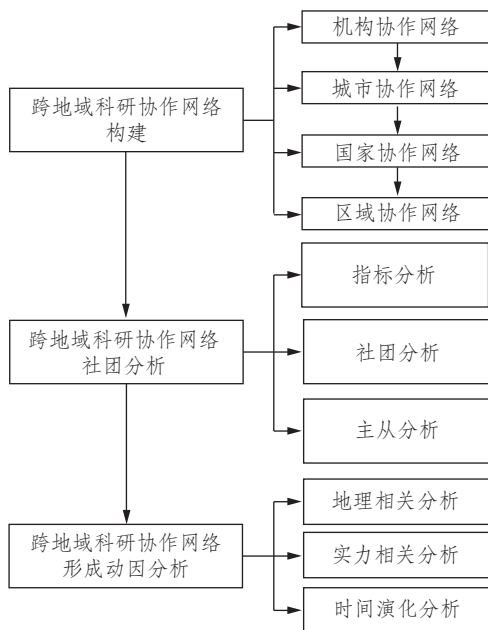


图1 跨地域科研协作模式分析框架

(2) 跨地域科研协作网络社团分析

跨地域科研协作网络社团分析目的在于探测网络派系结构,而派系结构的识别与节点自身指标分析存在着紧密联系,基于不同指标集获取的派系结构存在着差异,派系识别可理解为节点聚类的过程,而聚类计算的参数就是每个节点指标计算结果。因此指标分析可以理解为社团分析的基础。主从分析是社团分析的一种特殊形式,目的在于直观呈现网络的“核心—边缘”结构,测度科研协作过程中核心社团与边缘社团之间的知识流动效果。

(3) 跨地域科研协作网络形成动因分析

该部分研究目的在于深层次揭示网络形成的动因,在此需要将网络节点属性数据与关系数据紧密结合进行分析,如地理相关分析主要测度节点地理距离与节点联系强度之间的相关关系,科研实力相关分析主要测度节点科研实力差距与节点联系强度之间的相关关系,但简单判别相关性方向与程度只是第一步,还可依据时序分析对网络演化趋势进行预测,并对比现实发展情形,验证预测模型的可靠性。

3 跨地域科研协作网络构建及其社团分析

3.1 跨地域科研协作网络构建

(1) 数据源分析: 本文以 WoS 平台中的题录数据为原始数据, 检索 3 类学科领域存在一定差异的主题: 第一类主题定义为“SU = information retrieval and information seeking”(简写 IS&R), 第二类主题定义为“SU = health informatics”(简写 HI), 第三类主题定义为“SU = user seeking behavior”(简写 USB), 为排除学科属性、文献类型、语言标识等对跨地域科研协作分析结果的影响, 3 类主题检索控制条件设置保持一致, 各控制条件依次设定为: 语言 English, 数据库 SCI 或 SSCI, 学科 Information Science Library Science 和 Computer Science Information Systems, 类型 Article。经检索, 各类主题获取检索结果分别为 1 048 条、1 058 条和 1 136 条, 并将上述检索到的题录数据全部导出。由于 WoS 每次导出 txt 记录数量最高为 500 条, 因此各主题记录需要分别保存至 3 个 txt 文档中。

(2) 按主题分别合并对应 3 个 txt 文件, 并将合并后文件导入到 Bibexcel 文件中, 按照内容分析法步骤, 从上述题录数据 C1 等字段中依次分解出文章编号、作者地址及作者三个属性列的内容, 添加作者地址在当前文章中的先后次序(排名最前面的标记为 1, 依次类推), 并将获取结果导入到 excel 文件。

(3) 对作者地址进一步拆解, 分别提取出国家、城市、机构和子单位, 并对应给出相关国家标记所处区域, 如亚洲、欧洲、北美、大洋洲等等。以 IS&R 主题为例, 经统计, 从作者地址中共计可分解出 55 个国家、396 个城市、621 机构和 542 个子单位(不含子单位缺失的部分)。

(4) 将文章编号分别与国家、城市、机构等连接的二模数据, 转换为国家与国家、城市与城市、机构与机构不同地理级别连接的一模数据, 即参与连接的不同地理级别的节点对以及节点间合作频次。

(5) 利用 txt2pajek 或 excel2pajek 工具将各主题线性三元组集合数据转换为 .net 网络数据。如果当前网络不考虑作者机构的署名次序, 则生成网络为无向加权网络, 反之则为有向加权网络。

3.2 跨地域科研协作网络指标分析与社团发现

3.2.1 跨地域科研协作无向加权网络分析

(1) 无向加权网络核心节点分析

利用 ucinet 中心度分析分别计算出“国家—国家”网络、“城市—城市”网络和“机构—机构”网络中的节点的点度中心度和中介中心度, 将两部分计算结果相乘再归一化处理后, 可获取不同地理级别节点形成网络中节点的核心排序, 排序前 5 位国家或地区、城市及机构如表 1 所示。由表 1 分析可知, 从国家或地区层面上讲, 美国在各主题科研协作网络中都占据核心位置, 说明美国在这些主题领域研究中与其他国家或地区的合作较为紧密, 且很可能占据主导地位; 中国在 IS&R 和 USB 主题领域研究中也处于前五, 但与美国相比还存在较大差距; 从城市科研协作网络分析结果可知, 不同主题核心城市集合存在较大差别, 同主题内城市科研协作能力存在典型的幂律分布特征, 以 IS&R 主题研究为例, Sheffield、New Brunswick 处于 IS&R 主题研究领跑位置, 其他城市存在差距, 国内城市较为靠前的是武汉(Wuhan), 位居第 18 位, 此外还有嘉义(Chiayi)、新竹(Hsinchu)、杭州(Hangzhou)和台北(Taipei), 但它们整体排名相对靠后; 从机构层面上讲, 各主题研究中欧美高校主导及参与科研协作的优势明显, 以 HI 主题研究为例, Harvard Univ、Mayo Clin 等机构表现突出, 国内机构跨地域科研协作的活跃度不及美英机构。横向来看, 同一节点在国家或地区、城市和机构科研协作网络中的表现存在一定的正相关性, 跨地域科研协作较为紧密的城市和国家或地区往往存在一所或多所在当前主题领域研究中表现优异的机构。

(2) 无向加权网络核心社团发掘

选取中观层面的城市科研协作网络, 从 Google

表 1 各主题前 5 位核心国家、核心城市及核心机构

	核心值	国家或地区	核心值	城市	核心值	机构
IS&R	1	USA	1	Sheffield	1	Univ Sheffield
	0.23	England	1	New Brunswick	0.56	Penn State Univ
	0.08	Australia	0.45	University Pk	0.35	Rutgers State Univ
	0.05	China	0.28	Pittsburgh	0.35	Univ Pittsburgh
	0.01	Finland	0.14	Turin	0.18	Univ Turin
HI	1	Germany	1	Boston	1	Harvard Univ
	0.79	USA	0.21	Rochester	0.38	Mayo Clin
	0.50	Austria	0.21	Braunschweig	0.36	Brigham & Womens Hosp
	0.13	Botswana	0.19	Salt Lake City	0.27	Univ Leipzig
	0.11	Canada	0.12	Leipzig	0.08	Partners Healthcare
USB	1	USA	1	Beijing	1	Natl Univ Singapore
	0.54	China	0.31	Singapore	0.89	Tarbiat Moallem Univ
	0.26	England	0.10	Tehran	0.89	UCL
	0.05	Singapore	0.08	Baltimore	0.84	Johns Hopkins Bloomberg
	0.02	Scotland	0.075	Oslo	0.84	Populat Council

地图中采集参与城市的经纬度信息,借助 Gephi 中 map of countries 和 geolayout 插件可生成城市地理分布图,从中可直观解读出城市在空间上的聚集情况。

经分析,参与 IS&R 主题研究的城市主要集中在四个区域:科研协作活跃度最高、参与城市数量最高的区域为北美,该区域除三个加拿大城市(Ottawa、Montreal、Quebec City)外,其他均为分布在美国东、西、南海岸的城市(见图 2),而

这些地区也是美国大学及研究机构分布较为集中的区域。仅次于该区域的是以英国为中心的欧洲,包括 5 个城市;第三和第四个区域为以中国为中心的东亚和以澳大利亚为中心的大洋洲,中国涉及的城市有武汉(Wuhan)、杭州(Hangzhou)、台北(Taipei)、新竹(Hsinchu)、嘉义(Chiayi),澳大利亚包括 4 个城市,分别是 Fremantle、Perth、Melbourne、Brisbane。扩展分析主题到 HI 和 USB,我们也可发现北美、欧洲和亚



图 2 北美区域参与科研协作热点城市空间分布状况(以 IS&R 主题为例)

洲依然是科研协作活跃度较高的区域,稳定性较好,但其他区域受主题变迁影响较大,在 USB 主题下第四活跃区域为西亚,替代了大洋洲,在 HI 主题下不存在明显聚焦的第四活跃区域,且欧洲科研协作中心由英国本土转向法德大陆。

上述各主题热点区域相关城市在科研协作过程中的表现较好,但据此还不能判别城市间科研协作形式是区域内合作还是区域间合作,也无法衡量科研协作的程度。为此我们还需进一步进行社团挖掘,引入 Ucinet 对不同地理级别科研协作主要形式进行探究,以 IS&R 主题领域区域科研协作为例,其可视化呈现结果如图 3 所示。

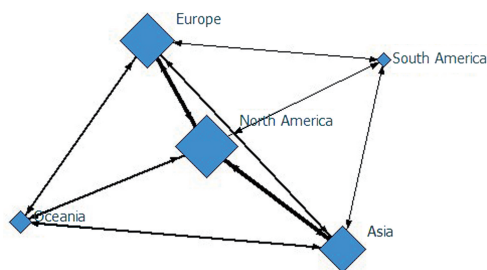


图 3 无向加权网络区域科研协作现状
(以 IS&R 主题为例)

由图 3 可知,各个区域连接满足 4-cliques,即社团中每个节点均与 3 个及以上节点存在科研协作联系,但通过节点大小差异可判别出不同区域参与科研协作的频次存在较大差异,频次高低排序基本与 IS&R 空间聚集分析一致。通过不同区域节点的连线粗细大小也可看出不同区域间合作的强度存在一定差异,北美与欧洲、亚洲联系较为紧密,其他区域之间的科研协作情况较为松散。扩展到 HI 和 USB 主题领域,我们发现尽管参与科研协作的区域增加了 Africa,但新增区域对当前主题下跨区域科研协作联系影响很弱,区域间科研协作整体特点趋同于 IS&R 主题领域,细微差别在于:在 HI 和 USB 主题领域,科研协作能力偏序关系“欧洲—北美—亚洲”,而 IS&R 主题领域北美科研协作能力高于欧洲和亚洲。

细化到城市层面则还可判别区域内合作情况,以 IS&R 主题领域为例,结果参见图 4。图 4 红圈标注的是不同区域城市间的科研协作(子网中只要存在两个及以上来自不同区域的城市,则认为该子网是跨区域城市科研协作子网),

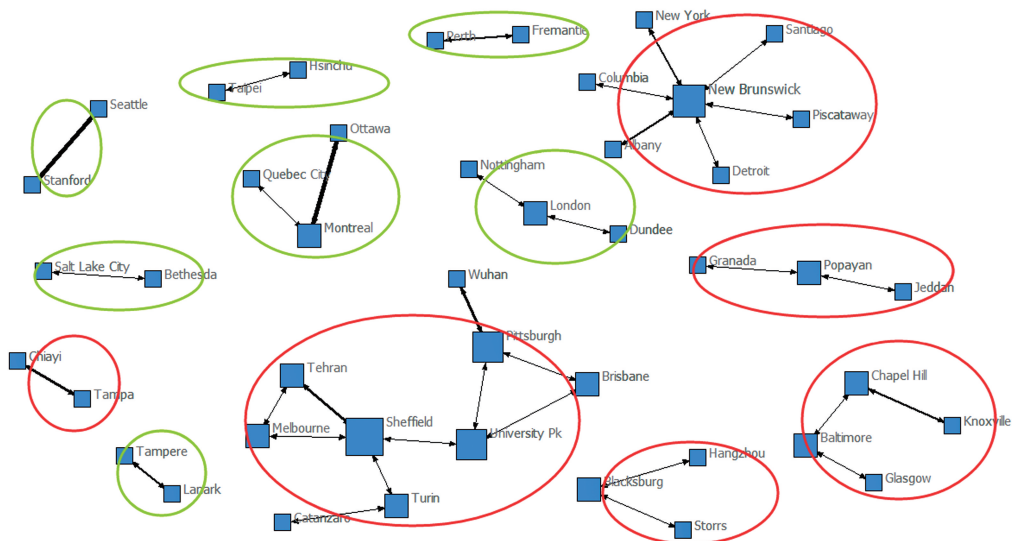


图 4 无向加权网络城市科研协作现状(以 IS&R 主题为例)

绿圈标注的是同区域城市间的科研协作。首先对比红圈与绿圈数量(6:7)可看出,两种科研协作形式比例相当,但细化分析红圈标识子网内的连接情况(参见图4右上方和右下方红圈),可发现跨区域科研协作子网中存在很高的区域内合作比例,如图4右上方红圈中除 Santiago 外,右下方红圈中除 Glasgow 外,其他均为美国城市。因此,如果以两两城市间科研协作形式为统计对象,则会发现同区域城市科研协作与跨区域城市科研协作形式比为 1.5:1,数量比为 1.6:1,这说明 IS&R 领域同区域城市科研协作依然是目前城市科研协作的主要模式。扩展到 HI 和 USB 主题领域,统计可知,同区域城市科研协作子网与不同区域城市科研协作子网比例分别为 1:3 和 1.8:1,从表面上看,不同区域城市科研协作是 HI 主题领域的主要协作模式,USB 主题下城市科研协作现状与 IS&R 主题较为一致,但细化辨别各主题子网中直接相连节点间的科研协作形式,可发现 HI 和 USB 主题下同区域城市直连关系和跨区域城市直连关系比例分别为 21:1 和 3.2:1,这表明扩展主题下同区域城市科研协作不仅是城市科研协作的主要模式,而且相比 IS&R 主题城市科研协作的区域聚集效应更为显著。

3.2.2 跨地域科研协作有向加权网络分析

(1) 有向加权网络角色分析

考虑检出文献中作者机构的署名次序,界定线性三元组中两端节点存在主从关系,主节点为排名靠前的地理节点,次节点为排名靠后的地理节点,此时节点构建的网络就是有向加权网络。节点 AB 之间的权重可选取 A—B 权重与 B—A 权重差值来测度,就可以分析哪些国家、城市及区域在科研协作中扮演着主导角色,而这些主导角色也决定了跨地域科研协作中知识流动的方向。首先以 IS&R 主题区域有向加权网络为例,绘制出可视化图,参见图5。

从图5可以看出,Europe 在 IS&R 领域占据相对主导地位(网络节点间合作强度为相对权重),在与 North America、Asia 和 Oceania 的协作

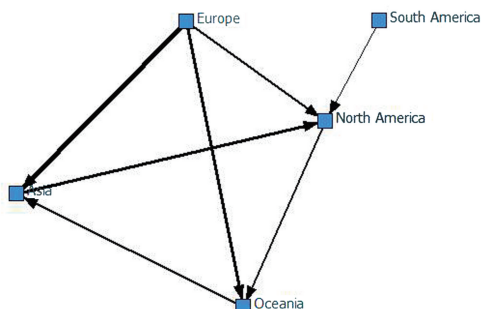


图5 有向加权网络区域科研协作网络现状
(以 IS&R 主题为例)

研究中扮演着知识流动或传播发起者的角色。通过线的粗细也可以看出,Europe 从科研协作层面对 Asia、Oceania 和 North America 区域科研的带动能力依次减弱,或者说 Asia 区域 IS&R 研究受 Europe 区域 IS&R 研究带动最大, North America 区域最弱。除此之外, Asia、Oceania 和 North America 区域还形成了三角的传递闭包,闭包内节点间既存在直接函数依赖还存在传递函数依赖关系,且节点间科研协作强度相对均衡,知识传递性较好,这也表明目前这三个区域 IS&R 研究已经形成了较好的知识联络模式。外部任一节点(如 Europe 和 South America)接入该三角闭包中的某个节点,都有很大概率与闭包内其他节点建立起联络。扩展到 HI 和 USB 主题领域,我们发现 HI 主题领域下, North America 依然是知识传播的主要发起阵地,其对 Africa、Asia、Europe 的带动能力依次减弱,同时 Europe 兼收并蓄,通过与多个区域的科研协作不断吸收新的知识;但在 USB 主题领域, Europe 却更多扮演着知识发起者的角色,类同于 Asia,与 North America 都存在较高的科研协作强度。总体来看,当前区域科研协作发起能力的偏序关系还主要为 North America、Europe 和 Asia,其他区域处于被支配的地位。

(2) 有向加权网络核心边缘结构分析

核心边缘结构分析本质是二分类方法,利用相关算法,将待分类节点分入核心类和边缘类两个集合中,并进一步以核心类和边缘类为

个体,计算两个类别的密度矩阵,从而针对研究问题发掘出当前研究现状。在此,我们以城市科研协作网络为例进行核心边缘结构分析,分析结果参见表 2 和表 3。

表 2 两种城市科研协作网络的核心类和边缘类分布情况(以 IS&R 为例)

有向加权网络	核心类	Aberdeen、Albany、Antwerp、Bethesda、Bloomington、Brisbane、Calgary、Chapel Hill、Chattanooga、Chiayi、Copenhagen、Detroit、Edmonton、Frascati、Hsinchu、Lawrenceville、London、Melbourne、Montreal、New Brunswick、New York、Nottingham、Ottawa、Piscataway、Pittsburgh、Salt Lake City、Santiago、Taipei、Tampa、Tehran、University Pk、Wuhan
	边缘类	Aalborg、Beijing、Boras、Chicago、Columbia、Fremantle、Holmdel、Knoxville、Leuven、Ludwigshafen am Rhein、Palo Alto、Perth、Portland、Redmond、Roskilde、Seattle、Seoul、Sheffield、Sydney、Taejon、Tainan、Tampere、Tao Yuan、Toronto、W Glam
无向加权网络	核心类	Albany、Baltimore、Bethesda、Blacksburg、Brisbane、Catanzaro、Chapel Hill、Chiayi、Columbia、Detroit、Fremantle、Glasgow、Hsinchu、Knoxville、London、Melbourne、Montreal、New Brunswick、New York、Ottawa、Piscataway、Pittsburgh、Popayan、Quebec City、Santiago、Seattle、Sheffield、Stanford、Tampa、Tampere、Tehran、Turin、University Pk、Wuhan
	边缘类	Dundee、Granada、Hangzhou、Jeddah、Lanark、Nottingham、Perth、Salt Lake City、Storrs、Taipei

表 3 各主题两种城市科研协作网络
核心类与边缘类联系强度矩阵

IS&R	有向加权网络	核心类	边缘类
	核心类	0.02	0.00
	边缘类	0.00	0.00
	无向加权网络	核心类	边缘类
	核心类	0.16	0.10
	边缘类	0.10	0.00
HI	有向加权网络	核心类	边缘类
	核心类	2.36	0.26
	边缘类	0.34	0.18
	无向加权网络	核心类	边缘类
	核心类	48.20	1.16
	边缘类	1.16	3.81
USB	有向加权网络	核心类	边缘类
	核心类	0.03	0.00
	边缘类	0.00	0.01
	无向加权网络	核心类	边缘类
	核心类	20.00	0.42
	边缘类	0.42	0.33

综合表 2 可知,在 IS&R 主题不同城市科研协作网络中,核心类与边缘类集合存在着较大差别,依据这种差别可将两个网络中都出现的节点分成四个类别:①核心主导节点(如 Albany、Chapel Hill 等)在两个网络中都位于核心类中,说明这些城市不仅多次参与科研协作,而且还多是知识传递中的发起方;②核心参与节点(如 Seattle、Sheffield 等)在无向加权网络中位于核心类,在有向加权网络中位于边缘类,说明这些城市参与城市间科研知识协作频次较高,但在多数知识传递中的主导性不强;③边缘主导节点(如 Salt Lake City、Nottingham 等)在无向加权网络中位于边缘类,在有向加权网络中位于核心类,这些城市参与科研协作次数虽然不多,但在多数知识传递中具有较强主导作用;④边缘参与节点(如 Perth)指的是在两类网络中都处于边缘类中,这些城市参与科研协作频次较少,主导性也不强,它们需要尽快融合到 IS&R 主题研究中,以免被进一步边缘化。后面三种类型的节点城市在提升跨地域科研协作能力上都有一定的提升空间,需要有针对性地加强与其他城市之间的科研协作频次和主导性。

同理,扩展到 HI 和 USB 主题领域,我们也可将其下的城市节点划分为上述四种类别:如 Aachen、Jena、Leipzig 等在 HI 两类网络中都位于核心类,为核心主导节点,Amsterdam、Boston 等为核心参与节点,New York 等为边缘主导节点,Stanford、Syracuse 等多数节点为边缘参与节点;再如 USB 主题领域中,北京(Beijing)、合肥(Hefei)为核心主导节点,Aberdeen、Ann Arbor 等边缘主导节点。综合来看,每个主题下都存在核心/边缘、主导/参与两个类别划分,差别只是各个主题下城市节点在四类集合中的分布状况存在不同。另外,第四类别可作为城市科研协作均衡分布的度量指标,如果更多节点分布在其中,则说明当前主题下城市间科研协作能力越极化,反之表示城市间科研协作能力越均衡。

另外通过对各主题两类网络中核心类与边缘类集合和联系强度的分析(见表3),也可看出,在不考虑主从关系的情况下,核心类与边缘类的联系强度要高于考虑主从关系的情况,这其实也说明有向加权网络其实是从联系方向和强度层面对无向加权网络所做的一次剥离,是无向加权网络中的子网,也更符合现实实际情形。

4 跨地域科研协作网络形成动因分析

跨地域科研协作网络形成动因分析主要考察的是科研机构科研实力、科研机构之间的地理距离对跨区域科研协作形成的影响程度。这种动因探析模式本质上是探索网络属性数据与网络关系数据计算所衍生的整体网络指标之间的相关分析,即以节点属性作为影响因素或自变量,采用统计分析或网络分析方法来描述节点属性对结果产生的影响。因为数据本身可以相互转换,如线性数据和网状数据,因此针对同样的问题,网络分析和统计分析都可提供解决方案,如二者都可以做聚类分析、相关分析和回归分析。在此我们利用网络分析中的二次指派程序(Quadratic Assignment Procedure, QAP)处理方法来进行相关分析, QAP 是一种对两个(或多

个)方阵中对应的各个元素值进行比较的方法,它通过比较各个方阵对应的格值,给出两个矩阵之间的相关系数,同时对系数进行非参数检验,它以对矩阵数据的置换为基础^[23]。从第4部分可获取不同地理级别的科研协作网络,科研协作网络的邻接矩阵即为做相关分析的因变量,而自变量则需从科研协作网络节点属性或派生属性值来获取,在此我们选择节点间地理距离和节点科研实力作为自变量。

4.1 节点间地理距离对跨地域科研协作形成的影响分析

以城市科研协作网络为例,数据预处理已经标记出城市的经纬度,利用公式 $R * \arccos(\sin y_1 \sin y_2 + \cos y_1 \cos y_2 \cos(x_1 - x_2))$ 可以计算出城市间的地理距离,公式中 x_1 和 y_1 代表节点1的经纬度值, x_2 和 y_2 代表节点2的经纬度值, R 为地球半径,均值为 6 370KM。部分计算结果参见表4。

表4 部分节点间地理距离

	节点 1	节点 2	地理距离(KM)
IS&R	Taipei	Hsinchu	62.57
	Popayan	Jeddah	12 559.08
	...	...	...
	Ottawa	Montreal	163.01
	Seattle	Stanford	1 137.33
HI	Aachen	Amsterdam	178.88
	Boston	Chicago	1 363.62
	...	...	...
	Paris	Santa Cruz	9 008.91
	Rochester	Bobigny	6 785.75
USB	Aberdeen	Ann Arbor	5 717.55
	Baltimore	Beijing	11 101.5
	...	...	...
	Washington	Xi'an	11 852.25
	Wuhan	Tehran	5 792.47

表4中各主题存在科研协作的城市间的平均地理距离分别为4 711.40KM、5 994.98KM和7 362.45KM。将各主题下各节点间地理距离形

成的矩阵,通过QAP相关分析即可解读出节点间地理距离对城市间科研协作的影响方向和程度,计算结果参见表5。

表5 节点间地理距离与节点协作网络QAP相关分析结果

主题	Obs Value	Signif	Avg	SD	P (Large)	P (Small)
IS&R	-0.102	0.000	0.001	0.030	1.000	0.000
HI	-0.193	0.000	0.001	0.054	1.000	0.000
USB	-0.197	0.000	0.000	0.039	1.000	0.000

表5展示了Pearson Correlation中各个指标值,Obs Value即为城市地理距离矩阵与城市科研协作频次矩阵实际的相关性系数;Signif指的是显著性水平;Avg指的是根据5 000次随机置换计算出来的相关性系数的平均值;SD是标准差;P (Large)代表随机计算的相关系数中出现的最大值;P (Small)代表随机计算的相关系数中出现的最大值。综上可知,各主题下城市地理距离矩阵与城市科研协作矩阵之间都存在着弱负相关,相关系数分别为-0.102、-0.193和-0.197,且相关在统计意义上是显著的,即城市间科研协作强度会随着城市间地理距离的变大而缓慢下降,但这种下降幅度不大,这也从另外一个角度印证了图2至图5所得分析结论(同区域内城市间科研协作强度依然大于跨区域城市间科研协作)的合理性。

4.2 节点科研实力对跨地域科研协作形成的影响分析

评价科研协作网络中节点的科研实力指标,依据节点类型而有所差异,如节点为机构,可采用机构发文数、机构发文引用数、机构研究内容与主题相似度BM25等;如节点为城市、国家或区域,则是对同城市、同国家或同区域不同机构的科研指标进行加总,加总结果即为不同地理节点的科研实力值。

表6从不同分面展现了节点科研实力,这些分面指标存在较多相同的值,因此只分析每个分面下指标与科研协作网络的相关性,无法

判别值相同节点对最终科研协作网络形成的影响。因此需要将上述多分面指标进行融合,获取对节点科研实力的综合评价值,在此需要确定多分面指标融合的方法。将每个分面下的指标值进行相同归一化处理(取值在0—1之间),然后采用加权平均(各分面的权值默认一致)方法计算出节点的科研实力的综合评估值,参见表7。

表6 各主题节点实力评估指标部分统计结果
(以城市协作网络为例)

主题	节点名	节点发文数	节点发文引用数
IS&R	Albany	8	191
	Baltimore	27	309
	...	...	...
	University Pk	18	769
	Wuhan	16	58
HI	Aachen	14	64
	Amsterdam	28	409
	...	...	...
	Viangchan	18	0
	Wellesley	10	478
USB	Aberdeen	23	112
	Ann Arbor	24	594
	...	...	...
	Wuhan	Wuhan	35
	Xi'an	Xi'an	4

表7 各主题节点科研实力综合评估值统计结果
(以城市协作网络为例)

主题	节点名	节点科研实力值
IS&R	Albany	0.12
	Baltimore	0.33
	...	...
	University Pk	0.38
	Wuhan	0.16
HI	Aachen	0.06
	Amsterdam	0.16
	...	...
	Viangchan	0.07
	Wellesley	0.11
USB	Aberdeen	0.10
	Ann Arbor	0.18
	...	...
	Wuhan	0.15
	Xi'an	0.02

根据表7节点科研实力综合评估值大小将上述科研节点进行分组,因为QAP自相关分析要求分组只能为2组,因此以0.5为边界,将所有城市节点分为两组,获取城市节点分组统计矩阵,位于同一组的城市矩阵值为1,反之为0,并将该矩阵与城市科研协作网络进行相关性计算,计算结果参见表8。

由表8分析结果可知,各主题下两个矩阵之间都存在弱的负相关关系,相关系数分别为-0.115、-0.038和-0.000,尽管只有IS&R主题下相关在统计意义上是显著的,但这也说明科

研实力越接近的城市,科研协作强度要低于科研实力相对悬殊的城市。表8分析呈现了同一组对象不同关系之间的关联性,即组间相关性检验水平,但无法揭示组内的相关性检验水平,后续我们又进行自相关检验,检验结果参见表9。

与表8计算不同的是,表9来源矩阵中,矩阵中0代表科研实力弱节点对的值,1代表科研实力强节点对的值,Expected变量和Observed变量分别代表各个分组中期望的关系数量和实际的关系数量,Difference代表实际值与期望值的差值, $P > \text{Diff}$ 和 $P \leq \text{Diff}$ 这两项代表的是根据随机重排的矩阵计算出来的差量大于(小于)或等于观察值的相对频次概率(Relative Frequency),也是检验观察值显著性的指标。依据这些指标含义可推知,IS&R主题中1组相关检验指标都不显著,这说明当前观测值的增加是由抽样误差造成的,观测值与期望值并无差异,意味着弱科研实力节点内部联络对其科研协作网络的形成无明显影响(此时默认假设 $H_0: \text{Observed} = \text{Expected}$),同理我们发现HI和USB主题下科研协作网络形成也具有相同的规律;2组指示的是两个类别间节点关系检验情况,此时实际观测关系数量要多于期望的关系数量,且左侧单尾显著,这说明观测值的增加是实际存在的,科研实力悬殊越大的节点间的联络对科研协作网络的影响越明显(此时左侧默认假设 $H_0: \text{Observed} < \text{Expected}$,右侧假设为 $\text{Observed} > \text{Expected}$)。在HI和USB主题下,HI主题下实际观测关系数要高于期望数,USB主题下实际观测关系数要低于期望数,但均不显著,这说明节点实力差距对城市科研协作网络的影响随机性很强;3组科研实力接近群落内节点间实际观

表8 节点科研实力与节点协作网络QAP相关分析结果

主题	Obs Value	Signif	Avg	SD	P (Large)	P (Small)
IS&R	-0.115	0.000	0.000	0.028	1.000	0.000
HI	-0.038	0.233	0.000	0.058	0.769	0.233
USB	-0.000	0.399	0.000	0.030	0.631	0.399

表9 节点科研实力与节点协作网络自相关分析结果

主题	分组	组配对	Expected	Observed	Difference	P>=Diff	P<=Diff
IS&R	1	0-0	0.733	1.000	0.267	0.539	0.844
	2	0-1	9.035	16.000	6.965	0.008	0.998
	3	1-1	23.233	16.000	-7.233	0.999	0.004
HI	1	0-0	0.342	2.000	1.658	0.051	0.994
	2	0-1	5.242	8.000	2.758	0.148	0.907
	3	1-1	14.416	10.000	-4.416	0.950	0.083
USB	1	0-0	0.106	0.000	-0.106	1.000	0.894
	2	0-1	3.388	3.000	-0.388	0.918	0.619
	3	1-1	17.506	18.000	0.494	0.603	0.960

测系数都要小于理论关系数,且右侧单尾显著,这说明观测值的减少是实际存在的,科研实力强节点之间的联络并不紧密,但在该群落中,节点间科研实力越接近,节点间联络对科研协作网络的形成影响越显著(此时假设同2组)。在HI和USB主题下,HI主题下实际观测数低于期望数,USB反之,但二者也都不显著。综合分析可知,在不同主题科研协作网络中,节点科研实力对城市科研协作网络形成的影响与主题领域存在一定关系,不同科研实力节点间的连接具有较强随机性,但总体还是强弱科研实力节点的连接对科研协作网络的形成和扩展更具价值。

4.3 跨地域科研协作网络演化分析

跨地域科研协作网络演化分析就是融合空间分析与时间分析来动态探索网络的发展路径。提取相关题录数据的出版年份,可发现各主题研究的时间脉络,如IS&R主题研究最早始于1970年芝加哥大学(Univ Chicago),之后1984和1985年乔治亚理工大学(Georgia Inst Technol)和多伦多大学(Univ Toronto)也有相关研究,但整体上来讲,20世纪90年代之前,IS&R研究还处于萌芽状态,之后进入研究快速发展的周期;HI主题研究最早开始于1988年美国公司和高校(Cornell Univ和Herner & Co),之后城

市间科研协作状况得到了一定程度发展,但到2005年之后才进入快速发展周期;USB主题研究最早开始于1980年东京的两所科研院所(Tokyo Womans Christian Univ和Int Christian Univ Lib),之后更多城市开展了相关研究,但在2005年之前还处于缓慢发展期,到2005年之后进入快速发展的周期,参与该主题科研协作的迅速增长到437个;为便于进行横向比较,我们将各主题所有研究数据分为三个周期:2000年之前,2000—2005年,2005年之后,分别建立各个周期的科研协作网络(以城市科研协作网络为例),通过网络中心度及核心边缘结构分析(参照4.2研究设计)获取各个周期热点地域,计算结果参见表10。

从表10可以看出,随着周期的演进,各主题城市科研协作网络呈现出以下主要特点:①参与科研协作的城市数量越来越多,尤其是第二、三阶段,说明该主题研究在该阶段呈现出快速发展的态势;②主要研究阵地既表现出一定的稳定性,如IS&R主题下的New Brunswick、Chapel Hill、London,HI主题下New York和Boston,USB主题下的London,在两个及以上阶段都是热点城市,又展现出一定的动态性,如IS&R第一阶段中的Denton、第二阶段中的Tampere,而相对稳定的城市科研协作关系也是保持城市

表 10 三个周期城市科研协作演化分析结果

主题	周期	参与城市总数	Top 3 热点城市
IS&R	2000 年之前	74	Denton、New Brunswick、London/University Pk
	2000—2005 年	186	New Brunswick、Tampere、Chapel Hill
	2005 年之后	189	New Brunswick、Chapel Hill、London
HI	2000 年之前	121	Lancs、Rotterdam、Cincinnati
	2000—2005 年	168	New York、Bethesda、Boston
	2005 年之后	685	Boston、New York、Houston
USB	2000 年之前	40	Denton、Silver Spring、Bethesda
	2000—2005 年	104	Los Angeles、London、Ann Arbor
	2005 年之后	437	Tehran、London、Beijing

科研影响力的重要基础;③上述各主题三个阶段热点城市所在区域均为欧美地区,大洋洲及亚洲充当着追赶者的角色,也是与当前热点城市合作最多的外部区域;④某些城市参与了多个主题下的科研协作,如 IS&R 和 USB 主题研究中都有的 Denton 和 London,HI 和 USB 主题研究下都有的 Bethesda,这种多主题融合发展的城市科研协作模式可为城市知识创新带来更多机遇;⑤热点城市之间的联系相对稀疏,甚至彼此无直接联系,这说明各主题研究存在着一定的子主题分化,各个核心城市经过一定时间的积淀都已形成了各具特色的研究方向,通过关键词主题分析获得各主题各热点城市的研究方向(见表 11)。

综合表 11 分析可以预见,在下一个发展周期中,各个主题研究方向将进一步细化,形成更多各具特色及密切关联的研究子领域,但参与科研协作的城市规模将保持稳中有增的状态。

5 结语

跨地域科研协作是当前科研协作的一种重要形式,限于地理信息分析技术与方法的发展,目前该主题研究在图书情报领域的拓展还不是丰富,主要体现为:①跨地域科研协作分析、连接与可视化的实现都建立在对不同地理级别

地名实体的识别上,识别效果决定了最终分析结果的准确性;②跨地域科研协作研究所使用的方法体系的新颖性还不足,综合文献调研结果来看,采用方法主要聚焦于传统的统计分析和网络分析,统计分析尤以回归分析和相关分析最多,网络分析多使用复杂网络分析来呈现跨区域科研协作的演化路径;③跨地域科研协作研究使用的工具多为来自其他学科的可视化工具,如 GIS、Gephi 等,本学科传统共现分析的一些软件也可应用到数据预处理中。基于以上分析,作为地理信息分析在科研管理领域的重要应用场景,跨地域科研协作亟待建立相对完善的研究路径。

本文以 IS&R、HI 和 USB 三个主题研究为例,逐步深入,依次对跨地域科研协作宏观层面的现状和微观层面的因果影响进行分析,宏观层面解读了现有数据支撑下跨地域科研协作网络特征和典型节点特征,微观层面分析其他节点间关系和节点属性特征对跨地域科研协作网络形成的影响程度,以及科研协作网络演化过程中的主题迁移。这些研究是对跨地域科研协作分析路径的一种尝试,尚存在一些内容有待完善:①本文数据选择 IS&R、HI 和 USB 为主题,相关结果导出及讨论也以上述主题相关数据分析结果为基础,尽管上述主题具有较为完善的

表 11 各主题热点城市的研究方向分析结果

主题	城市	各主题下研究方向
IS&R	New Brunswick	Task-based information searching; Exploratory information seeking; Human information behavior
	London	Collaborative information seeking; Database searching
	Chapel Hill	Medicine information seeking; User query optimization and searching behavior
	Denton	Image indexing and retrieval
	University Pk	Searching engine
	Tampere	Task-based information searching and visualization
HI	Lancs	Clinical information system
	Rotterdam	Electronic patient records
	Cincinnati	Medical informatics
	New York	Consumer health informatics
		Electronic health records
	Bethesda	Computerized patient record
	Boston	Consumer informatics
		Electronic health records/Clinical decision support
USB	Houston	Electronic health records
	Denton	Relevance evaluation
	Silver Spring	Use and selection of information resources
	Bethesda	Use and selection of information resources
	Los Angeles	Information need and selection
	London	Digital communications
		Information searching behavior
	Ann Arbor	Information searching
	Tehran	Information seeking behavior
	Beijing	Information searching algorithms and experiments

学科代表性,但有关跨地域科研协作的判定可能还需要更多检验;②普遍来讲,跨地域科研协作网络都表现出一定的稀疏性,部分社团发现算

法,如重叠社团发现算法,应用效果不是很理想,因此数据源及数据预处理方法还需要进一步拓展。

参考文献

- [1] Pennington D D. Cross-disciplinary collaboration and learning[J]. *Ecology and Society*, 2008, 13(2): 8.
- [2] Cummings J N, Kiesler S. Collaborative research across disciplinary and organizational boundaries[J]. *Social Studies of Science*, 2005, 35(5): 703-722.
- [3] Stvilia B, Hinnant C C, Schindler K, et al. Composition of scientific teams and publication productivity at a national science lab[J]. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 2011, 62(2): 270-283.
- [4] Wuchty S, Jones B F, Uzzi B. The increasing dominance of teams in production of knowledge[J]. *Science*, 2007, 316(5827): 1036-1039.
- [5] Börner K, Dall' Asta L, Ke W, et al. Studying the emerging global brain: Analyzing and visualizing the impact of co-authorship teams[J]. *Complexity*, 2005, 10(4): 57-67.
- [6] 李纲, 叶光辉. 基于模糊匹配的跨学科专家团队发现算法研究[J]. *情报学报*, 2014, 33(1): 68-76. (Li Gang, Ye Guanghui. Research on interdisciplinary team of experts discovery algorithm based on the fuzzy matching[J]. *Journal of the China Society for Scientific and Technical Information*, 2014, 33(1): 68-76.)
- [7] 王飞跃. SciTS: 21世纪科技合作的灯塔?[EB/OL]. [2014-03-20]. http://www.qstheory.cn/kj/kj/201104/t20110413_76548.htm. (Wang Feiyue. SciTS: a beacon for 21st century technology cooperation? [EB/OL]. [2014-03-20]. http://www.qstheory.cn/kj/kj/201104/t20110413_76548.htm.)
- [8] Boschma R A. Proximity and innovation: a critical assessment[J]. *Regional Studies*, 2005, 39(1): 61-74.
- [9] 刘志迎, 单洁含. 技术距离、地理距离与大学—企业协同创新效应——基于联合专利数据的研究[J]. *科学学研究*, 2013, 31(9): 1331-1337. (Liu Zhiying, Shan Jiehan. The impact of technological distance and geographical distance on university-industry collaborative innovation: an analysis of joint-patent[J]. *Studies in Science of Science*, 2013, 31(9): 1331-1337.)
- [10] Hong W, Su Y S. The effect of institutional proximity in non-local university-industry collaborations: an analysis based on Chinese patent data[J]. *Research Policy*, 2013, 42(2): 454-464.
- [11] 陈光华, 王烨, 杨国梁. 地理距离阻碍跨区域产学研合作绩效了吗?[J]. *科学学研究*, 2015, 33(1): 76-82. (Chen Guanghua, Wang Ye, Yang Guoliang. Geographical distance and non-local university-industry collaborations performance[J]. *Studies in Science of Science*, 2015, 33(1): 76-82.)
- [12] Petruzzelli A M. The impact of technological relatedness, priorities, and geographical distance on university-industry collaborations: A joint-patent analysis[J]. *Technovation*, 2011, 31(7): 309-319.
- [13] 吴素春, 聂鸣. 以创新型城市为主导的区域科研合作网络研究——以湖北省论文合著数据为例[J]. *情报杂志*, 2013(8): 125-131. (Wu Suchun, Nie Ming. Regional science collaboration network dominated by innovative city: a research based on the data of co-authored papers from Hubei province[J]. *Journal of Intelligence*, 2013(8): 125-131.)
- [14] 李纲, 魏曼予, 毛进, 等. 基于合著网络的城市间科研合作特征研究——以计算机领域核心期刊为例[J]. *情报学报*, 2014(10): 1067-1076. (Li Gang, Wei Minyu, Mao Jin, et al. A study of inter city scientific collaborations based on co-author network: a case study of computer science core journals[J]. *Journal of the China Society for Scientific and Technical Information*, 2014(10): 1067-1076.)
- [15] 刘凤朝, 姜滨滨. 中国区域科研合作网络结构对绩效作用效果分析——以燃料电池领域为例[J]. *科学学与科学技术管理*, 2012, 33(1): 109-115. (Liu Fengchao, Jiang Binbin. Analysis of the effect of network struc-

- ture on innovation performance; based on China's regional S&T collaboration network in fuel cell[J]. Science of Science and Management of S.& T., 2012, 33(1):109-115.)
- [16] 张玉涛, 李雷明子, 王继民, 等. 数据挖掘领域的科研合作网络分析[J]. 图书情报工作, 2012, 56(6): 117-122. (Zhang Yutao, Li Leimingzi, Wang Jimin, et al. Research cooperation networks in data mining[J]. Library and Information Service, 2012, 56(6):117-122.)
- [17] 司尚奇, 冯锋. 我国跨区域技术转移联盟研究——基于38个城市合作网络分析[J]. 科学学研究, 2010, 28(8):1165-1170. (Si Shangqi, Feng Feng. Research on China's inter-regional technology transfer alliance-based on cooperative network of 38 cities [J]. Studies in Science of Science, 2010, 28(8):1165-1170.)
- [18] 刘芳芳, 冯锋. 产学研跨区域合作现状及特征研究——基于社会网络视角[J]. 科学学与科学技术管理, 2015, 36(8):83-92. (Liu Fangfang, Feng Feng. The research on industry-university-research cross-regional cooperation characteristics and current situation; based on social network[J]. Science of Science and Management of S.& T., 2015, 36(8):83-92.)
- [19] 漆永乐. 组织、空间情境与科研合作网络关系研究[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2015. (Qi Yongle. Relationship between organizational, spatial context and scientific cooperation network [D]. Hangzhou: Zhejiang Sci-Tech University, 2015.)
- [20] 夏丽娟, 谢富纪, 付丙海. 邻近性视角下的跨区域产学研协同创新网络及影响因素分析[J]. 管理学报, 2017(12):1795-1803. (Xia Lijuan, Xie Fuji, Fu Binghai. The network evolution of China cross region industry-university collaborative innovation and the analysis of influencing factors; based on the perspective of proximity [J]. Chinese Journal of Management, 2017(12):1795-1803.)
- [21] 李健. 我国协作研发网络的演化过程与结构特征研究——基于 R&D 国际化视角[J]. 科学学与科学技术管理, 2013(9):27-36. (Li Jian. A study on the evolution process and structure characteristics of collaboration R&D network in China in the view of R&D internationalization[J]. Science of Science and Management of S.& T., 2013(9):27-36.)
- [22] 朱桂龙, 程强. 我国产学研成果转化政策主体合作网络演化研究[J]. 科学学与科学技术管理, 2014(7): 40-48. (Zhu Guilong, Cheng Qiang. The evolution research of the main body cooperation network under the achievements transformation policy of U-I collaboration in China[J]. Science of Science and Management of S.& T., 2014(7):40-48.)
- [23] 刘军.QAP:测量“关系”之间关系的一种方法[J]. 社会, 2007(4):164-174, 209. (Liu Jun. QAP: a unique method of measuring relationships in relational data [J]. Society, 2007(4):164-174, 209.)

叶光辉 华中师范大学信息管理学院副教授。湖北 武汉 430079。

夏立新 华中师范大学信息管理学院教授, 博士生导师。湖北 武汉 430079。

(收稿日期:2018-12-03;修回日期:2018-12-25)