

专利视角下虚拟现实技术合作创新网络研究

张译匀¹, 江 瑶^{1*}, 陈 旭²

¹上海工程技术大学管理学院, 上海

²上海应用技术大学经济与管理学院, 上海

收稿日期: 2023年6月1日; 录用日期: 2023年7月23日; 发布日期: 2023年8月1日

摘要

本文利用虚拟现实领域的专利数据, 探讨我国虚拟现实的发展现状以及合作创新网络的演进态势, 以期为推动我国虚拟现实技术的繁荣发展提供有效建议。基于2003~2022年虚拟现实领域的专利数据, 本文采取专利定量分析法和社会网络分析法, 定量分析国内虚拟现实领域专利整体发展现状, 并从网络整体结构和网络个体结构两个方面对合作创新情况进行分析。研究表明: 我国虚拟现实领域专利创新得到了快速发展, 合作创新网络整体规模不断增大, 但网络密度较低, 主体间协同程度较差; 合作创新网络发展不均衡, 各主体之间创新能力差距较大; 企业在创新网络中占据首要地位, 高校次之, 科研机构等主体不具备明显中心性。

关键词

虚拟现实, 合作创新网络, 专利合作, 社会网络分析

Research on the Collaborative Innovation Network of Virtual Reality Technology from the Perspective of Patent

Yiyun Zhang¹, Yao Jiang^{1*}, Xu Chen²

¹School of Management, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai

²School of Economics & Management, Shanghai Institute of Technology, Shanghai

Received: Jun. 1st, 2023; accepted: Jul. 23rd, 2023; published: Aug. 1st, 2023

Abstract

This article uses patent data in the field of virtual reality to explore the current development sta-

*通讯作者。

tus of virtual reality in China and the evolution trend of collaborative innovation networks, in order to provide effective suggestions for promoting the prosperity and development of virtual reality technology in China. Based on patent data in the field of virtual reality from 2003 to 2022, this article adopts quantitative patent analysis and social network analysis methods to quantitatively analyze the overall development status of patents in the field of virtual reality in China, and analyzes the cooperative innovation situation from two aspects: the overall structure of the network and the individual structure of the network. Research shows that patent innovation in the field of virtual reality in China has developed rapidly, and the overall scale of collaborative innovation networks is constantly increasing. However, the network density is low, and the degree of collaboration between entities is poor; the development of collaborative innovation networks is uneven, and there is a significant gap in innovation capabilities among various entities; enterprises occupy the primary position in the innovation network, followed by universities, and scientific research institutions and other entities do not have obvious centrality.

Keywords

Virtual Reality, Collaborative Innovation Network, Patent Cooperation, Social Network Analysis

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

虚拟现实是以计算机技术为核心，生成与现实环境在视、听、触感等方面高度近似的数字化环境。用户借助相关设备与虚拟环境中的对象进行交互，从而产生真实环境的感受和体验[1]。自虚拟现实技术诞生以来，国家就对其保持高度关注，随着 5G 高速传输、物联网、人工智能、柔性显示、移动式高性能图形计算卡等技术的出现[2]，虚拟现实技术应用已经成为了我国的重点发展方向之一。工业和信息化部、教育部、文化和旅游部、国家广播电视台总局、国家体育总局于 2022 年联合印发《虚拟现实与行业应用融合发展行动计划(2022~2026 年)》，提出到 2026 年，我国三维化、虚实融合沉浸影音关键技术重点突破，新一代适人化虚拟现实终端产品不断丰富，产业生态进一步完善，虚拟现实正在经济社会重要行业领域实现规模化应用，形成若干具有较强国际竞争力的骨干企业和产业集群，打造技术、产品、服务和应用共同繁荣的产业发展格局。随着各国的积极推进，虚拟现实与许多领域持续融合，虚拟现实技术的竞争力越来越明显，已经成为了各国争相布局的科技战略重点。在此背景下，如何促进我国虚拟现实领域的发展，增强我国虚拟现实领域的创新能力，成为我们重点关注的问题。

在国内，大部分学者多从虚拟现实的技术领域、应用领域、系统领域三个方面着手研究。在技术领域方面，杨青阐述了国外虚拟现实技术发展及演化趋势[3]，李青长则将虚拟现实技术应用于非遗文化传承中[4]；在应用领域方面，杜雨晨[5]、杨飞[6]、贞疆鹏[7]分别将虚拟现实技术应用于儿童肥胖防治研究、护理专业技能训练、档案管理等方面，解决化学医疗、科学计算等领域的难题；在系统领域方面，徐文彪设计了虚拟现实工厂系统的软硬件，解决了现有虚拟现实工厂只能依靠头戴式显示器和手柄进行单向的视、听觉虚拟操作问题[8]。还有一些学者基于其他视角对中国虚拟现实技术进行评价，如杨青从技术辐射力的角度来评价技术发展质量[9]，索引探究虚拟现实体验感对人的行为和知觉能力的增强效应[10]。由此可知，现有的虚拟现实研究大都局限在某一技术领域，或探讨虚拟现实的应用研究，但对于虚拟现实领域中总体创新情况和合作创新发展状况有关的研究是比较匮乏的。专利创新是决定一个国家在该领域是否能够取得

长足进步的关键指标，也是促进虚拟现实技术研究与开发的重要力量。由于虚拟现实产业技术更新快、涉及产业众多、创新需求高，因此多主体之间进行合作创新成为提升创新绩效的共同趋势。

根据上述分析，本文以虚拟现实技术有关专利数据为主要研究对象，定量分析我国虚拟现实技术的基本情况。在此基础上，利用社会网络分析法构建合作创新网络图，探究虚拟现实领域合作创新网络发展态势，为虚拟现实领域的创新主体和网络规划提供一定的理论价值。

2. 数据来源与研究思路

2.1. 数据采集

IncoPat 是国内外较为完备的专利数据库，收录了全球 120 多个国家、组织和地区 1.2 亿余件专利技术信息，对全球的数据信息进行高度整合，专利文献覆盖全面，准确性较高。为了全面了解虚拟现实技术的发展状况，本文以 IncoPat 全球专利数据库为基础进行检索。

由于虚拟现实技术涉及到大量计算机技术、电子技术、光学技术，这些技术又可以应用到多个领域，若以这些下位概念的技术去检索，会检索到其他领域的文献，出现大量的噪音，所以本文将直接以与虚拟现实密切相关的词语做关键词，从而确保筛选出的专利文献中都和虚拟现实相关[11]。因此最终确定的关键词如下：虚拟现实、增强现实、混合现实。检索式为(TIAB = (Virtual Reality) OR (Augmented Reality) OR (Mixed Reality))。

本文将专利检索时间范围限定为 2003 年 1 月 1 日至 2022 年 12 月 31 日，检索并进行简单的去噪音和去重，发现涉及虚拟现实技术的发明专利申请共有 16,137 项。由于发明专利申请有 18 个月的公布周期，以及专利数据库数据收集和录入有一定的延迟，近两年的部分统计指标仅供参考[12]。

2.2. 研究思路

本文首先采取专利定量分析法，从专利申请量、地域属性、申请人、技术领域等四个角度定量分析国内虚拟现实技术领域专利整体发展现状。其次，采用社会网络分析方法，使用 Gephi、UCINET 等工具分析节点之间的关系，从网络整体结构和网络个体结构两个方面对我国虚拟现实技术合作创新发展状况进行分析，研究框架如图 1 所示。网络整体特征主要通过网络规模、关系数、网络密度、网络关联度、平均度、平均路径长度、聚类系数等指标进行测度[13]。网络个体特征主要通过中心度和结构洞[14] [15]等指标进行测度。

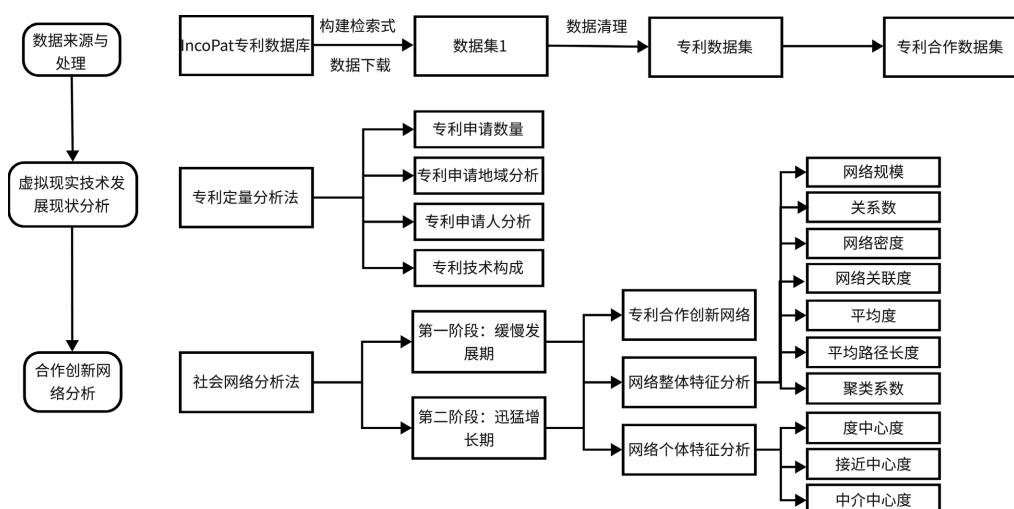


Figure 1. Research framework diagram

图 1. 研究框架图

3. 虚拟现实领域发展现状分析

3.1. 虚拟现实技术专利申请数量

专利的申请数量反映了行业科研行为和技术创新的活跃程度与演进趋势[16]。2003年1月1日至2022年12月31日期间，虚拟现实技术领域共申请发明专利16,137项，专利申请数量变化趋势如图2所示(由于专利公开具有一定的滞后性，此阶段的数据尚未完全公开，因此近两年的统计数据仅供参考)。

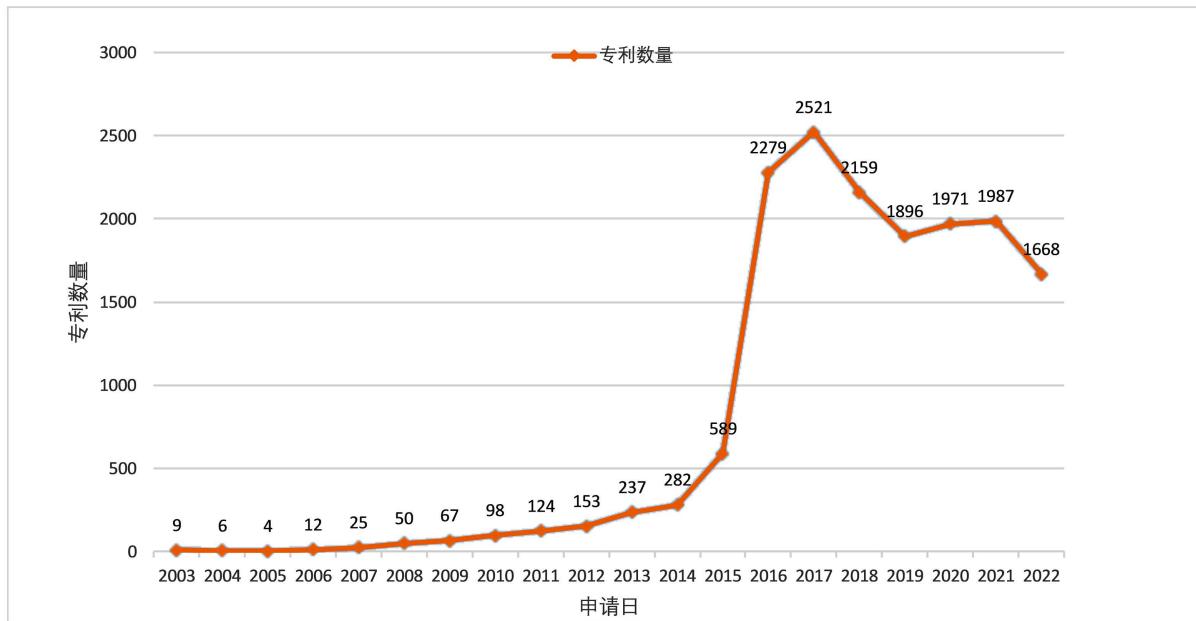


Figure 2. Patent applications in the field of virtual reality in China
图 2. 中国虚拟现实领域专利申请情况

我国虚拟现实产业起步较晚，21世纪才逐渐开始相关技术的研究，导致专利申请数量低迷不振[17]。由图2可知，2011年专利申请数量开始增长到百位数，2013年首次突破200件，到了2015年终于突破500件。虽然在此期间，虚拟现实技术的专利申请量大致保持上升状态，但是数量一直不多，发展速度也较为缓慢。2016年3月，国务院发布的《“十三五”国家信息化规划》中明确指出要大力推进虚拟现实等新兴前沿领域创新和产业化，因此形成一大批新增长点。从2016年开始，虚拟现实技术领域专利申请数量呈井喷式增长，专利申请数量较2015年增长接近3倍，达到2279件，并在2017年专利申请量达到顶峰，高达2521件。在2016年之后我国虚拟现实领域的专利申请数量虽略有波动，但大致维持在1600件以上。

3.2. 虚拟现实技术专利申请地域

地区拥有的专利数量能够较好的展现该地区的创新能力。对各省份拥有的专利数量进行统计，虚拟现实技术专利申请区域分布如图3所示。

由图3可知，广东地区的专利申请量最多，共有3593件，占全国总申请量的22.27%；北京紧跟其后，占比21.42%。上海、江苏、浙江三个省份的专利申请量超过1000，其他省份专利申请数量均未能破1000，各区域专利总量空间分布差异显著。这主要是因为中心城市广东、北京汇聚了大量创新资源，而江浙沪地区由于经济较为发达，能够有效支持创新研究。群内其他城市资源相对较少、吸引力小[18]，因此地域间拥有的专利总量差距较大。

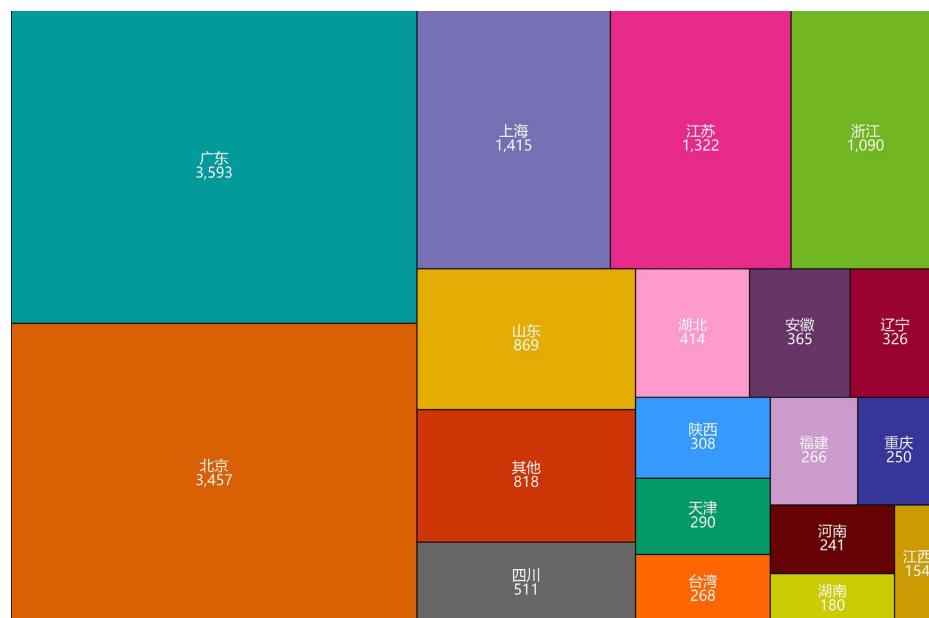


Figure 3. Regional distribution of patent applications in the field of virtual reality in China
图 3. 中国虚拟现实领域专利申请地域分布

3.3. 虚拟现实技术专利申请人

创新主体的专利申请量从总体上反映了其创新活跃度和创新规模[19]。对各专利申请人拥有的专利数量进行统计, 图 4 列出了专利申请量排在前 20 的申请人(浙江大学和宇龙计算机通信科技(深圳)有限公司并列第 20)。

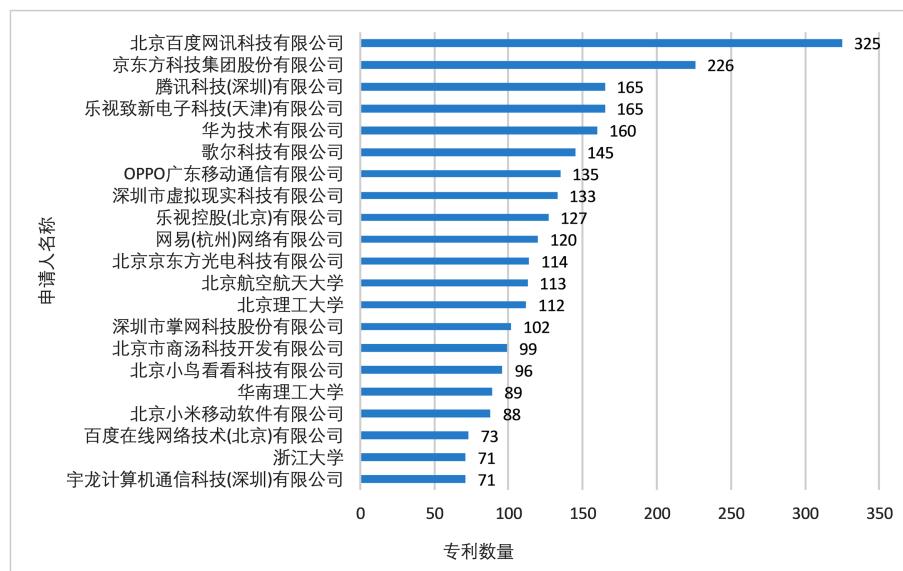


Figure 4. Patent applicants in the field of virtual reality in China
图 4. 中国虚拟现实领域专利申请人情况

从图 4 中可以看出: 申请量排名第 1、2 位的申请人分别是北京百度网讯科技有限公司和京东科技股份有限公司, 分别达到了 325、226 件, 较大领先于其他申请人的专利数量。进一步分析可知, 企业

在排名前 20 的申请人中占比为 80.95%，高校占比 19.05%，这些高校都是科研能力比较强的“985 工程”学校，无科研机构和个人等。这说明我国虚拟现实领域的发展方向主要是以市场应用为导向，基础创新能力较强的高校也对虚拟现实技术展开了广泛研究。

3.4. 虚拟现实技术专利领域构成

通过统计虚拟现实领域专利 IPC 分类信息，可进一步掌握虚拟现实专利的技术类别分布情况，从而更深层次的把握虚拟现实领域专利的研究热点问题。对所有专利进行技术领域的 IPC 分类号归纳整理，结果如图 5 所示。



Figure 5. Composition of Chinese virtual reality technology
图 5. 中国虚拟现实技术构成

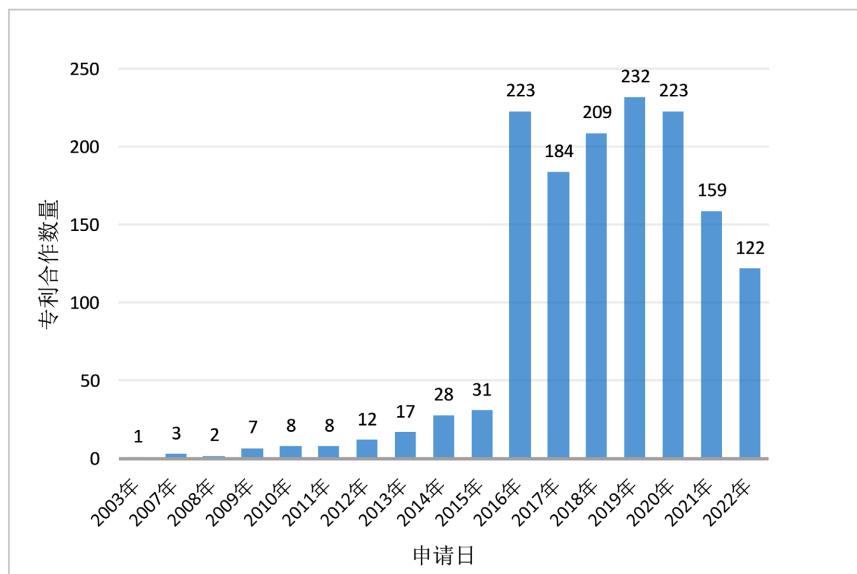
由图 5 可知，我国虚拟现实技术领域主要集中在 G06F(电数字数据处理)和 G06T(一般的图像数据处理)两大领域。这两类专利申请数量之和占据专利申请总数量的 41.97%，是虚拟现实领域最主要的技术分布类别。其次是 G02B(光学元件、系统或仪器)、G09B(教育或演示工具)等技术领域。这些技术领域的蓬勃发展与虚拟现实技术是利使用户在虚拟环境中与物体进行沉浸式行为交互的特点有关。

4. 合作网络特征分析及演化

4.1. 整体合作发展态势

该部分的主要研究目的是探究虚拟现实领域的专利合作创新情况，因此仅记录至少包含两个申请主体的专利。将在 IncoPat 专利数据库检索到的 16,137 项数据进行第二次筛选，最终得到 1469 件合作专利作为研究样本。2003~2022 年虚拟现实领域专利合作申请数量变化趋势如图 6 所示。

通过图 6 可将虚拟现实领域专利合作申请数量变化趋势分为两个阶段。第一阶段为缓慢发展期。2003~2015 年虚拟现实领域专利合作申请数量缓慢增长，整体呈现上升趋势，申请数量皆处于较低状态。第二个阶段为迅猛发展期。2016~2022 年为虚拟现实领域的迅猛发展期，2016 年虚拟现实领域专利申请数量呈井喷式增长，首次超过 200 件，自此以后各年份的专利合作数量都较多，保持在 120 件以上。

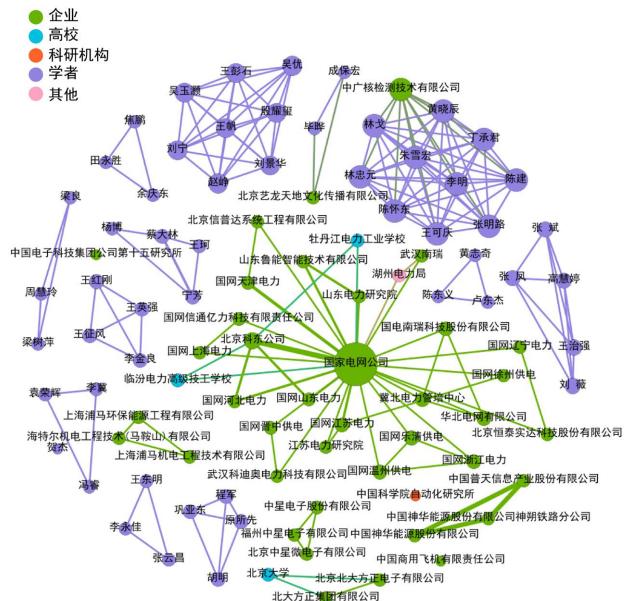
**Figure 6.** Patent cooperation applications in the field of virtual reality**图 6.** 虚拟现实领域专利合作申请情况

4.2. 专利合作创新网络

通过复杂网络分析软 Gephi 对虚拟现实领域专利数据进行网络可视化，分析虚拟现实领域专利合作情况。专利申请主体为网络的节点，节点越大，说明与该主体开展专利合作的数量越多；连线则反映了主体之间的专利合作关系，连线越粗，说明主体之间共同发明专利的数量越多[20]。

1) 2003~2015 阶段合作创新网络

2003~2015 年为第一阶段，在此期间虚拟现实领域合作创新网络内共有 117 件发明专利，涉及 216 个主体。利用 Gephi 软件，截选节点度为 2 及以上的专利主体绘制专利合作创新网络图，如图 7 所示。

**Figure 7.** 2003~2015 collaborative innovation network in the field of virtual reality**图 7.** 2003~2015 年虚拟现实领域合作创新网络

由图 7 可知, 第一阶段节点数量相对较少, 各节点的大小和连线的粗细存在明显差异, 各颜色节点数量也存在差异。这表明, 此时合作创新网络中的创新主体并未广泛展开合作创新, 各主体的合作广度和强度差异较大, 只有国家电网公司开展了范围较广的专利合作, 并且与北京科东公司合作频繁。从创新主体类型上来看, 在合作网络中大部分的主体类型为个人和企业, 仅有少部分高校、科研机构等其他主体类型参与合作。在第一阶段中, 不同类型主体进行联合创新的专利数量稀少, 合作创新网络中大部分合作都是企业和企业之间、学者与学者之间展开专利合作, 企业、个体、高校等机构较少的联合起来创新。

2) 2016~2022 阶段合作创新网络

2016~2022 年为第二阶段, 在此期间虚拟现实领域专利合作网络内共有 1352 件发明专利, 参与合作专利主体上升至 1237 个, 较上一阶段有较大增长。利用 Gephi 软件, 截选节点度为 4 及以上的专利主体绘制专利合作创新网络图, 如图 8 所示。

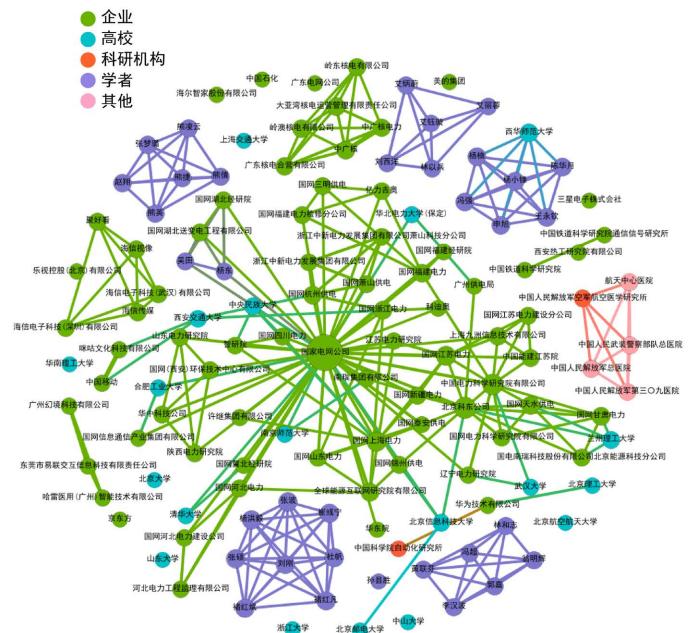


Figure 8. 2016~2022 collaborative innovation network in the field of virtual reality

图 8. 2016~2022 年虚拟现实领域合作创新网络

由图 8 可知, 第二阶段与第一阶段相比, 网络中的节点数目增多, 连线更加密集并且明显加粗, 各节点的大小和连线的粗细分布更加均匀。这表明, 虚拟现实领域合作创新网络与早期相比有了明显扩张, 节点的整体合作次数有所上升, 子网络的规模变得更为庞大, 各合作网络中的合作频次明显加大。本阶段创新主体类型占比发生明显变化, 企业成为了合作创新网络中最主要的创新主体, 国家电网公司作为企业仍然占据合作网络的核心位置, 这从某种意义上表明, 国企或大型企业在创新网络中具有进行广泛创新的优势, 它们可以紧跟国家政策, 并与科研机构、高校有着天然的紧密关系, 在创新成果转化方面有较强的实力。个人在创新主体类型的占比中降到了第二位, 而且大部分个人处于网络的边缘位置。高校在合作创新网络中的位置有了明显的提升, 大量高校积极参与到虚拟现实领域的专利创新研发中, 说明在本阶段高校凭借自身在科研创新、信息交流等方面的优势提高自身在网络中的位置。在合作创新网络中, 仍然只有较少的科研机构及其他类型主体参与其中, 说明该类主体在创新技术研发力和积极性等方面赶不上企业、个人和高校的脚步, 仍需要进一步扩大自主寻求合作专利创新的力度。

综上，随着创新主体数量与类型的变动，我国虚拟现实领域的合作创新网络的创新主体类型分布以企业为主导，企业不仅与高校、个人等建立了紧密合作，增强了创新辐射能力，也对推动虚拟现实领域专利合作发展做出了重大贡献。学者和高校在虚拟现实领域的合作创新网络中起到了重要作用，研究院等类型主体在虚拟现实领域合作创新网络中的地位有待进一步提升，需要巩固和加强与他人的合作，以更好地增强自身的研发创新能力，驱动自身发展。

4.3. 网络整体特征分析

通过分析对比两个阶段的整体特征指标来判断网络整体特征情况以及随着时间推移网络整体结构发生的变化。使用 UCINET 软件分别测算各阶段网络的网络规模、关系数、网络密度、网络关联度、平均度、平均路径长度、聚类系数等 7 个指标来进行具体分析，中国虚拟现实领域合作创新网络整体特征如表 1 所示。

Table 1. Overall characteristics of China's collaborative innovation network in the field of virtual reality
表 1. 中国虚拟现实领域合作创新网络整体特征

指标	2003~2015	2016~2022
网络规模	216	1237
关系数	251	1242
网络密度	0.011	0.003
网络关联度	0.032	0.049
平均度	2.324	2.008
平均路径长度	1.773	3.657
聚类系数	0.910	0.789

1) 网络规模与关系数。随着创新意识的普遍增强，我国虚拟现实领域的合作创新网络规模由最初的 216 增加到 1237，呈现出爆发性增长趋势，加入到合作创新网络中的创新主体也越来越多，为整个网络注入了更多的资源。从关系数来看，由 251 条增长至 1242 条，整体增长了约 5 倍。随着网络主体数量的增加，各创新主体之间的连接关系也逐渐增多，网络整体结构变得更为复杂。两个指标的同步增长表明我国虚拟现实领域的合作创新活动次数在不断增加，合作关系不断扩张。

2) 网络密度、网络关联度与平均度。随着网络规模的增大，网络密度随之降低，由最初的 0.011 降至 0.003，表明在我国虚拟现实领域的合作创新网络中，随着创新主体的增多，各创新主体合作联系不紧密。通过网络关联度与平均度可看出网络内节点的平均合作联络程度升高，说明网络中新增加的节点积极与更多的节点寻求合作关系，与越来越多的合作伙伴建立起联系，资源流动通道较为开拓。

3) 平均路径长度和聚类系数。2003~2015 年期间的网络聚类系数为 0.910，此阶段内部联系情况较为紧密，平均路径长度为 1.773，说明两两创新主体间平均需要大约 1.7 个中间主体就能产生联系。此阶段的网络集聚系数大于 0.1，平均路径长度小于 10，说明合作创新网络具有小世界性质[21]，网络结构分布表现出集团化的特点，信息资源的传递性比较强。随着时间推移，第二阶段的网络平均路径长度明显增加，由 1.773 上升到 3.657，聚类系数降至 0.789，虽然网络内部连接逐渐松散，但子网络内部仍然具有较高的紧密性，小世界性依旧存在。

综上，中国虚拟现实领域专利合作网络节点数量、网络关系不断增长，规模不断扩大，主体间专利

合作强度显著增强。合作网络密度总体较小，与网络规模间存在显著的负向关系。网络一直具有小世界性，创新联系不均衡问题较为突出。

4.4. 网络个体特征分析

对网络内具体节点进行个体特征分析。使用 UCINET 软件分别测算各阶段虚拟现实领域合作创新网络中各节点的中心度和结构洞，据此展现节点在网络中的位置情况，识别核心主体并分析其与网络中其他节点的连接合作情况与演变情况。

1) 2003~2015 阶段网络个体特征

使用 UCINET 软件，测算 2003~2015 年阶段内各主体的度中心度、接近中心度、中介中心度、结构洞限制度，选取度中心度排名前 20 名的节点，如表 2 所示。

Table 2. Individual characteristics of collaborative innovation networks in the field of virtual reality in China from 2003 to 2015
表 2. 2003~2015 年中国虚拟现实领域合作创新网络个体特征

排名	专利主体	度中心度	接近中心度	中介中心度	结构洞限制度
1	国家电网公司	13.488	0.543	2.023	0.11
2	李明	4.651	0.485	0	0.361
3	张明路	4.651	0.485	0	0.361
4	黄晓辰	4.651	0.485	0	0.361
5	陈建	4.651	0.485	0	0.361
6	陈怀东	4.651	0.485	0	0.361
7	林忠元	4.651	0.485	0	0.361
8	中广核检测技术有限公司	4.651	0.485	0	0.361
9	林戈	4.651	0.485	0	0.361
10	朱雪宏	4.651	0.485	0	0.361
11	王可庆	4.651	0.485	0	0.361
12	丁承君	4.651	0.485	0	0.361
13	吴优	3.256	0.478	0	0.493
14	刘景华	3.256	0.478	0	0.493
15	王彭石	3.256	0.478	0	0.493
16	殷耀玺	3.256	0.478	0	0.493
17	赵峰	3.256	0.478	0	0.493
18	刘宁	3.256	0.478	0	0.493
19	王帆	3.256	0.478	0	0.493
20	吴玉灏	3.256	0.478	0	0.493

由表 2 可知，在 2003~2015 年期间，排名前 20 的创新主体为个人和企业，个人占比最大，占据 90%，企业占据 10%。高校和科研机构等主体的专利数量相对较少，参与感较低，总体来看处于合作创新的劣势位置。国家电网公司、李明、张明路等主体的度中心度明显高于其他主体，表明在 2003~2015 年间以

上述主体为核心构成了合作子网络[22]。其中，国家电网公司的度中心度最高，同时也拥有最高的接近中心度和中介中心度，说明国家电网公司在网络中占据核心位置，与网络中其他创新主体的联系程度较高、网络中的影响力较大，对网络内整体资源控制力较强。结构洞限制度数据也说明国家电网公司位于网络的“桥”的位置，有利于获取更多资源从而进行探索式创新。

2) 2016~2022 阶段网络个体特征

利用 UCINET 软件，测算 2016~2022 年阶段内各主体的度中心度、接近中心度、中介中心度、结构洞限制度，选取度数中心度排名前 20 名的节点，如表 3 所示。

Table 3. Individual characteristics of collaborative innovation networks in the field of virtual reality in China from 2016 to 2022
表 3. 2016~2022 年中国虚拟现实领域合作创新网络个体特征

排名	专利主体	度中心度	接近中心度	中介中心度	结构洞限制度
1	国家电网公司	11.318	0.103	4.157	0.024
2	中国移动通信集团公司	1.536	0.103	0.528	0.181
3	北京科东电力控制系统有限责任公司	1.455	0.103	0.304	0.161
4	国网上海市电力公司	1.374	0.103	0.385	0.122
5	中国电力科学研究院有限公司	1.374	0.103	0.265	0.18
6	国网福建省电力有限公司	1.293	0.103	0.175	0.218
7	国网江苏省电力公司	1.051	0.103	0.159	0.254
8	中国广核集团有限公司	0.808	0.081	0.002	0.474
9	中国广核电力股份有限公司	0.808	0.081	0.002	0.495
10	国网浙江省电力公司	0.808	0.103	0.591	0.204
11	广东电网有限责任公司	0.728	0.081	0.005	0.196
12	华南理工大学	0.728	0.081	0.007	0.14
13	西安交通大学	0.728	0.103	1.000	0.214
14	广州幻境科技有限公司	0.647	0.081	0.003	0.41
15	清华大学	0.647	0.103	0.208	0.198
16	国网山东省电力公司	0.647	0.103	0.11	0.411
17	华北电力大学(保定)	0.647	0.103	0.212	0.267
18	国网江苏省电力公司电力科学研究院	0.566	0.103	0.655	0.408
19	国网浙江省电力公司杭州供电公司	0.566	0.103	0.476	0.428
20	北京理工大学	0.566	0.103	0.276	0.736

由表 3 可知，2016~2022 年期间，随着网络规模的扩张，网络内合作范围逐渐扩张，专利合作创新达到了较高水平，核心节点的创新主体类型有所变动。排名前 20 的创新主体为企业和高校，企业占比最大，占据 75%，高校占据 15%，此时个人和研究机构等主体处于合作创新的劣势位置。相较于上一阶段，专利主体的接近中心度普遍有所下降，说明网络规模的扩大导致创新主体之间直接合作联系减少。专利主体的中介中心度显著增加，表示有更多的主体对创新网络中其他主体及资源有了一定的控制能力。专

利主体的结构洞限制度降低，说明主体对资源的调动能力普遍增强。中国电网公司依旧占据合作创新网络的核心位置，成为持续性创新节点，掌握着网络中大部分资源。此外，中国移动通信集团公司、北京科东电力控制系统有限责任公司、国网上海市电力公司等企业也逐渐成长为网络的重要节点。华南理工大学、西安交通大学、清华大学等高校在创新网络中占据了一定地位，较大的促进了专利创新。

综上，在我国虚拟现实领域合作创新网络中，企业与高校担任着主力军角色，更多负责信息传播与成果扩散，其中企业与高校、研究院等主体建立了紧密合作，增强了创新辐射能力，对推动虚拟现实领域专利的合作创新做出了重大贡献。

5. 研究结论与建议

5.1. 研究结论

本文基于虚拟现实领域专利数据，构建虚拟现实领域合作创新网络，分析 2003~2022 年内两个时间窗口的网络特征及演化规律，对我国虚拟现实领域专利合作现状进行了初步讨论，得出以下结论。

1) 整体网络层面。随着虚拟现实领域的不断发展，虚拟现实领域合作创新网络规模在稳健上升，主体间专利合作强度增大，但合作强度较高的主体仍占少数。整体网络密度较低，主体间协同创新水平较低，尚未形成紧密的合作关系，各主体应与更多的主体建立更加密切的合作关系来提升网络运行的效率。合作创新网络的小世界性质较为明显，子网络的紧密程度相对较好，资源流通较流畅。

2) 个体网络层面。合作创新网络中的合作发展不均衡，各主体之间的中心度数据差距较大。国家电网公司是合作创新网络中各中心度指标排名第一的城市，遥遥领先其他主体，在网络中发挥着重要的辐射和桥梁作用，对网络中的资源有着较强的控制能力。中国移动通信集团公司、北京科东电力控制系统有限责任公司、国网上海市电力公司等主体在合作创新网络中心性指标均排名靠前，同样属于中心节点主体。除了国家电网公司以外，其他主体的中心度都较低，创新能力强的核心机构辐射带动作用有待进一步提升。

3) 专利主体层面。不同时期的合作网络特征显示，企业的合作网络核心地位不断凸显，以国家电网公司为首的企业尤为突出。企业在虚拟现实领域的创新中，不仅连接了高校，同时还与个人、研究所等其他机构建立了合作关系，因此在虚拟现实领域的合作机制中需要进一步提升企业的桥梁作用，将资源充分进行沟通，提升网络合作创新水平。随着高校创新能力的提升，越来越多的高校介入虚拟现实领域，在创新网络中占据了重要地位，推动了虚拟现实领域创新能力的不断提升。虽然有大量学者对虚拟现实展开研究，但是由于自身具有的资源有限，整体在网络中处于边缘位置，知识共享能力仍需提升。科研机构等其他主体的合作次数较低，在网络中处于劣势位置，合作创新意识需加强。

5.2. 研究建议

基于以上分析结果，对于我国虚拟现实领域合作创新如何进一步发展提出以下建议。

1) 优化合作创新网络结构。根据合作创新网络的整体性指标分析来看，尽管形成了较大的合作创新网络，但是主体间不够密切，不利于合作创新。政府应完善相关政策法规，积极落实各项创新政策，鼓励机构合作创新，逐步提升合作创新网络发育程度。此外，充分利用合作网络的小世界性质，促进创新资源在网络内自由流动，以便在网络中形成较为密切的合作关系。

2) 充分发挥网络核心节点的引领作用。国家电网公司、中国移动通信集团公司、北京科东电力控制系统有限责任公司等处于核心位置的主体，应充分发挥其在人才资源及科研设施方面的突出优势，扩大对其他处于劣势位置的网络组分的创新溢出，吸引更多相关机构加入到合作创新网络中，从而辐射引领其他主体实现创新发展，优化创新协调发展。

3) 促进主体协同创新。加强企业与其他类型主体的密切交流, 增强企业的主导地位。我国虚拟现实技术多掌握在企业手中, 政府可在政府立项、政策扶持、资金补助、税收优惠等方面予以倾斜, 鼓励企业突破现有合作模式的局限, 指导企业协同攻关, 实现多方协作利益最大化, 同时加大对实力较强的高校和个人的支持力度。学者群体的地位有所下降, 但高校后来居上, 逐渐占据网络中的重要地位, 应促进高校和个人积极参与到合作创新网络中, 并积极带动其他主体加入到合作创新网络中来。大部分科研机构在合作创新网络中参与程度较低, 科研机构应加强基础研发实力, 打破技术壁垒, 并积极吸收、融合和转化创新要素, 获取和整合自身所需的各种创新资源。科研机构也应与企业进行合作, 加快专利技术的应用转化, 开发虚拟现实应用市场。

基金项目

国家自然科学基金项目“数字文化产业创新生态系统价值共创研究: 动因、机制与演化”(编号: 72104137);

上海市青年科技英才扬帆计划项目“上海融合性数字产业‘卡脖子’技术甄选机制与攻关路径研究”(编号: 21YF1415900);

上海市软科学研究项目“面向上海未来产业培育的颠覆性技术识别及突破路径研究”(编号: 23692123100)。

参考文献

- [1] 陈玲, 林平, 段尧清. 产业链视角下结合 K-means 和 LDA 的专利技术主题挖掘与趋势分析——以虚拟现实技术为例[J]. 知识管理论坛, 2020(3): 135-146.
- [2] 张量, 金益, 刘媛霞, 等. 虚拟现实(VR)技术与发展研究综述[J]. 信息与电脑(理论版), 2019, 31(17): 126-128.
- [3] 杨青, 钟书华. 国外“虚拟现实技术发展及演化趋势”研究综述[J]. 自然辩证法通讯, 2021, 43(3): 97-106.
- [4] 李青长. 虚拟现实技术在非遗文化传承中的设计研究[J/OL]. 包装工程: 1-6.
<http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1094.TB.20230403.1447.004.html>, 2023-05-15.
- [5] 杜雨晨, 杨巧菊, 赵慧芳, 等. 虚拟现实技术在儿童肥胖防治研究中的应用进展[J]. 中国学校卫生, 2023, 44(1): 157-160.
- [6] 杨飞, 黄蓉, 徐为群, 等. 虚拟现实技术在护理专业技能训练中应用的范围综述[J]. 中华护理教育, 2022, 19(4): 318-324.
- [7] 贲疆鹏, 张旭. 虚拟现实技术在我国档案管理中的应用现状与优化分析[J]. 北京档案, 2022(12): 15-19.
- [8] 徐文彪, 许驰, 史洪岩, 等. 力触觉增强的虚拟现实工厂系统[J]. 应用科学学报, 2023, 41(1): 71-79.
- [9] 杨青, 钟书华. 基于技术辐射力视角的技术发展质量评价——中美日韩德 VR 技术发展质量比较研究[J/OL]. 科学学研究: 1-24. <https://doi.org/10.16192/j.cnki.1003-2053.20230103.001>, 2023-05-11.
- [10] 索引, 闫宏秀. 身体现象学视域下虚拟现实体验的生成及其增强效应[J]. 自然辩证法研究, 2023, 39(3): 82-90.
- [11] 杨文, 李霞. 从专利角度浅析 VR 产业的发展以及江西的现状[J]. 科技广场, 2020(4): 55-67.
- [12] 邓丛瑶, 罗珊. 基于 Incopat 的电梯群控专利技术分析[J]. 中国科技信息, 2023(7): 19-21.
- [13] 吕丹, 王等.“成渝城市群”创新网络结构特征演化及其协同创新发展[J]. 中国软科学, 2020(11): 154-161.
- [14] 苏屹, 赵璐, 张傲然. 中国石墨烯产业产学研合作创新网络特征分析及演化研究[J/OL]. 软科学: 1-17.
<http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1268.G3.20221108.1658.008.html>, 2023-05-15.
- [15] 李冰, 张纪海. 军民科技创新合作网络结构与演化——基于专利合作与社会网络实证分析[J]. 科技进步与对策, 2021, 38(21): 142-151.
- [16] 王燕玲. 基于专利分析的行业技术创新研究: 分析框架[J]. 科学学研究, 2009, 27(4): 622-628, 568.
- [17] 吴少鸿, 李文浩. 虚拟现实技术专利分析[J]. 中国科技信息, 2022(20): 15-18.
- [18] 孙中瑞, 樊杰, 孙勇. 群内和跨群双视角下成渝城市群合作创新网络时空演化研究[J]. 地域研究与开发, 2022,

- 41(1): 26-31, 44.
- [19] 张慧卿, 朱冬香, 张杰, 等. 京津地区部分高校技术创新能力探究——基于近 20 年专利视角的比较分析[J]. 中国高校科技, 2021(9): 81-84.
- [20] 李琳, 郭立宏, 杨敏利. 跨国合作创新网络演化及其影响因素研究——基于国际共同发明专利数据的实证分析 [J]. 经济问题, 2021(9): 119-129.
- [21] Valverde, S., Cancho, R.F. and Sole, R.V. (2002) Scale-Free Networks from Optimal Design. *Europhysics Letters*, **60**, 512-517.
- [22] 汤少梁, 刘美娴, 钱雨昕, 等. 基于专利数据的我国华东地区医产学研合作网络特征分析[J]. 科技管理研究, 2022, 42(16): 85-92.