



跨产业技术溢出识别与效应测度研究

——以无人机技术为例

吴菲菲 李睿毓 黄鲁成 李欣 米兰

(北京工业大学 经济与管理学院, 北京 100124)

摘要:首先阐述了“跨产业技术溢出”概念,以专利前后向引用数据作为衡量技术溢出的途径,跟踪跨产业技术溢出过程,构建动态网络把握跨产业技术溢出的方向,利用动态网络指标测度技术溢出程度与范围;借助技术影响力系数和产业感应度系数从技术与产业关联视角测度技术对产业的影响力。以无人机为例,结果表明:无人机核心技术集中于运输、控制、测量及计算机技术,主要吸纳电气工程和交通运输两大产业技术知识,而溢出到与软、硬件相关高技术产业,促进相关产业协同发展。

关键词:跨产业;技术溢出;专利引用;ORA;技术影响力系数

中图分类号:F062.4

文献标识码:A

文章编号:1002-0241(2018)06-0084-15

0 引言

伴随技术的复杂化和跨学科、跨领域趋势的出现,单一企业很难完全拥有进行复杂创新所需的全部技术知识和资源^[1],企业亟需从外部获取高技术低成本的知识型服务来弥补自身资源能力的不足^[2-3]。企业从外部有效获取技术资源,应建立在跨产业技术溢出分析和测度的基础之上。随着产业变革的加速推进,产业跨界融合发展愈发明显,越来越多的企业逐渐向其他产业扩展和渗透,进而产生跨产业的业务交叉和技术创新活动,从而使资源在大范围内得以优化配置,大大降低了产品和服务成本^[4]。

目前国内外学者关于技术溢出的研究,重点是关注跨区域的技术溢出效应测度,旨在研究技术溢出对区域间贸易^[5-6]、投资和经济发展的影响^[7-11]。区域间技术溢出研究固然重要,但某个产业的技术创新成果将会对其他产业的生产性创造产生巨大影

响^[12],尤其是高技术产业的跨产业溢出效应更加明显^[13]。某一个产业的知识和技术投入除了会促进本产业的技术发展外,还会通过溢出过程促进其他产业生产率的提升^[14]。因此,识别技术跨产业溢出并对溢出效应进行测度,是新兴技术不断涌现,产业间协同进化日趋明显的新形势下所面临的重要问题。跨产业技术溢出对于溢出知识的接受方(产业),可以低成本获得创新技术资源(技术知识),降低创新风险、提高研发效率,也可以对技术突变和技术轨道变更进行预警,减少颠覆性技术带来的负面影响;对于溢出知识的形成方(源技术产业)而言,跨产业的技术溢出扩大了其技术应用领域,增加了产业影响力,也使其具有改变产业竞争局面,获取竞争优势的潜力。技术跨产业溢出对于促进产业间协同发展也具有重要意义。

尽管未发现直接针对技术跨产业的溢出识别和

收稿日期:2017-07-14

基金项目:国家自然科学基金面上项目(71774009,71673018);北京工业大学第15届研究生科技基金重点项目(ykj-2016-00243)

第一作者简介:吴菲菲(1962—),女,北京人,北京工业大学,博士,教授,研究方向:技术与项目管理、技术未来分析、科技管理研究。

通信作者:李睿毓,1145685265@emails.bjut.edu.cn

效应测度的研究成果,但技术在区域间或组织间溢出的成果很丰富,研发方法归纳起来包括:技术流量法^[15-16]、技术距离法^[17]、生产函数法和文献追踪法^[18-19];研究数据主要依托区域面板数据或者投入产出数据。自Jaffe等提出利用企业专利引用数据可代表技术之间的流动后^[20],基于专利引用网络的技术溢出研究文献逐渐增加。有学者利用专利引用数据,尝试研究技术溢出的流向问题,胡健利用专利引用数据构建了石油天然气产业间技术流矩阵^[21],利用多维尺度分析方法判断技术流向,测度产业上下游的技术溢出水平;Dong H K采用专利前向引用数据^[22],利用二模矩阵量化了无人机技术产业溢出效应,识别出无人机关键技术和重点产业。尽管有学者分析了影响跨产业技术溢出的因素^[23],以及技术溢出对产业结构、产业集聚及全要素生产率的影响^[24-26]。但技术跨产业溢出的动态过程、溢出方向、溢出程度等还没有成熟有效的测度方法。已有利用专利引用网络对技术溢出的研究,也因只考虑前向或者后向引用数据而存在分析局限,即只能反映技术溢出过程中的知识来源产业或去向产业,不能揭示跨产业技术溢出的全过程。针对研究问题,本文综合考虑专利的前向引用和后向引用,力图呈现跨产业技术溢出的全过程,且在测度方法上结合动态网络发现溢出特征及规律。

本研究首先阐述了跨产业技术溢出的概念,利用专利前向及后向引用信息作为表征技术溢出的途径,从而构建跨产业技术溢出网络,跟踪技术跨产业溢出过程,识别技术跨产业溢出方向,利用动态网络指标测度技术跨产业溢出效应。其次,引入技术影响力系数和产业感应度系数,识别跨产业技术溢出中主要技术以及重点溢出技术的来源和接受产业,探讨技术跨产业溢出的特征。然后,依据跨产业技术溢出网络特征,把握技术跨产业溢出规律。最后,以无人机技术为例,说明技术跨产业溢出识别与效应测度方法的应用过程和研究结论。

1 相关概念界定

技术溢出指组织采用非交易方式(无需支付费用)从外部获取创新所需知识,以提高自身创新效率,降低研发成本^[27]。以知识为载体的技术溢出可利用专利引用关系反映或描述。跨产业技术溢出是对技术溢出发生在不同产业之间的现象的描述。定义跨产业技术溢出如下:某个产业中的技术创造者进行研发创新产生的系列成果,例如:创新产品,服务和技术知识,被其他产业中企业学习吸收(无需支付费用),从而提升企业生产效率,促进产业发展或产生突破性创新成果的过程。

技术跨产业溢出识别与测度的关键在于技术的产业归属和跨产业的定义。当源于A产业的技术被B产业吸收用于技术研发并形成创新成果时,则认为发生了跨产业的技术溢出。

2 理论框架与研究方法

专利作为科技创新成果的重要载体,蕴含了前沿的科技创新信息。专利引用是衡量技术知识流动的最佳指标,它提供了专利之间全面综合的联系信息^[28]。以专利数据作为研究数据来源,利用专利的前后向引用表征技术知识的溢出过程,后向引用技术归属产业代表技术来源产业,即技术的基础知识来源;前向引用技术归属产业代表技术的溢出接受产业,体现对技术知识的吸收整合过程。

首先利用集合论界定跨产业技术溢出研究中技术与产业领域,其次构建跨产业技术-产业溢出网络。接着利用动态网络对技术跨产业溢出过程进行可视化,并对跨产业溢出网络结构进行分析与测度,识别技术溢出范围。最后借助技术影响力系数和产业感应度系数对技术跨产业溢出效应进行测度,识别技术对产业的影响力。

2.1 利用集合论界定技术和产业领域

技术和产业领域界定是技术跨产业溢出识别和测度的前提,有助于跟踪技术跨产业溢出过程及变化。为了界定和识别的标准一致,采用国际知识产

权组织 WIPO (world intellectual property organization) 的技术领域与国际专利分类号 (IPC) 对照表作为划分技术领域的依据^[29], 该表划分了 5 个技术大类, 35 个技术细分类。将 IPC 与国际标准产业分类 (international standard industrial classification) 一致性表作为划分产业领域的依据^[30], 共划分了 25 个产业领域。

集合论是现代数学的基础, 由德国数学家康托尔在 19 世纪 70 年代创立。集合是具有某种共同性质的许多事物汇集成的一个整体, 其中每一个事物称为一个元素。图 1 借助文氏图表示集合之间的关系。如图分为 2 个全集: 技术集 T 和产业集 I , 分别代表全技术领域和全产业领域。技术集 T 由 m ($m = 35$) 个子技术领域组成, 即, $T = \{T_1, T_2, \dots, T_m\}$, 每个子技术领域相互独立, 而每个子技术领域又包含许多不同的 IPC 分类号, 即, $T_m = \{IPC_1, IPC_2, \dots, IPC_i\}$ 。同理, 产业集 I 包含 n ($n = 25$) 个子产业领域, 即, $I = \{I_1, I_2, \dots, I_n\}$, 每个子产业领域也相互独立, 子产业也由不同 IPC 分类号组成, 即, $I_m = \{IPC_1, IPC_2, \dots, IPC_i\}$ 。由于集合内部元素的独立性, 所以每个子技术领域包含不同的 IPC, 对于产业领域而言, 其中有个别 IPC 跨越不同的产业领域, 则按照概率比例分配到相应产业领域, 整体来看, 子产业领域之间仍然相互独立。这样便界定了技术和产业领域。

将集合运算性质运用于跨产业技术溢出研究, 若技术来源产业子集与技术溢出产业子集相同, 则为产业内溢出; 若技术来源产业子集与技术溢出产业子集不同, 则为跨产业技术溢出。设 I_1, I_2, I_3 为 3

个子产业, I_1 为技术来源产业:

若 $I_1 \cap I_2 = I_1$, 则为产业内溢出

若 $I_1 \cap I_2 = \emptyset$ 或者 $I_1 \cap I_3 = \emptyset$, 则为技术跨产业溢出, 该项技术溢出到了 I_2 和 I_3 对应子产业中。

2.2 跨产业技术溢出识别过程构建

界定完成技术与产业领域后, 构建技术跨产业溢出网络, 跟踪技术跨产业溢出过程。构建技术-产业双模式溢出网络, 首先要构建技术-产业双模式溢出矩阵, 再使用动态网络分析软件 ORA (organization risk analysis) 进行可视化网络设计。具体构建过程如下:

(1) 整理下载专利的 IPC 分类号与 WIPO 的技术领域对照表进行匹配, 将 IPC 对应归类到具体技术领域集合 T_m 中, 每个子技术领域对 IPC 归属进行加权计算, 整体构成技术全集 T 。

(2) 整理专利的 IPC 分类号与国际标准产业分类一致性表进行匹配, 将 IPC 对应归类到具体产业领域 I_n 中, 其中个别 IPC 同时归属于几个不同的产业领域, 则按照表中给出的概率比例分配到不同产业领域, 单个产业领域进行加权计算, 整体构成产业全集 I 。

(3) 以专利的 IPC 为媒介, 将匹配的技术领域与产业领域对应联系, 得到技术—产业矩阵, 其中行代表对应技术领域, 列代表相应产业领域。从而进一步构造技术—产业网络。

图 2 所示为 IPC 分别与技术领域和产业领域匹配详细示意图, 技术知识在技术和产业之间进行流动, 构造出技术-产业溢出矩阵, 如图 3 所示。图示代

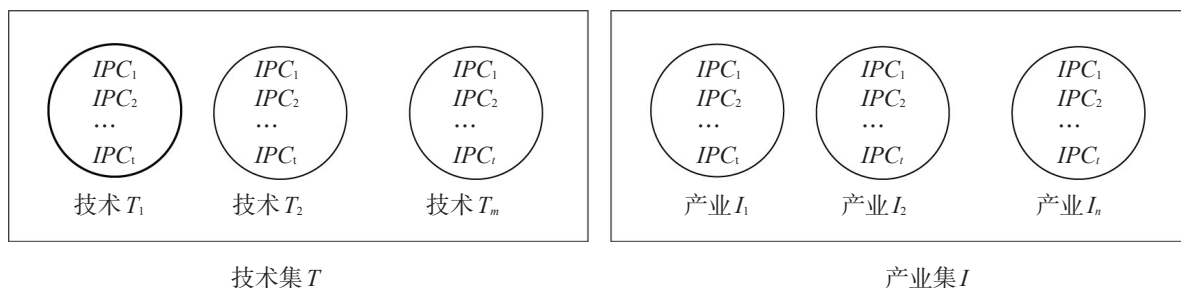


图1 技术和产业领域集合文氏图表示

表技术从来源产业溢出到受益产业整体分析框架。
再借助ORA构造技术—产业溢出网络。

2.3 跨产业技术溢出可视化及网络结构分析

动态网络(DNA,dynamic network analysis)分

析集成了社会网络(SNA)、关系分析(LA)以及多智能系统,能够处理大规模动态多模、多维度网络。网络中的实体包括人、资源、知识、任务、组织、位置、情境、行动、信仰或者角色。可通过不同实体之间的对

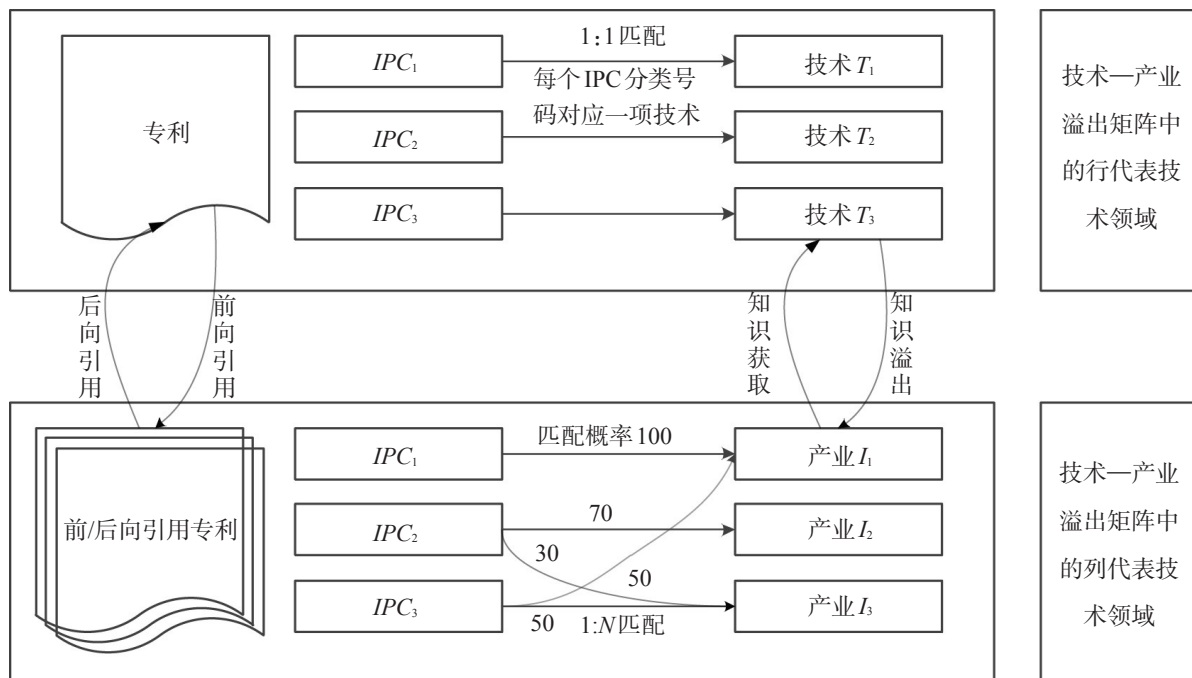


图2 IPC与技术和产业匹配示意图

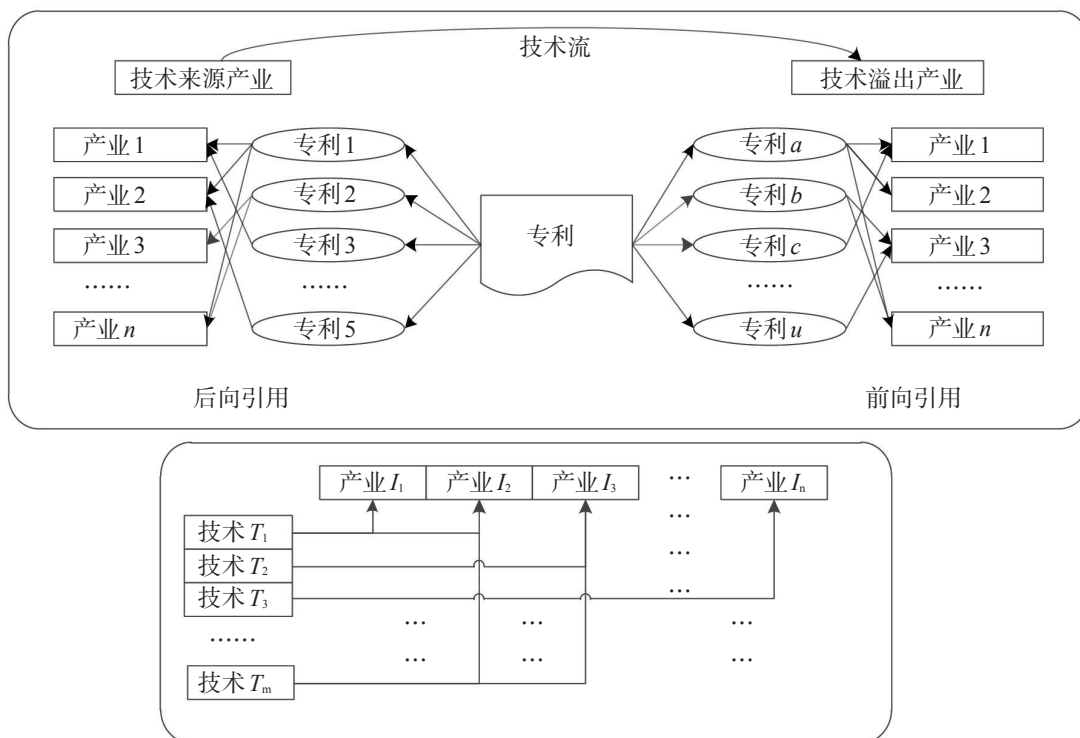


图3 技术—产业溢出矩阵构建示意图

应联系构建不同形式的动态网络^[31]。

技术跨产业溢出网络可视化,可将技术跨产业溢出过程清楚呈现,分析技术跨产业溢出网络结构特征,了解跨产业溢出网络中技术和产业扮演的角色及发挥的作用。从动态网络视角分析技术跨产业溢出网络特征,将当前技术视为研究主体(agent),后向视为技术来源产业,即资源(resource),构建技术—产业来源网络(agent×resource网络);前向视为技术溢出接受产业,即技术知识应用情境(event),构建技术—产业溢出网络(agent×event网络)。将2种不同的网络通过研究主体(技术)联系在一起,来表征技术的跨产业溢出过程。再利用动态网络分析指标对技术跨产业溢出网络进行测度分析。

能动性(capability)是动态网络中重要指标之一,指与网络中其他节点联系的紧密性,代表技术跨产业溢出的程度;枢纽中心性(centrality, hub),代表节点在网络中处于枢纽位置,即跟枢纽节点相联系的节点同时跟其他节点也拥有较强关联性,表示技术知识的一种广泛传播情况,反映出技术跨产业溢出的影响范围;独占性(exclusivity),说明节点代表的技术和产业具有高度专一性,一定角度反映出技术和产业仍有突破的空间,反应技术跨产业溢出的专业性。

2.4 跨产业技术溢出效应测度

跨产业技术溢出效应测度不仅是要分析溢出的程度,也要把握不同技术对不同产业的影响力。经济学中采用瓦西里·里昂惕夫创立的投入产出模型^[32],衡量经济活动中各个产业部门之间相互依存的数量关系。其核心是利用投入产出数据,通过影响力系数和感应度系数来分析国民经济各部门之间增加产出对其他生产部门投入需求情况。而技术跨产业溢出也存在各个产业对不同技术的需求感应,以及同一技术对不同产业的影响力等问题,故借鉴经济部门之间的投入产出思想,将这2个

系数经过调整迁移到评估技术和产业关联关系中,用于分析技术和产业之间的联系反馈情况,即技术影响力系数和产业感应度系数,用于识别技术跨产业溢出中核心影响力技术及重点受益产业。

2.4.1 跨产业技术溢出核心技术影响力测度

技术影响力系数指:产业发展对不同技术的需求依赖程度,即,技术对不同产业发展的影响程度。用于识别技术跨产业溢出中核心技术。技术影响力系数可用公式(1)计算。记技术影响力系数为:

$$E_i = \frac{\sum_{j=1}^m a_{ij}}{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (1)$$

式中: E_i 代表技术影响力系数, m 和 n 分别代表技术和产业全集, i 和 j 分别代表技术和产业子集, a_{ij} 代表技术—产业溢出矩阵中的数值, $\sum_{i=1}^m a_{ij}$ 分子表示各个技术对不同产业的供给值,计算时是技术—产业溢出矩阵第 i 行之和;分母表示各个产业部门对技术溢出投入的需求的平均值,计算时是技术—产业溢出矩阵所有行之和的平均值。技术影响力系数越大,说明该项技术对产业发展越来越重要,为重要溢出性技术。

2.4.2 跨产业技术溢出主要受益产业感应度测度

产业感应度系数为:产业接收不同溢出技术进行生产活动产生研发成果的程度,即,产业对不同技术吸纳反馈的能力。产业感应度系数可用公式(2)计算。记产业感应度系数为 F_j :

$$F_j = \frac{\sum_{i=1}^n a_{ij}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij}} \quad (2)$$

式中: F_j 代表产业感应度系数, m 和 n 分别代表技术和产业全集, i 和 j 分别代表技术和产业子集, a_{ij} 代表技术—产业溢出矩阵中的数值,分子 $\sum_{j=1}^n a_{ij}$ 表示各个产业对不同技术利用的反馈成果值,计算时是技

术—产业溢出矩阵第 j 列之和;分母表示各个产业部门对技术溢出吸纳并成果反馈的平均值,计算时是技术—产业溢出矩阵所有列之和的平均值。产业感应度系数越大,说明该产业为重要技术溢出接收产业,该产业具有包容性,吸纳不同技术,综合发展。

2.5 跨产业技术溢出研究方法步骤

(1) 数据收集。确定检索表达式,在 Derwent Innovation (原 Thomson Innovation) 专利数据库中检索与待研究技术相关的专利,从中提取待研究专利的前后向专利引用信息,获得具体 IPC 分类信息。

(2) 界定技术和产业领域。根据 WIPO 的 IPC-技术对照表以及 IPC—产业 MERIT 一致性对照表,确定专利所属技术和产业领域,作为跨产业技术溢出研究依据。

(3) 构建技术—产业溢出网络。根据上述技术和产业界定,将前后向引用专利 IPC 匹配到具体技术和产业领域,构建技术—产业溢出矩阵,再使用社会网络分析工具构建技术—产业溢出网络。

(4) 跨产业技术溢出识别与效应测度。分别从微观技术-产业溢出及研发主体2个角度识别技术跨产业溢出过程,测度技术溢出效应。

(5) 跨产业技术溢出分析结论与现实意义。具体流程如图4所示。

3 无人机技术跨产业溢出实证分析

无人机(UAV)是利用无线电遥控设备和自备的程序控制装置操纵的不载人飞机,被誉为“空中多面手”、“空中骄子”^[33]。无人机最早用于军事方面,例如隐形、预警、战斗等作战方面。在民用方面,无人机近来应用于搜索救援,监控,交通,农林等领域。作为航天科技,无人机技术是各个领域知识的一个组合,从人工智能到核心软件和硬件工程,其技术可以溢出到其他产业部门,促进先进技术的发展^[34]。无人机已成为物联网的延伸,成为 Sensor、AI、CV、AR/VR 等各项技术的载体。从市场层面来看,无人机相关技术代表着未来几年快速发展的技术领域^[35],越来越多的研究人员关注无人机技术的发展。因此,有必要研究无人机技术的溢出效应,把握无人机技术溢出方向,挖掘无人机关键技术以及受益产业,促进无人机技术相关产业获取外部技术知识,提高其生产效率,进而达到协同发展。

3.1 数据获取

本文选取 Derwent Innovation 数据库中美国专利商标局为数据来源。因为美国专利商标局在全球拥有最多的专利申请,因此,被视为是一个最具代表性的数据库,能较好的分析技术的本质,而且其提供引文信息。确定检索表达式为: SSTO = ((unmanned OR automatic OR autonomous) AND (air-

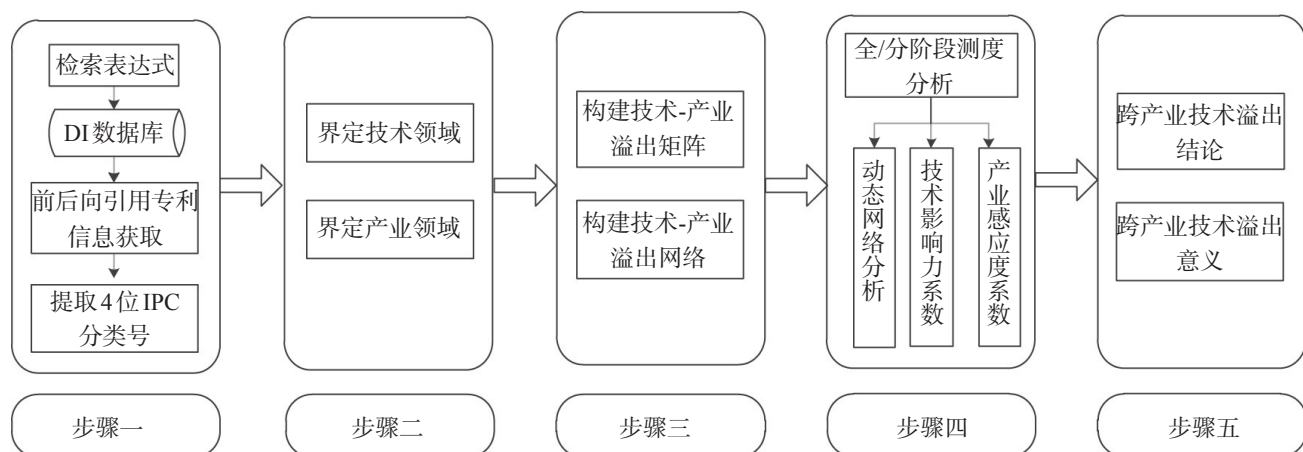


图4 跨产业技术溢出研究分析流程

craft OR “aerial vehicle*” OR airship* OR drone)) OR “UAV*”) AND DP > = (19950101) AND DP < = (20160606)。检索时间为2016年6月6日,共得到8 161条无人机专利,其前向引用专利共61 520条,IPC分类代码共115 765个,其中有443个不同的IPC分类代码;共获得135 981条后向引用专利,共278 237个IPC分类代码,其中有562个不同的IPC代码。表1和表2分别列出了无人机前后向引用中排名前10的IPC分类代码。

3.2 技术、产业领域界定

根据上述界定技术和产业的方法,分别将前后向引用专利整理后的115 765个和278 237个IPC归类到35个技术子领域和25个产业领域中,针对划分的技术来源产业和技术溢出产业分别界定。

其中35个技术领域和25个产业领域详情参见附表1~附表2。

3.3 跨产业技术溢出网络构建

利用Excel中的Vlookup函数功能对上述完成的界定进行技术和产业匹配,构造出技术—产业溢出矩阵,然后利用ORA软件构建技术跨产业溢出网络图。

3.4 跨产业技术溢出网络可视化及分析

无人机技术跨产业溢出网络如图5所示。图中圆圈代表无人机34个技术子领域,三角形代表无人机技术的23个来源产业(除木材和家具,公用事业产业),菱形代表无人机技术溢出的23个产业(除公用事业和农业),节点之间的连线表示技术和产业之间的关联,节点之间连线粗细表示技术和产业之间

表1 无人机技术前向引用专利高频IPC代码Top10

前向引用IPC代码	频次	含义
G06F	13 818	电数字数据处理
G05D	11 655	非电变量的控制或调节系统
G01C	8 721	测量距离、水准或者方位;勘测;导航;陀螺仪;摄影测量学或视频测量学
G08G	6 032	交通控制系统
B64C	4 693	飞机;直升飞机
G01S	4 613	无线电定向;无线电导航;采用无线电波测距或测速;采用无线电波的反射或再辐射的定位或存在检测;采用其他波的类似装置
B60W	2 951	不同类型或不同功能的车辆子系统的联合控制;专门适用于混合动力车辆的控制系统;不与某一特定子系统的控制相关联的道路车辆驾驶控制系统
G05B	2 931	一般的控制或调节系统;这种系统的功能单元;用于这种系统或单元的监视或测试装置
B64D	2 589	用于与飞机配合或装到飞机上的设备;飞行衣;降落伞;动力装置或推进传动装置的配置或安装
H04N	2 362	图像通信,如电视

表2 无人机技术后向引用专利高频IPC代码Top10

后向引用IPC代码	频次	含义
G05D	19 249	非电变量的控制或调节系统
G06F	18 026	电数字数据处理
G01C	14 421	测量距离、水准或者方位;勘测;导航;陀螺仪;摄影测量学或视频测量学
G01S	13 598	无线电定向;无线电导航;采用无线电波测距或测速;采用无线电波的反射或再辐射的定位或存在检测;采用其他波的类似装置
G08G	13 038	交通控制系统
B60R	9 693	不包含在其他类目中的车辆、车辆配件或车辆部件
B60W	7 581	不同类型或不同功能的车辆子系统的联合控制;专门适用于混合动力车辆的控制系统;不与某一特定子系统的控制相关联的道路车辆驾驶控制系统
B60K	7 445	车辆动力装置或传动装置的布置或安装;2个以上不同的原动机的布置或安装;辅助驱动装置;车辆用仪表或仪表板;与车辆动力装置的冷却、进气、排气或燃料供给结合的布置
B64C	7 437	飞机;直升飞机
B62D	7 358	机动车;挂车

的关系密切程度。通过分析技术跨产业溢出网络可知,无人机技术主要吸收电气工程和交通运输两大产业领域技术知识,溢出到与软、硬件相关高技术产业。虽然纸、印刷出版业、石油冶炼、基本金属等产业与无人机技术之间有溢出交流,但是处于网络结构的边缘部分。

计算跨产业技术溢出相关指标,挖掘溢出网络技术和产业角色特征,更好地把握溢出情况。通过能动性指标可知,其他消费品技术、环境技术、其他专用机械、化学工程、纺织和造纸技术等技术与其他产业之间有着较为广泛的联系,这些技术跨越多重产业领域,具有强技术溢出特性。从枢纽中心性来看,控制与测量技术,在无人机技术跨产业溢出过程中起到显著的桥梁作用。控制和测量技术溢出到仪器、电子工业、电子器械、其他公用产品,以及金属制品,其他机械等产业,同时,这些产业又吸纳了来自其他技术子领域的相关技术,促进了控制和测量技术的广泛传播,增强了技术跨产业溢出的影响力。从技术知识的独占性指标来看,运输技术和其他消费品技术凸显,其中,造船业、航空航天、其他交通运

输业只吸收利用运输技术来进行产业创新;橡胶以及塑料制品产业只吸收利用其他消费品技术进行产业创新。由于这些产业对专业性要求较强,所以对技术性能要求更为苛刻,此时,运输技术和其他消费品技术相对于其他技术显得尤为重要。随着产业技术融合的大趋势,相关产业也可以在原有技术基础上进行突破性创新。

从来源与溢出产业视角看,分析产业的独占性可知,电信技术、数字通信技术和半导体技术来自于电子工业,溢出到电子工业;高分子化学技术来自化学工业,又为该产业吸收学习。上述技术为产业基础性、专业性技术,主要发生产业内的溢出效应,促进产业良性发展。深入挖掘技术产业溢出网络可知:无人机技术关联性较强的产业间相互溢出,促进产业协同发展,而子技术 $T_1, T_{13}, T_{15}, T_{26}$ 对应领域发生了跨产业创新性技术溢出。电力机械技术 T_1 中电阻器技术溢出到电子工业产业 I_2 ;医疗技术 T_{13} 中无线传感器通信机器人技术溢出到电子器械产业 I_1 ;生物技术 T_{15} 中电磁声波处理微生物或酶技术被食品,饮料,烟草产业 I_6 吸收利用;机床技术 T_{26} 中特

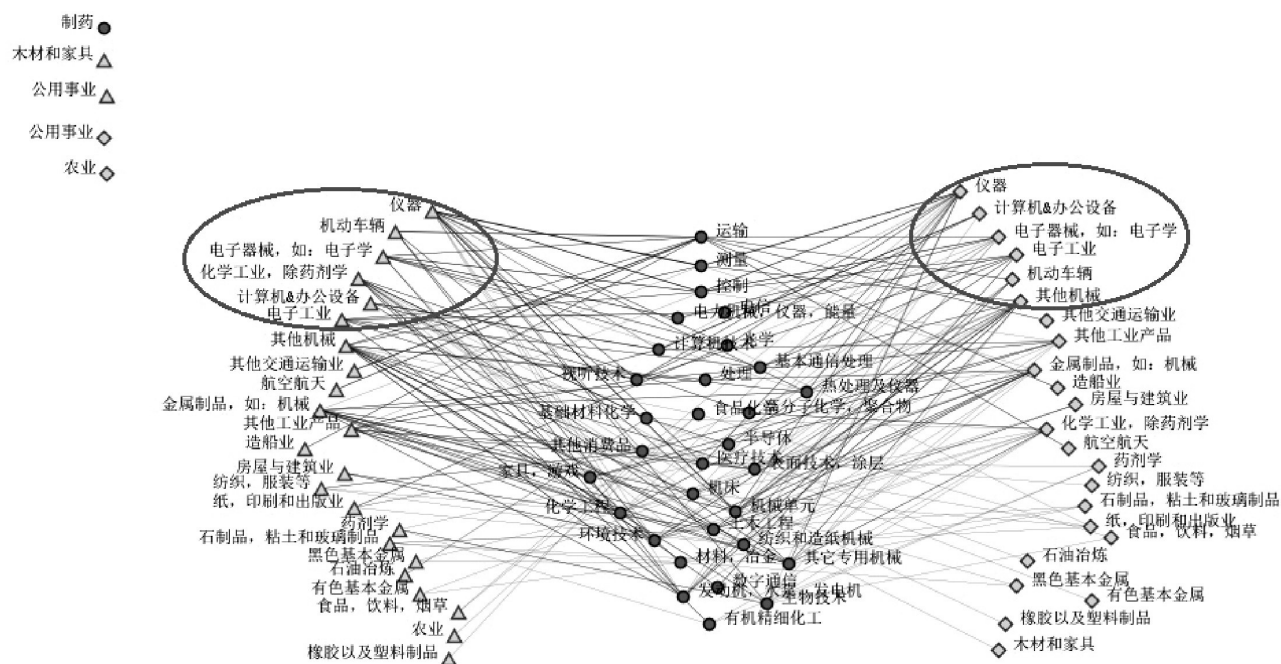


图5 无人机技术跨产业溢出网络

种木制品制造技术及成型材料预处理相关技术溢出到纸,印刷,出版业 I_{20} 和木材家具产业 I_{21} 中,促进相关产业产品开发制造。技术的跨产业溢出,丰富了企业外部获取知识资源的能力,为相关企业技术创新,产品改进,再创新获取更多技术竞争优势。

3.5 无人机跨产业技术溢出效应测度

3.5.1 无人机跨产业技术溢出全阶段效应测度

无人机技术跨越多个技术领域,除了传统航天技术外,还融合了电力,物理,运输等领域技术,广泛溢出到各个产业。本部分内容从技术与产业关系视角来看,计算无人机技术来源产业与溢出产业网络产业感应度系数和技术影响力系数,识别出无人机技术重要来源技术和产业及重要溢出接收技术与产业,把握不同技术对不同产业的影响力。再按照无人机技术发展划分阶段挖掘无人机技术溢出动态变化过程。

依据式(1)、式(2)对无人机技术跨产业溢出产业感应度系数和技术影响力系数进行测算。从技术影响力角度来看,运输、控制、测量、基础材料化学、计算机技术等为无人机核心技术,与其他多数产业具有较强关联性,一定程度上带动了其他关联性产业发展,具有较强的溢出效应。而控制、计算机技术、测量技术、运输、电信技术等为各个产业重要溢出接收技术。究其原因,可从无人机系统总体设计功能方面来解释。无人机系统核心技术集中于总体、动力、飞控系统3大方面,其中飞控系统是无人机实现自主飞行的核心技术,这就对飞控系统的硬件提出了较高要求,而飞控系统硬件一般包括控制计算机、传感器、导航设备等技术,所以无人机最核心的技术集中于控制、计算机、电气等产业领域。无人机动力系统主要由发动机,电池系统为其提供更持久的生存力。这就对材料以及化学产业的专业知识有极大需求。无人机总体设计与总装集成包括各个系统之间的接口配合,以及机身制造,需要来自机械,车辆等产业的技术支持。可见,随着信息技术的

发展,无人机有关人工智能类技术得到广泛溢出,促进相关产业迅速发展,并不是传统制造业技术得到广泛溢出。

从产业感应度角度来看,无人机技术主要来源于仪器、机动车辆、电子器械、化学工业等产业,说明无人机产品生产制造主要吸纳上述产业相关技术知识,作为无人机技术发展的基础知识来源产业;仪器、计算机&办公设备、电子器械、电子工业、机动车辆、其他机械产业为无人机技术重要溢出接收产业,这些产业吸纳无人机核心技术进行创新研究。其中,除了仪器产业外,计算机&办公设备产业受到无人机技术拉动作用较明显,同时,该产业技术知识的快速更迭和发展也促进了无人机相关技术及其他相关产业的创新发展。无人机技术广泛溢出到与软硬件相关的高技术产业,相关产业感知无人机技术的理念,并改进适用于本产业的发展,同时对无人机技术也产生正向反馈的作用。无人机技术及相关产业技术影响力系数及产业感应度系数如表3和表4所示。

3.5.2 无人机跨产业技术溢出分阶段效应测度

通过无人机的发展历程,划分为4个时间阶段,分别构建1995—2000年,2001—2005年,2006—2010年,2011—2016年4个时间阶段的技术跨产业溢出矩阵,对比研究4个不同时期无人机技术跨产业溢出变化过程,动态观测核心技术和受益产业的变化情况,识别无人机技术跨产业溢出趋势,锁定重点溢出技术和产业。1995—2000年,无人机在军事领域发挥了重大作用,处于平稳增长期。该时期,无人机技术跨产业溢出最为剧烈,有12个子领域发生了跨产业技术溢出,其中,控制,运输,测量技术溢出到多个产业,这些技术主要来自仪器,航空航天,计算机产业,主要溢出到电子器械以及电子工业等产业。2001—2005年,在经济效益和技术发展共同驱动下,无人机产业进入快速发展时期,其中运输技术,控制技术,测量技术仍为核心技术,主要在产业

内得到快速发展,产业内溢出较为强烈,这也反映出无人机产业发展对运输、控制、测量技术协同发展的强烈需要;此时,其他专用机械技术,机械单元相关技术跨产业溢出效应较为明显;仪器,计算机&办公设备,航空航天,其他机械产业吸收了无人机多种技术。尤其是其他机械产业类中武器部门,由于2002年波音和美国空军联合生产的X-45A作战飞机的试飞成功,影响了兵器部门的大力发展。电信,视听技术,数字通信技术在2006—2010年突显,溢出到其他高技术部门。2011—2016年,计算

机技术,控制,测量技术持续增加,由IPC—技术对照表可知,无人机相关IT方法主要用于特殊用途的数据处理方法和软件,由于人工智能的发展,无人机相关技术变为最核心的技术;电子器械,航空航天,机动车辆,电子工业,其他交通运输类产业得到较广泛溢出影响,交通运输类产业吸收无人机技术中人工智能,测控相关技术,大力发展运输产业。通过社会网络中度中心性计算,得到无人机技术不同阶段重要来源与溢出技术、产业Top10如附表3~附表6所示。

表3 无人机技术影响力系数

技术名称	来源技术	受益技术	技术名称	来源技术	受益技术
运输	8.233 212	4.350 092	环境技术	0.140 598	0.121 94
控制	5.860 221	8.796 377	基本通信处理	0.115 002	0.086 313
测量	5.048 576	6.348 656	其他消费品	0.106 721	0.078 6
基础材料化学	3.098 193	0.014 692	半导体	0.087 778	0.084 844
计算机技术	2.989 679	6.382 006	机床	0.081 074	0.071 768
发动机,水泵,发电机	1.494 394	0.795 18	生物技术	0.074 586	0.029 567
电信	1.295 684	1.522 778	热处理及仪器	0.058 926	0.070 923
视听技术	0.935 793	1.250 985	表面技术,涂层	0.036 593	0.029 493
电力机械,仪器,能量	0.858 065	0.622 921	高分子化学,聚合物	0.026 842	0.049 584
处理	0.685 002	0.667 143	纺织和造纸机械	0.025 907	0.012 084
机械单元	0.631 571	0.376 691	材料,冶金	0.023 446	0.012 121
其他专用机械	0.620 669	0.775 346	有机精细化工	0.011 488	0.021 174
家具,游戏	0.581 404	0.519 419	食品化学	0.003 587	0.001 102
医疗技术	0.569 91	0.320 569	管理中的IT处理方法	0	0
数字通信	0.488 251	0.845 498	生物材料分析	0	0
土木工程	0.339 838	0.377 055	制药	0	0
光学	0.316 892	0.225 515	微观结构和纳米技术	0	0
化学工程	0.160 354	0.139 57			

表4 无人机产业感应度系数

产业名称	来源产业	溢出产业	产业名称	来源产业	溢出产业
仪器	7.040 131	9.388 837	纺织,服装等	0.017 537	0.011 543
机动车辆	2.620 026	1.600 905	纸,印刷和出版业	0.014 302	0.006 296
电子器械,如:电子学	2.474 784	2.900 319	药剂学	0.014 212	0.016 331
化学工业,除药剂学	2.271 869	0.102 224	石制品,粘土和玻璃制品	0.010 141	0.008 71
计算机&办公设备	2.130 698	4.501 645	黑色基本金属	0.005 434	0.001 312
电子工业	2.016 024	2.550 687	石油冶炼	0.004 452	0.001 312
其他机械	1.947 496	1.592 615	有色基本金属	0.003 453	0.000 525
其他交通运输业	1.778 815	1.003 485	食品,饮料,烟草	0.001 999	0.004 565
航空航天	1.360 708	0.096 23	农业	0.000 545	0
金属制品,如:机械	0.485 617	0.367 918	橡胶以及塑料制品	0.000 136	0.000 262
其他工业产品	0.369 211	0.404 437	木材和家具	0	0.000 262
造船业	0.302 133	0.282 55	公用事业	0	0
房屋与建筑业	0.130 269	0.157 026			

无人机经历了不同发展阶段逐渐趋于成熟。无人机核心技术始终聚焦于运输、控制、测量技术,是无人机技术的基础部分。随着技术发展和时间的推进,计算机技术,电信技术,发动机等技术也逐渐成为核心技术之外的重要技术,支撑无人机飞控系统的运行发展,而这些关键技术也成为无人机跨产业溢出重要吸纳技术。从产业归属角度来看,无人机技术起初主要来源于仪器和航空航天产业,无人机发展初期是为了纯粹的军事用途,重点解决的是无人机能够飞行的问题,所以主要吸收航空航天产业飞行技术,解决飞行难题。随着军用领域技术的突破,无人机在原有产业基础上又吸纳机动车辆相关产业电力机械技术以及电子工业领域电子类技术,不断改善无人机技术发展。随着电子信息技术的不断发展,计算机技术涌现,为无人机更高的飞行性能、更好的可靠性保障提供了条件。同时,这些技术除了促进原产业的发展,大量溢出到计算机,电子工业及交通运输,乃至船舶业,结合无人机先进技术,朝着更加智能化方向发展。

3.6 无人机跨产业技术溢出研究结果

通过研究发现,无人机技术知识具有一定复杂性,呈现出明显的跨产业创新的特点。无人机集成了众多子技术,体现了无人机领域突破性创新难以依靠单独一家企业实现,需要整个无人机产业链企业乃至跨产业获取相关技术支撑,依靠产业间技术溢出建立起产业间关联,从而协同创新。从技术产业关联视角,整体研究可知:无人机核心技术集中于控制,计算机,测量等核心技术层面;无人机技术跨越了23个产业领域,主要吸纳了电气工程和机动车辆两大产业技术知识,技术溢出强度较大,在网络中处于核心地位;虽然纸,印刷出版业,石油冶炼,基本金属等产业与无人机技术之间有溢出交流,但是处于网络结构的边缘部分。无人机技术主要溢出到与软硬件相关的高技术产业如:仪器,计算机办公,电子电气等产业,这与无人机核心功能运转实现息息

相关。

无人机跨产业技术溢出呈现动态变化特点。从跨时间阶段来看,1995—2000年无人机技术跨产业溢出最明显,其中有12个子技术领域发生了跨产业溢出;2001—2005年,运输、控制、测量为主要溢出技术,仪器、计算机&办公设备、航空航天为主要受益产业;2006—2010年主要发生产业内溢出,电信、视听技术、数字通信技术突显;无人机技术主要受益于产业内上下游或者相关企业;2011—2016年,由于人工智能的发展,无人机相关技术变为最核心的技术。计算机技术、控制、测量技术持续增加,电子器械、航空航天、机动车辆、电子工业等得到广泛溢出。未来,无人机的创新将会发生在软件方面,不断提升无人机的飞行控制性能,与无人机相关的计算机技术溢出效应会持续增长。

4 研究结论与展望

本研究的主要学术贡献是:阐述了“跨产业技术溢出”概念,综合运用专利前后向引用信息表征技术跨产业溢出的过程,提出了跨产业技术溢出的测度方法。该方法可以清晰地识别跨产业技术溢出的方向、范围,有效地判断跨产业技术溢出网络中的关键节点,揭示产业内和跨产业溢出技术的属性特征,从而丰富了技术溢出测度的研究内容和测度方法。针对无人机技术的跨产业技术溢出实证研究,不仅验证了方法的可行性,也得到了如下结论:

(1) 专业性较强、独占性较高的技术更容易发生产业内技术溢出:如运输技术、其他消费品技术、半导体技术;

(2) 基础性技术或者产业交叉性技术更容易发生跨产业溢出,如环境技术、其他专用机械、化学工程、纺织和造纸技术;

(3) 技术相似度较高或者产业相似度较强的产业之间较易发生跨产业的技术溢出,如电子器械与电子工业产业之间;

(4) 人工智能技术(计算机等技术)跨产业溢出趋势更加明朗,随着信息化技术的发展,人工智能技术逐渐渗入到各个产业的发展中。

本研究将在如下两方面做进一步探讨。一是,考虑专利引用的直接性与间接性问题。受数据可得性和可分析性的限制,本文仅分析了目标专利的前后向直接引用关系,未来可将多层间接引用关系对跨产业技术溢出的作用做进一步分析。二是,基于跨产业技术溢出测度分析跨产业研发合作的问题。本文只解决了跨产业技术溢出的测度,接下来将进一步讨论跨产业研发合作的方向识别和伙伴选择问题。

参考文献

- [1] 陈劲,吴波. 开放式创新下企业开放度与外部关键资源获取[J]. 科研管理,2012,33(9):10-21.
- [2] Hung K P, Chiang Y H. Open innovation proclivity, entrepreneurial orientation, and perceived firm performance[J]. International Journal of Technology Management, 2010,52(4):257-274.
- [3] 王晓亚. 知识密集型产业协同发展与企业技术创新:作用机理与实证研究[J]. 科学学与科学技术管理,2017,38(4):96-104.
- [4] 毛蕴诗,李田. 行业边界模糊背景下的跨产业升级与S-O-S模型:基于乔布斯苹果成功实践的理论提炼[J]. 中山大学学报(社会科学版),2014,54(2):184-191.
- [5] Luh Y H, Jiang W J, Huang S C. Trade-related spillovers and industrial competitiveness: Exploring the linkages for OECD countries[J]. Economic Modelling, 2016(54):309-325.
- [6] Parrado R, Cian E D. Technology spillovers embodied in international trade: Intertemporal, regional and sectoral effects in a global CGE framework[J]. Energy Economics, 2012,41(1):76-89.
- [7] Daniel S, Munteanu A C. Knowledge spillovers of FDI[J]. Procedia Economics & Finance, 2015(32):1093-1099.
- [8] Salim A, Razavi M R, Afshari-Mofrad M. Foreign direct investment and technology spillover in Iran: The role of technological capabilities of subsidiaries[J]. Technological Forecasting & Social Change, 2017,122(C):207-214.
- [9] Ha Y J, Giroud A. Competence-creating subsidiaries and FDI technology spillovers[J]. International Business Review, 2014,24(4):605-614.
- [10] Zhang C, Guo B, Wang J. The different impacts of home countries characteristics in FDI on Chinese spillover effects: Based on one-stage SFA[J]. Economic Modelling, 2014(38):572-580.
- [11] 林进智,郑伟民. FDI促进内资技术创新产生溢出效应的实证研究[J]. 科研管理,2013,34(11):27-35.
- [12] Griliches Z. Issues in assessing the contribution of research and development to productivity growth[J]. Bell Journal of Economics, 1979,10(1):92-116.
- [13] Henderson V, Kuncoro A, Turner M. Industrial development in cities[J]. Journal of Political Economy, 1995, 103(5):1067-1090.
- [14] 关爱萍,李辉. 区际产业转移行业间技术溢出效应研究[J]. 中国科技论坛,2013(11):41-47.
- [15] Verspagen B, Loo I D. Technology spillovers between sectors and over time[J]. Technological Forecasting and Social Change, 1999,60(3):215-235.
- [16] Dietzenbacher E. Spillovers of innovation effects[J]. Journal of Policy Modeling, 2000,22(1):27-42.
- [17] Jaffe A B, Henderson R. Geographic localization of knowledge spillovers as evidenced by patent citations[J]. Papers, 1992,108(3):577-598.
- [18] 韩颖,王艳辉,高东伟. 中国三次产业间R&D溢出效应纵向比较分析[J]. 东北大学学报(自然科学版),2009,30(4):605-608.
- [19] Hu A G Z, Jaffe A B. Patent citations and international knowledge flow: The cases of Korea and Taiwan[J]. International Journal of Industrial Organization, 2001, 21(6):849-880.
- [20] Jaffe A. Technological opportunity and spillovers of R&D: Evidence from firms' patents, profits and market value[J]. American Economic Review, 1986,76(5):

- 984-1001.
- [21] 胡健,印玺. 基于专利引用的技术流矩阵的分析:对石油天然气产业技术溢出效应的测度[J]. 科学学研究,2010,28(12):1843-1848.
- [22] Dong H K, Bo K L, Sohn S Y. Quantifying technology-industry spillover effects based on patent citation network analysis of unmanned aerial vehicle (UAV)[J]. Technological Forecasting & Social Change, 2016(105): 140-157.
- [23] 张德功. 中国区域间技术溢出效应的实证研究[D]. 大连:大连理工大学,2011.
- [24] 王信敏,丁浩. 产业间技术溢出、能源结构调整与产业生态化:基于我国工业部门的经验研究[J]. 软科学,2017,31(6):10-14.
- [25] Tientao A, Legros D, Pichery M C. Technology spillover and TFP growth: A spatial Durbin model[J]. International Economics, 2016,145(1):21-31.
- [26] 李宇,王俊倩. 产业集群技术溢出的正向利用机制与创新绩效:兼论如何减小技术模仿等负效应[J]. 经济管理, 2015(3):23-32.
- [27] Maskus K E. Encouraging International Technology Transfer[R]. Geneva: ICTSD-UNCTAD, 2004.
- [28] Criscuolo P, Verspagen B. Does it matter where patent citations come from? Inventor vs examiner citations in European patents[J]. Research Policy, 2008, 37(10):1892-1908.
- [29] Schmoch U. Concept of a Technology Classification for Country Comparison: Final Report to the World Intellectual Property Organisation[R]. Karlsruhe: Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research, 2008.
- [30] Verspagen B, Van Moergastel T, Slabbers M. MERIT Concordance Table: IPC-ISIC (rev.2) [R]. Maastricht: UNU-MERIT, 1994.
- [31] Carley K M, Reminga J, Storrick J, et al. ORA User's Guide 2013[R]. Pittsburgh: Institute for Software Research, Carnegie Mellon University, 2013.
- [32] 佚名. 1973年诺奖得主瓦西里·里昂惕夫简介[J]. 国有经济评论,2011,3(2):144-146.
- [33] 张健东,刘强,曹德斌. 无人机技术中国专利分布情况及其专利情报运用[J]. 国防科技,2013,34(5):75-80.
- [34] Park Y, Lee S, Lee S. Patent analysis for promoting technology transfer in multi-technology industries: The Korean aerospace industry case[J]. Journal of Technology Transfer, 2012,37(3):355-374.
- [35] Finn R L, Wright D. Unmanned aircraft systems: Surveillance, ethics and privacy in civil applications[J]. Computer Law & Security Report, 2012,28(2):184-194.

Research on Technology Spillover Identification and Effect Measurement in Cross Industry: Taking UAV Technology as an Example

WU Feifei, LI Ruiyu, HUANG Lucheng, LI Xin, MI Lan

(Beijing University of Technology, School of Economics and Management, Beijing 100124, China)

Abstract: Firstly, it clarifies concept of cross-industry technology spillover. Then, it uses patent forward and backward citation data as a means of measuring technology spillover, to track the process of technology cross-industry spillover and construct the dynamic network and grasp the direction of technology spillover, as well as uses the dynamic network index to measure the degree of technology spillover and its scope. Lastly, it measures the influence of technology on the industry, and uses technology influence coefficient and industry sensitivity coefficient from the perspective of technology and industry linkage. Taking UAV as an example, the results of the study show that the core technologies of UAV are focused on transportation, control, and measurement and computer technology. It mainly absorbs the technical knowledge from two major industries, such as electrical engineering and transportation, and spills to high-tech industry which is relevant to software and hardware, promoting the coordinated development of related industries.

Key words: cross industry; technology spillover; patent citation; ORA; technology influence coefficient

表1 35个技术子领域

I_1 : 电力机械, 仪器, 能量	I_8 : 半导体	I_{15} : 生物技术	I_{22} : 微观结构和纳米技术	I_{29} : 其他专用机械
I_2 : 视听技术	I_9 : 光学	I_{16} : 制药	I_{23} : 化学工程	I_{30} : 热处理及仪器
I_3 : 电信	I_{10} : 测量	I_{17} : 高分子化学, 聚合物	I_{24} : 环境技术	I_{31} : 机械单元
I_4 : 数字通信	I_{11} : 生物材料分析	I_{18} : 食品化学	I_{25} : 处理	I_{32} : 运输
I_5 : 基本通信处理	I_{12} : 控制	I_{19} : 基础材料化学	I_{26} : 机床	I_{33} : 家具, 游戏
I_6 : 计算机技术	I_{13} : 医疗技术	I_{20} : 材料, 冶金	I_{27} : 发动机, 水泵, 发电机	I_{34} : 其他消费品
I_7 : 管理中的IT处理方法	I_{14} : 有机精细化工	I_{21} : 表面技术, 涂层	I_{28} : 纺织和造纸机械	I_{35} : 土木工程

表2 25个产业领域

S_1 : 电子器械, 如: 电子学	S_6 : 造船业	S_{11} : 有色基本金属	S_{16} : 食品, 饮料, 烟草	S_{21} : 木材和家具
S_2 : 电子工业	S_7 : 机动车辆	S_{12} : 金属制品, 如: 机械	S_{17} : 纺织, 服装等	S_{22} : 其他
工业产品				
S_3 : 化学工业, 除药剂学	S_8 : 航空航天	S_{13} : 仪器	S_{18} : 橡胶以及塑料制品	S_{23} : 农业
S_4 : 药剂学	S_9 : 其他交通运输业	S_{14} : 计算机&办公设备	S_{19} : 石制品, 粘土和玻璃制品	S_{24} : 公用事业
S_5 : 石油冶炼	S_{10} : 黑色基本金属	S_{15} : 其他机械	S_{20} : 纸, 印刷和出版业	S_{25} : 房屋与建筑业

表3 1995—2000年

无人机溢出技术(出度中心性)	无人机溢出受益技术(入度中心性)	无人机来源产业(出度中心性)	无人机溢出受益产业(入度中心性)
控制(0.045)	运输(0.045)	仪器(0.061)	仪器(0.653)
运输(0.043)	控制(0.045)	航空航天(0.022)	电子器械,如:电子学(0.134)
测量(0.037)	测量(0.037)	计算机&办公设备(0.01)	电子工业(0.009)

表4 2001—2005年

无人机溢出技术(出度中心性)	无人机溢出受益技术(入度中心性)	无人机来源产业(出度中心性)	无人机溢出受益产业(入度中心性)
运输(0.067)	运输(0.055)	仪器(0.06)	仪器(0.752)
控制(0.05)	控制(0.051)	航空航天(0.027)	电子器械,如:电子学(0.198)

表5 2006—2010年

无人机溢出技术 (出度中心性)	无人机溢出受益技术 (入度中心性)	无人机来源产业 (出度中心性)	无人机溢出受益产业 (入度中心性)
运输(0.064)	运输(0.046)	仪器(0.051)	仪器(0.46)
控制(0.04)	控制(0.041)	机动车辆(0.021)	计算机&办公设备(0.28)
测量(0.037)	计算机技术(0.038)	电子器械,如:电子学(0.018)	电子器械,如:电子学(0.016)
计算机技术(0.016)	测量(0.028)	其他机械(0.015)	电子工业(0.013)
发动机,水泵,发电机(0.012)	视听技术(0.008)	电子工业(0.015)	航空航天(0.012)
电信(0.009)	发动机,水泵,发电机(0.007)	其他交通运输业(0.015)	机动车辆(0.011)
视听技术(0.006)	电信(0.006)		
	计算机&办公设备(0.012)	其他机械(0.01)	
电力机械,仪器,能量(0.006)	电力机械,仪器,能量(0.004)	航空航天(0.012)	其他交通运输业(0.008)
其他专用机械(0.005)	其他专用机械(0.004)	金属制品,如:机械(0.004)	造船业(0.002)
处理(0.004)	数字通信(0.003)	造船业(0.003)	其他工业产品(0.002)

表6 2011—2016年

无人机溢出技术(出度中心性)	无人机溢出受益技术(入度中心性)	无人机来源产业(出度中心性)	无人机溢出受益产业(入度中心性)
运输(0.064)	运输(0.065)	仪器(0.056)	仪器(0.55)
控制(0.045)	控制(0.056)	机动车辆(0.022)	计算机&办公设备(0.27)
测量(0.037)	计算机技术(0.037)	电子器械,如:电子学(0.021)	电子器械,如:电子学(0.02)
计算机技术(0.026)	测量(0.031)	计算机&办公设备(0.02)	航空航天(0.02)
发动机,水泵,发电机(0.012)	发动机,水泵,发电机(0.007)	其他机械(0.016)	机动车辆(0.015)
电信(0.011)	视听技术(0.007)	其他交通运输业(0.014)	电子工业(0.014)