

钮亮.浙江省产学研合作网络形成机理——基于指数随机图模型的分析[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2020,35(4):74-82. doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2020.04.011

Niu L. The Formation Mechanism of Industry-University-Research Cooperation Network in Zhejiang Province—An Analysis Based on Exponential Random Graph Model [J]. Journal of Hunan University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2020,35(4):74-82. doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2020.04.011

浙江省产学研合作网络形成机理 ——基于指数随机图模型的分析

钮亮*

(中国计量大学 经济与管理学院, 浙江 杭州 310018)

摘要:分析产学研合作网络的成因有助于促进产学研合作,提高创新产出的效率.文章以 2018 年浙江省高校、研究机构和企业的专利数据构建产学研合作网络,使用指数随机图模型对整个网络的成因进行分析.研究发现产学研网络是一个小世界网络.最优模型中内生性结构的加权边共享伙伴贡献率提升 0.59,加权重度分布贡献率提升 0.94.外生协变量中地理同配性贡献率提升 0.8,产学研类型中高校贡献率提升 0.61,研究机构贡献率降低 0.31,公司贡献率降低 0.22,节点专利数量贡献率提升 0.5.

关键词:产学研合作;高校专利;指数随机图模型;小世界网络

中图分类号:F091.354 文献标志码:A 文章编号:1672-9102(2020)04-0074-09

The Formation Mechanism of Industry-University-Research Cooperation Network in Zhejiang Province—An Analysis Based on Exponential Random Graph Model

Niu Liang

(School of Economics & Management, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Analyzing the causes of the industry-university-research cooperation network is helpful to provide references for the future development direction of industry-university-research cooperation, promote the industry-university-research cooperation, and improve the conversion rate of industry-university-research patents. The patent data of 2018 industry-university-research in Zhejiang Province as an example was taken to construct the industry-university-research cooperation network, and the exponential random graph model was used to study and the causes of the entire network were analyzed. The results indicated that the industry-university-research network is a small-world network, in the optimal model, the contribution rate of the weighted edge sharing partner improves 0.59, and the contribution rate of the weighted degree distribution improves 0.94. Among exogenous covariables, contribution rate of the same city improves 0.8, that of universities improve 0.61, that of research institutions declines 0.31, that of companies declines 0.22, and that of patents improves 0.5.

收稿日期:2019-11-20

基金项目:国家社科基金资助项目(18BJL102)

*通信作者,E-mail: niutyut@126.com

Keywords: industry – university – research cooperation; university patent; exponential random graph model; small-world networks

产学研合作作为一种推动经济与技术结合的发展模式,一直是产业界、学术界关注与研究的热点话题.现有研究集中在协同创新^[1]、知识转移^[2]、组织学习^[3]、创新绩效^[4]、创新性人才培养^[5]等领域.由于产学研涉及各个组织机构的合作关系,因此,社会网络分析方法成为大多数研究的首选.现有产学研文献中运用的社会网络方法多以描述性为主,如利用网络规模、网络密度、网络中心势、小世界性以及结构洞等指标对产学研网络进行测度^[6-7],但探究产学研合作成因的研究并不多见,一些有关产学研合作的成因分析也主要以描述性为主^[8].

近年来发展的指数随机图模型(ERGM)将外生协变量和内生性结构结合起来对网络的成因进行定量测度,适合应用于对产学研合作的成因分析^[9].指数随机图模型作为一种工具,主要运用考察网络的形成机制,已经得到了大量的应用,有将指数随机图模型应用到创新网络的形成机理的分析检验^[10],有采用指数随机图模型从网络嵌入视角探讨专利技术扩散路径间存在的相关性^[11],但现有研究很少将指数随机图模型与产学研合作网络结合起来分析其成因.本文利用指数随机图模型对浙江省产学研合作网络的成因进行分析,拓展社会网络分析理论在产学研网络研究中的应用,为探究产学研合作的量化分析提供可行性.

1 指数随机图模型与数据分析

1.1 浙江省产学研网络构建及描述性分析

产学研合作模式一直以来受到国家的重视,通过此种模式进行人才培养、促进科研成果转化,为企业带去利益,最终达到高校、企业和科研机构三方共赢的目的.其中专利是反映产学研合作程度的一个重要指标,通过考察高校、企业和科研机构合作专利的情况来分析地方高校在产学研中的主导作用.登录中国专利信息网,构建浙江省高校列表,通过 Python 编制爬虫程序获取 2018 年的专利数据,记录所有专利数量(包括合作专利),最终选取专利数量排名前 10 的高校作为研究对象.在高校所有专利数据的基础上删去只有“**大学”的非合作专利的相关数据,剩下的就是本次研究所需的合作专利数据.按专利数排名依次包括以下高校:浙江大学(4 845),浙江工业大学(3 254),杭州电子科技大学(1 413),温州大学(1 200),中国计量大学(1 119),浙江理工大学(1 113),宁波大学(769),浙江工商大学(593),绍兴文理学院(540),浙江科技学院(262).由于本次研究的是高校产学研合作,只要涉及高校同其他组织的合作成果都在我们研究的数据范围内,即本次的专利数据中非有效专利也包括在内^[12].

由于产学研网络是 3 种类型组织的结合,网络可视化分“高校”“研究机构”“公司”3 种类型.浙江省 2018 年产学研网络可视化见图 1,其中圆圈为高校,三角形为研究机构,五角星为公司.从分布上大致可以看出这 3 种类型组织的集聚情况,发现研究机构和公司都是围绕高校展开的.

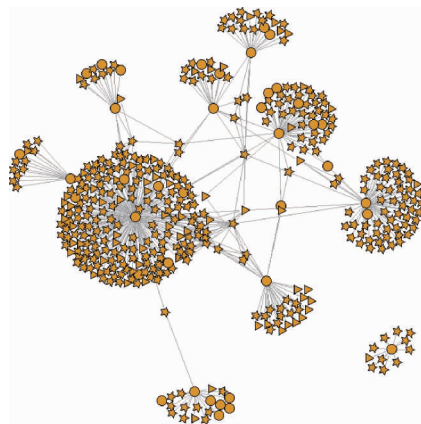


图 1 浙江省 2018 年产学研网络

从可视化结果来看,浙江省 2018 年产学研网络有明显的集聚情况.使用 R 语言生成一个同等节点数

和密度的随机网络,见表1.如果随机网络与观察网络的聚合系数比值大于它们平均路径长度比值的话,则观察网络是小世界网络^[10].从表1中的数据可知:由于聚合系数比值13远大于平均路径长度比值0.55,因此,产学研网络是小世界网络.小世界网络具有大的聚合系数,而平均路径长度很小,在这样的系统里,信息传递速度快,并且少量改变几个连接,就可以剧烈地改变网络的性能,因此,小世界网络的存在极大地促成了产学研合作的效率^[13].另外,相同边和密度的随机网络的三角形数量远远小于观察网络的三角形数量,由此可以初步断定,浙江高校产学研合作网络受一些因素的影响,而不是随机分布产生的结果.

表1 观察网络和随机网络比较

网络类型	边	密度	聚合系数	平均路径长度	三角形数量
随机网络	427	0.006	0.002	5.82	5
观察网络	427	0.006	0.026	3.23	229
比值			13	0.55	

构成网络潜在集聚的因素主要是“度(Degree)”“边共享伙伴(ESP)”及“二元组共享伙伴(DSP)”,通过与相同节点和密度的随机网络进行比较,考察观察网络的这些结构特点^[14].产学研网络与具有同样节点和密度的随机网络的度和共享伙伴分布如图2所示.从图2中度、边共享伙伴分布与随机图的比较情况来看,浙江省高校产学研有较好的集聚倾向.其中二元组共享伙伴分布比较单一,说明该结构特征在网络合作中所起的作用不大,如果该结构特征引入到网络的合作测度,有可能引起模型的退化问题^[15].模型退化的原因基于网络聚合的设想,理想的网络聚合是一切边的结合都依赖于其他边的结合,这种边与边的结合是个全图的概念,每种边所依赖的其他边构成全图的一个子集,这导致所有可能的子图都会被考虑成变量,留下了巨大的参数需要被估计.为了节约计算量只能将依赖子图减少到约束水平上,方法是固定几种子图模式,使得不符合这些固定子图的参数设置为0,这极大地减少了运算量,但这样做容易导致模型退化.而克服模型退化的方法是使用高序子图,如边共享伙伴、二元组共享伙伴等^[16].

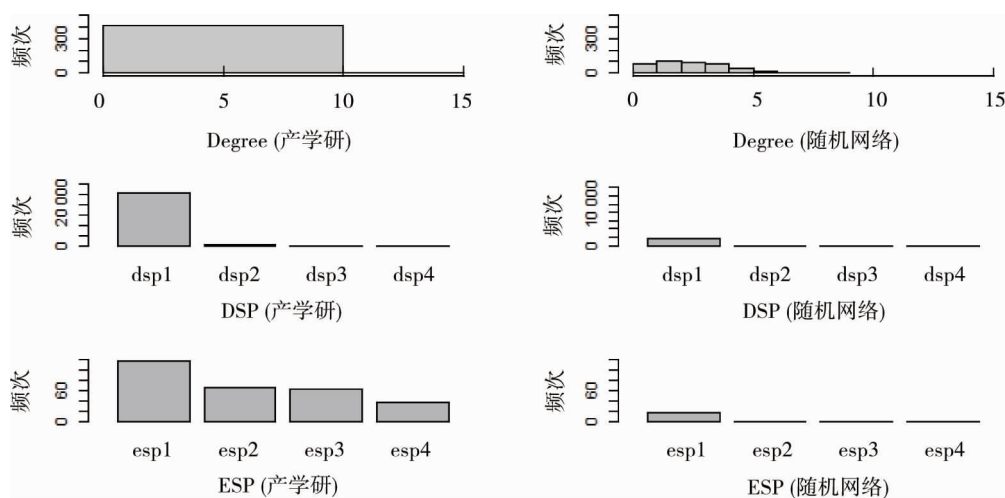


图2 具有同样节点和密度的产学研与随机网络的度和共享伙伴分布

网络的结构特点对网络的形成有一定的影响,网络的节点属性也决定着网络的合作倾向.同质性的节点之间更容易形成合作的可能^[17].节点属性连接倾向的描述性分析通过混合矩阵测度.一般地,混合矩阵是对一个分类属性各层次组合形式进行统计,从而检验相互连接的二元组在连接属性上存在的特征^[18].以产学研网络的类型为混合矩阵的识别标志,得到混合矩阵如表2所示.

表2 类型混合矩阵

	高校	研究机构	公司
高校	44	79	340
研究机构	79	4	38
公司	340	38	87

从表2可以看出:高校与高校的合作是44次,研究机构与研究结构的合作是4次,公司与公司的合作是87次,在整个产学研合作中的数量不多.相比较而言,高校与公司的合作是340次,高校与研究机构的合作是79次,充分地展现了高校在产学研中的知识溢出作用.同质性组织的合作是否具有正向关系,混合矩阵无法具体确定,需要通过指数随机图模型来测度.

以产学研各组织所在的地区为混合矩阵的识别标志,选取合作次数最高的前4个地区,得到地区混合矩阵见表3.发现浙江与浙江的合作达到356次,其次是浙江与北京的合作是50次,浙江与江苏的合作是32次,浙江与上海的合作是25次.从数值记录来看,浙江省产学研的中心在浙江,也同时辐射到政治经济发展较好的地区,凸显了浙江高校与其他发达地区的互动往来,说明地理同配性可能会对产学研的合作产生影响,但具体影响到何种程度,混合矩阵无法确定,可以借助指数随机图模型来测度.

表3 地区混合矩阵

	浙江	北京	江苏	上海
浙江	356	50	32	25
北京	50	5	5	1
江苏	32	5	4	0
上海	25	1	0	0

1.2 指数随机图模型

指数随机图模型(ERGM)与广义线性模型类似,特别是标准对数线性模型和logistics回归.但是logistics假设的观察值是独立的,而ERGM假设的观察值是依赖的.对于ERGM模型来说,除了logistics回归中使用到的外生协变量,它在预测变量中引入了“网络格局”这一变化统计量,如边、二星、三角形等来解决logistics回归存在的内生性问题.当模型包含的术语仅仅是节点属性时,它就类似于传统的逻辑回归模型^[19].ERGM的关系概率涉及网络关系变量和属性变量之间的多种依赖关系,公式如式(1)所示.


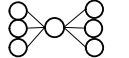
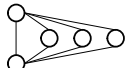


$$\Pr(Y = y | X = x) = \frac{1}{k} \exp \left[\sum_A \theta_A g_A(y) + \sum_a \theta_a g_a(y + x) \right]. \quad (1)$$

式中: X 为观察网络 y 中的节点的属性,这个变量可以是任何属性,既可以是节点的属性,也可以是边的属性; A 为内生性网络对应的格局; $\theta_A, g_A(y)$ 为内生网络参数和统计量; a 为外生性属性对应的格局; $\theta_a, g_a(y + x)$ 为属性参数和统计量,涉及网络结构 y (最低限度是边结构)和属性变量 x 的交互作用; k 为常量,用来确保概率始终保持在 $0 \sim 1$,同时保证所有可能的网络概率和为1.

在ERGM模型中,因为要处理边的连接概率问题,因此不同于一般的逻辑回归模型对属性变量的处理,ERGM模型要求每个属性至少是一个外生协变量和一个关系变量之间的统计交互项,即 $g_a(y + x)$,它涉及最低网络结构 y 和外生协变量 x 的交互作用.属性效应(外生协变量)是作为伴随内生自组织机制(内生效应)的外生过程.网络变量之间也存在依赖^[20].

ERGM模型经历了从简单随机图模型到高序依赖模型的阶段.依照文献[14]的建议,本文引入了体现传递或依赖关系的加权重度分布、加权边共享伙伴高序模型,使得模型能够有效收敛.由于加权二元组共享伙伴在计算过程中出现模型退化问题,所以不收录到模型的设计中.模型统计量及意义见表4.

表4 指数随机图模型统计量及意义

统计量	名称	函数	图例	解释
内生变量	边数	edges		基本合作关系
	加权重度分布	gwdegree		节点连接k个邻居的倾向,扩张性趋势,知识溢出效应
	几何加权边共享伙伴	gwap		倾向于形成闭合三角结构,传递性趋势
外生协变量	节点二元属性	nodematch		同类型的机构之间更可能建立合作关系
	节点一元属性	nodecov		研发能力强的机构往往对其他机构更具有吸引力

基于表4的统计量说明,将产学研网络的拓扑结构edges, gwap, gwdegree和节点属性,包括专利数、

地理同配性、组织类型纳入模型建构中,使得我们能更好地理解整个网络的构成.以 Bernoulli 随机图模型作为建立模型的开始,它是其他复杂模型的起点.为此构建模型 1,公式如式(2)所示.

$$\Pr(Y = y) = \frac{1}{k} \exp[\theta_1(\text{edges})]. \quad (2)$$

式中: $\theta_1(\text{edges})$ 为边参数.

Bernoulli 随机图模型不能很好地把握产学研网络的结构特征,因为它预设的节点是随机的,这不符合节点属性对节点连接的影响,也忽略了结构特征对节点连接的影响.但它是一条基准线,其他更复杂的模型可以与它进行比较来发现模型的改进程度.模型不断复杂化的初衷是围绕着缩小仿真网络和真实网络之间的差距而进行的.为了考察网络结构对产学研网络形成的贡献,本文选择边、加权度分布和加权边共享伙伴来构建模型 2,公式如式(3)所示.

$$\Pr(Y = y) = \frac{1}{k} \exp[\theta_1(\text{edges}) + \theta_2(\text{gwesp}) + \theta_3(\text{gwdegree})]. \quad (3)$$

式中: $\theta_2(\text{gwesp})$ 为几何加权边共享伙伴参数; $\theta_3(\text{gwdegree})$ 为加权度分布参数.

根据混合矩阵初步分析,导致产学研合作可能与地理效应(同一地区)、产学研类型(高校、研究机构、公司)和专利数量相关.其中专利数量属于网络中节点的个体特征,每个节点是不同的.机构在选择合作伙伴时,大多从知识溢出的角度考虑问题,某机构研发能力强,它就更容易吸引其他机构与它合作,因此我们选择机构的专利数量作为其中的另一个变量,用 `nodecov` 函数计算.地理同配和产学研类型是节点具有的共同性质,被称之为同质性^[14].同一个地区里产学研机构合作的机会要大于其他区域的合作机会,相同类型的机构更具有合作的可能,选择地区(`city`)和不同研究机构类型(`type`)作为同质性变量,用 `nodematch` 函数计算.构建以属性为主的模型是希望和以拓扑结构为主的模型作一个比较,考察对于产学研合作究竟属性所占的作用大还是结构所占的作用大.构建模型 3,公式如式(4)所示.

$$\Pr(Y = y) = \frac{1}{k} \exp\{\theta_1(\text{edges}) + \theta_2[\text{nodematch}('city')] + \theta_3[\text{nodematch}('type', \text{diff} = T)] + \theta_4[\text{nodecov}('PatentNum')]\}. \quad (4)$$

模型 2 和模型 3 在网络的形成中都有所贡献,但模型 3 仅考虑属性变量的时候是 `logistics` 模型,这个模型会遇到内生性问题导致的分析结果偏差.因此需要综合内生性结构和外生协变量来解释产学研网络.综合模型 2 和模型 3,将结构变量和属性变量统一在一起,构建模型 4.为了分别观察产学研类型(`type`)对模型形成的影响,设置参数 `diff=T`.公式如式(5)所示.

$$\Pr(Y = y) = \frac{1}{k} \exp\{\theta_1(\text{edges}) + \theta_2(\text{gwesp}) + \theta_3(\text{gwdegree}) + \theta_4[\text{nodematch}('city')] + \theta_5[\text{nodematch}('type', \text{diff} = T)] + \theta_6[\text{nodecov}('PatentNum')]\}. \quad (5)$$

1.3 参数估计

在构建好 4 种模型后,本文借助 R 语言中的 `ergm` 程序包,采用马尔科夫链蒙特卡罗估计法对它们进行参数估计,结果如表 5 所示.

在测度每个复杂模型的适用性方面,采用的评价指标是 AIC 值和 BIC 值.从表 5 可以看出:每个模型对应的 AIC 值和 BIC 值相比上一个模型都在变小.模型 1 为随机图模型,它的存在是作为判断其他模型是否改进的一个基准.模型 2 纯粹考虑了网络的内生性结构,发现内生性结构中星型和三角形对网络的形成有自发的组织作用,它们的 AIC 值和 BIC 值相对于基准随机图模型的值有所减少.模型 3 是外生协变量为主的情况下对产学研网络进行拟合,相比于模型 2 来说,模型 3 的 AIC 值和 BIC 值减少的更多,说明产学研网络节点的属性信息对网络连接所起的作用要比它自身的内生性结构效应所起的作用大.模型 4 是包含网络内生结构和外生变量的综合模型,它的 AIC 值从基准模型的 7 093 减为 4 527, BIC 值从基准模型的 7 102 减为 4 603,4 个模型中它的表现是最好的.以模型 4 为例,进一步用箱体图来诊断其拟合效果,结果如图 3 所示.

表5 指数随机图模型估计结果

类型	变量	模型1	模型2	模型3	模型4
内生性结构	Edges	-5.04***	-6.15***	-5.61***	-6.419***
	Gwdegree	—	1.62***	—	2.75***
	Gwesp	—	1.89***	—	0.38***
属性效应	nodecov.PatentNum	—	—	0.001***	0.001***
	nodematch.city	—	—	1.18***	1.396***
同质性效应	nodematch.type.1	—	—	0.23($p=0.3116$)	0.46***
	nodematch.type.2	—	—	-0.95($p=0.06$)	-0.78***
	nodematch.type.3	—	—	-1.02***	-1.2***
AIC		7 093	6 422	4 658	4 527
BIC		7 102	6 450	4 714	4 603

注:***为 $p < 0.001$

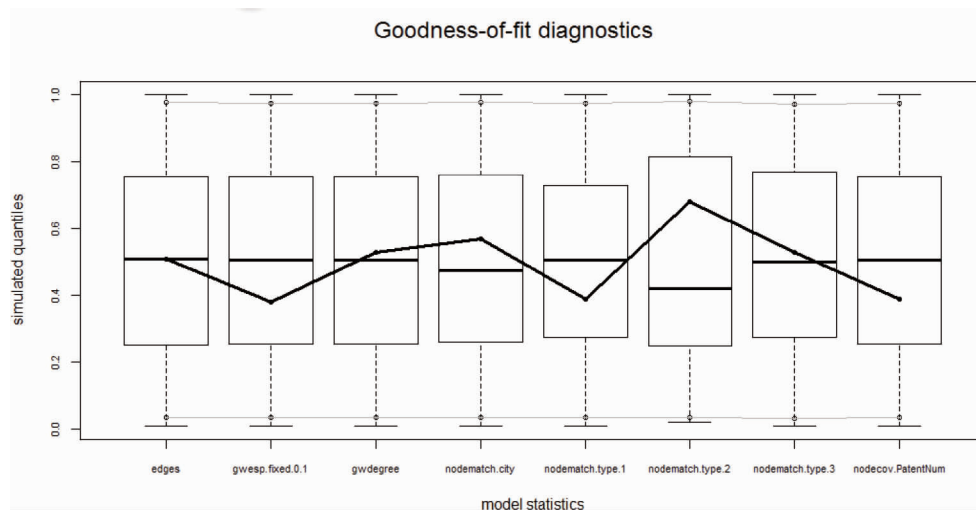


图3 模型4诊断

从图3中可以看出:代表模型4中8个自变量的黑色线条基本位于箱体的中线位置附近,说明模型4的拟合效果是符合要求的。

2 数据分析与讨论

模型1:它是一个 Bernoulli 随机图模型,只有一条边参与到模型建构,它的系数为负值,新增一条边与其他边连接的概率为 $\exp(-5.04)/[1+\exp(-5.04)]=0.006$,这个值是该随机图的网络密度,也就是产学研机构建立连接的概率仅为0.6%,是非常低的。

模型2:在 Bernoulli 随机图模型的基础上增加加权重度分布和加权边共享伙伴高序模型,使用加权重度分布和加权边共享伙伴是为了防止模型退化^[21]。加权重度分布反映了核心组织的知识溢出作用,很多组织都与某几个明星组织连接。从节点的中心度看,网络中心度在10以上的节点共有13个,总节点427个,只占总节点数的0.03。这些枢纽性的节点是浙江大学(205),浙江工业大学(63),浙江理工大学(49),中国计量大学(31),绍兴文理学院(23),杭州电子科技大学(21),国家电网有限公司(19),温州大学(19),国网浙江省电力有限公司(18),浙江科技学院(16)。在产学研网络中这些节点起到核心节点的作用,它们的存在产生了辐射和引领其他节点的效应。从表5中模型2的计算结果看,加权重度分布系数为正且统计检验显著,达到 $\exp(1.62)/[1+\exp(1.62)]=0.83$,它们在新边的连接贡献上达到83%,说明了明星组织在构建边上的作用。加权边共享伙伴说明了网络的传递性,加权边共享伙伴的贡献为 $\exp(1.89)/[1+\exp(1.89)]=0.87$,说明甲组织连接乙组织,乙组织连接丙组织,甲组织就很容易连接丙组织,形成了传递效应。三角形的贡献比度分布的贡献要大。

模型3:单独从属性影响上对产学研网络进行分析,在属性效应中,连续数值型变量 PatentNum 的统计检验显著,它对边的贡献率提升 $\exp(0.001)/[1+\exp(0.001)]=0.5$. 在同质性分类变量中,产学研类型中的公司对边的贡献率降低 $\exp(-1.02)/[1+\exp(-1.02)]=0.27$, 尽管高校应该对边的贡献起作用,但是它的统计检验值为 0.31,不具有统计显著性,这种情况说明产学研网络的内生性问题导致了变量估计的不准确.在地域检验方面,同城的存在对边的贡献率提升 $\exp(1.18)/[1+\exp(1.18)]=0.76$,说明产学研交往活动更多是在同一个城市发生的几率较大.

模型4:将结构性变量和外生协变量统一在一起形成模型4,它们各个变量的统计检验都比较显著.其中加权边共享伙伴的贡献率提升 $\exp(0.38)/[1+\exp(0.38)]=0.59$,加权重度分布贡献率提升 $\exp(2.75)/[1+\exp(2.75)]=0.94$,同在一个地区的贡献率提升 $\exp(1.396)/[1+\exp(1.396)]=0.8$.在产学研类型方面,高校贡献率提升 $\exp(0.46)/[1+\exp(0.46)]=0.61$,研究机构贡献率降低 $\exp(-0.78)/[1+\exp(-0.78)]=0.31$,公司贡献率降低 $\exp(-1.2)/[1+\exp(-1.2)]=0.23$,说明高校是促进产学研合作的主要对象.产学研各个组织的专利数量贡献率提升 $\exp(0.001)/[1+\exp(0.001)]=0.5$,说明专利数量决定了产学研的合作.在合作专利网络的427个节点中,最大节点为浙江大学,它的专利数达到4845,最少专利数为博雷(中国)控制系统有限公司,它的专利数为0.考虑专利数量的情况下,最少专利数和最多专利数的两个机构的连接概率为 $\exp[-6.42+0.001\times(4845+0)]/\{1+\exp[-6.42+0.001\times(4845+0)]\}=0.17$,而专利数最多的两个机构连接的概率为 $\exp[-6.42+0.001\times(4845+4845)]/\{1+\exp[-6.42+0.001\times(4845+4845)]\}=0.96$,这说明两个机构的专利数量越多,越容易建立连接.为了直观地显示边连接的情况,对产学研专利合作网进行节点控制操作,不同专利数的网络连接如图4所示.从图4可以看出:删除专利数大于10的节点后,网络的密度为0.001,网络的节点很多是孤立节点,节点连接非常稀疏;删除专利数小于2的节点后,网络的密度为0.024,网络连通性非常好,说明了专利数量越多的机构越容易连接,创新能力也越强,指数随机图模型计算的结果和图4可视化结果是对应的.

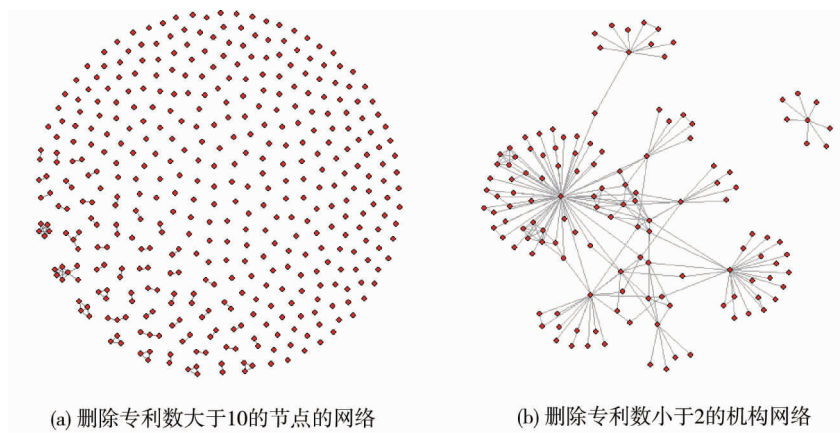


图4 不同专利数的网络连接

进一步地,在考虑同质性属性存在的情况下(选择同城),专利数量最高的机构和专利数量最低的机构的合作概率为 $\exp[-6.42+0.001\times(4845+0)+1.396\times(1+1)]/\{1+\exp[-6.42+0.001\times(4845+0)+1.396\times(1+1)]\}=0.77$, 概率达到77%,说明同城情况下,即使专利数量相差较为悬殊,也容易达成合作,这说明了地理同配的作用是显著的.而在同城情况下专利数量最高的机构之间的合作概率为 $\exp[-6.42+0.001\times(4845+4845)+1.396\times(1+1)]/\{1+\exp[-6.42+0.001\times(4845+1)+1.396\times(1+0)]\}=233.7$, 概率达到23370%,这说明由于网络中同质性效应的存在,同一个城市中专利数量多的大学容易与专利数量多的大学结合.这种局面使得创新成果的转化和应用都被集中在少数几个高校之间,知识和技术的扩散受到一定的限制,因此,一方面需要搭建高校和企业的互动平台,另一方面要加大企业的专利申请力度.

模型4中的高校、研究机构和公司的统计检验都非常显著,其中大学的贡献率提升为0.61,说明大学与大学之间更容易形成合作.研究机构和公司的贡献率为0.31和0.22,说明它们自主合作的可能性不大.分别对大学、研究机构和公司进行网络可视化,见图5.其中高校与高校的网络密度为0.05,研究机构和研

究机构的网络密度是 0.002,公司和公司的网络密度是 0.002.说明高校是产学研合作的主要机构,而公司和研究机构尽管数量较多,但是却没有形成合作的现实.这个可视化的结果与随机图模型计算的结果是一致的.

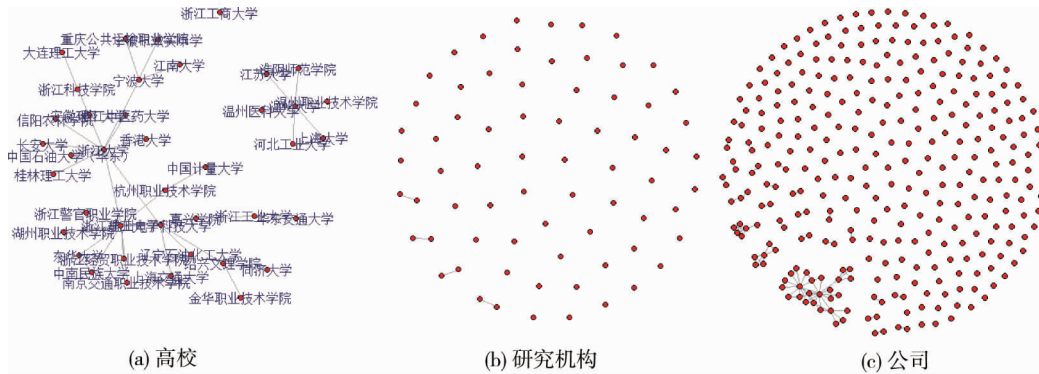


图5 不同组织类型的网络

在地理同配性上,不同地区的产学研合作通过计算得出概率为 $\exp[-6.42+1.396 \times (1+0)] / \{1 + \exp[-6.42+1.396 \times (1+0)]\} = 0.006$,同一个地区的概率为 $\exp[-6.42+1.396 \times (1+1)] / \{1 + \exp[-6.42+1.396 \times (1+1)]\} = 0.03$,属于同一个地区机构的连接概率要比不属于同一个地区机构的连接概率要高.因此,浙江省产学研合作尽管有跨区域的存在,但围绕同一个区域合作的机会更大,这也与前述混合矩阵的描述结果是一致的.

3 结论

1) 浙江省产学研网络具有小世界网络特性,小世界网络的存在极大地促成了浙江省产学研合作的效率,产生了知识溢出效应,使得高校、公司和研究机构三者能够良性互动,推动了知识创新和经济的发展.

2) 在类型混合矩阵分析中,同质性组织之间的联系不如异质性组织之间的联系频繁.其中高校和公司、高校和研究机构的连接数量最多,高校在产学研中的知识溢出作用明显.在地区混合矩阵分析中,浙江省产学研的中心在浙江,同时辐射到经济发展较好的地区,凸显了浙江地区产学研与其他发达地区产学研的互动往来.相同地区的产学研联系更为紧密.

3) 通过指数随机图模型分析了浙江省产学研网络的形成机理,发现内生性结构中加权边共享伙伴和加权重度分布促成了网络的形成.外生协变量中同一地区的组织机构更容易合作.在高校、公司和研究机构中,高校是促成产学研合作的主要对象.专利数量越多的组织越容易形成合作.

4) 本文给定的外生协变量中专利数量、产学研类型和地理同配性只是研究的一个视角,后续可以咨询领域专家,确定其他的外生协变量来分析浙江省产学研合作的形成机理.进一步的工作留待以后研究进行.

参考文献:

- [1] 刘勇.产学研协同创新超网络均衡模型及其实现路径[J].中国科技论坛,2017(1):19-25.
- [2] 吴洁,彭星星,盛永祥,等.基于动态控制模型的产学研知识转移合作博弈研究[J].中国管理科学,2017,25(3):164-171.
- [3] 王海军,邹日崧,温兴琦.组织学习与模块化嵌入的产学研合作联盟研究——来自家电产业的多案例实证[J].科技进步与对策,2017,34(24):55-63.
- [4] 吴慧,顾晓敏.产学研合作创新绩效的社会网络分析[J].科学学研究,2017,35(10):1578-1586.
- [5] 陈恒,初国刚,侯建.国内外产学研合作培养创新型人才模式比较分析[J].中国科技论坛,2018,261(1):164-172.

- [6] 周涵婷,余晓,宋明顺.浙江省高校产学研协同创新网络结构特征分析[J].科研管理,2017(s1):164-170.
- [7] 王璐璐,张卓,刘一新.江苏省产学研合作创新网络结构特征及其优化策略[J].科技管理研究,2018(8):94-99.
- [8] 张玉赋,高凯,孙琳,等.江苏省产学研合作主要问题及其原因分析研究[J].科技管理研究,2012(11):77-84.
- [9] Kim J Y R, Howard M, Pahnke E C, et al. Understanding network formation in strategy research: Exponential random graph models[J]. Strategic Management Journal, 2016, 37(1):22-44.
- [10] 罗泰晔,马翠嫦.基于指数随机图模型的协同创新网络形成机理研究[J].情报理论与实践,2018,41(10):143-146.
- [11] 段庆锋,马丹丹.基于指数随机图模型的专利技术扩散机制实证研究[J].科技进步与对策,2018,35(22):29-35.
- [12] 王建国,王飞,华连连,等.内蒙古产学研合作创新网络结构演化研究[J].科学管理研究,2018(12):78-81.
- [13] 王朋飞,李守伟,林琳霖,等.产学研合作网络复杂性分析——以镇江市为例[J].复杂系统与复杂性科学,2013(1):60-67.
- [14] Harris J K.指数随机图模型导论[M].杨冠灿,译.上海:格致出版社,2016.
- [15] 王越乙,徐枏巍.指数随机图(p^*)模型不同描述的对比研究[J].清华大学学报(自然科学版),2015(4):52-57.
- [16] Snijders T A B, Pattison P E, Robins G L, et al. new specifications for exponential random graph models[J]. Sociological Methodology, 2006, 36(1):99-153.
- [17] 刘璇,汪林威,李嘉,等.科研合作网络形成机理——基于随机指数图模型的分析[J].系统管理学报,2019(3):520-527.
- [18] Goodreau S M, Handcock M S, Hunter D R, et al. A statnet Tutorial[J]. Journal of Statistical Software, 2008, 24(9):1-27.
- [19] Koehly L M, Goodreau S M, Morris M. Exponential Family Models for sampled and census Network data[J]. Sociological Methodology, 2004, 34(1):241-270.
- [20] 迪安·鲁谢尔,约翰·科斯基宁,加里·罗宾斯.社会网络指数随机图模型[M].杜海峰,任义科,杜巍,等译.北京:社会科学文献出版社,2016.
- [21] Robins G L, Pattison P E, Wang P. Closure, connectivity and degrees: new specifications for exponential random graph (p^*) models for directed social networks[J]. Social Networks, 2009, 31(2):105-117.