网络特征影响产业收入吗？一个基于移动和固定电话的经验研究

汪贵浦[1]，徐　燕[2]，张晋华[2]，肖　昂[3]

（1.浙江工业大学 管理学院，杭州 310023；2.浙江工业大学 经济学院，杭州 310023；3.康涅狄格大学 商学院，美国 康州 06269）

摘　要：已有大量产业网络结构特征的研究但缺乏面向电信网络的分析工作。采用我国电信 2004—2017 年各省市数据，构建引入网络中介效应模型计量分析其对电信业务发展的影响，研究发现，网络特征促进移动电话业务增长，但对固定电话业务没有发现明显贡献。其中移动电话业务网络经历聚集-弱疏离-继续聚集的过程，而固定电话业务则是聚集-疏离-再聚集的演变方式。固话网络虽在初期优于移动，但后期已达稳定并在电话普及率下降的背景下，进一步优化空间反而不如移动。网络中介效应计量模型发现，电话普及率与不同网络参数之间呈现为非线性的“U”型或倒“U”型关系，移动业务受益于网络中介效应。上述结论对于认识电信产业不同业务网络聚集和企业行为内在规律，以及了解网络扩展、用户群偏好转变和网络规模效应变化提供了一定的经验依据。

关键词：电信网络；结构特征；中介效应；产业发展

中图分类号：F062.9；F62　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1002—980X（2021）03—0078—11

一、引言

在工业化与信息化融合并步入信息时代的背景下，专网通信市场规模近年来不断扩大，移动互联网和电话网络已经成为新技术发展的重要领域，网络通信的发展越来越受人关注。随着小世界网络（Watts 和 Strogatz，1998）、无标度网络（Barabási 和 Albert，1999）和随机网络（Erdös 和 Rényi，1961）对复杂系统内部联系、运行与演变机制的揭示，网络特征分析成为产业分析的一个有力工具。当前网络经济背景下，众多文献围绕不同产业、地域或集群的网络特征展开有价值的研究，虽然采用网络特征的变量因对象不同而有所选择和出现差异，但网络特征及其影响因素分析，已成为产业分析的密切关注领域。

现有大量文献对众多产业的网络特征进行了研究，但相关研究忽视了我国电信业这个重要的市场，尤其缺乏从网络结构及网络中介效应角度出发对电信业发展的影响分析和计量研究。已有对电信发展的影响因素分析方面，研究主要集中于地域差异（马骥和马武雄，2007）技术效率和产业效率（汪贵浦和陈明亮，2007；常硕和崔静宜，2011；刘孟飞，2014）、基于省域的技术与运营效率（李再扬，2010；韩磊和苑春荟，2012）及企业绩效与电信业消费者福利（戚聿东和张任之，2016；于良春和刘晓斌，2016）等。

本文有别于以往研究主要体现在：其一，目前尚缺乏立足于省域电信业发展状况来研究网络结构及演变特征的相关工作；其二，分移动业务和固话业务测算其重要网络参数数值及动态变动过程，并比较网络演变差异的研究，是对此方面研究缺乏的一个填补；最后，研究电信相关业务发展等影响因素，特别是网络特征及网络中介效应的影响，发现部分存在非线性的中介效应，这对于目前基本以线性中介效应为主体的研究，也是一个贡献工作。

本文将进行如下分析：首先，采用工业信息化部相关电信业务的分省市（直辖市、自治区）的数据，基于省份单位为网络节点，以省份间相关系数为节点间的连边，本文构造分移动和固定电话两类业务的电信关联网络；其次，基于网络理论与网络特征，计算其网络参数并比较其网络状态和区域关联变化，揭示其网络空间动态演化过程；最后，通过构建中介效应计量模型，分移动和固话两项研究内容，揭示影响产业发展的网络特征和演进规律。

收稿日期：2020—05—13

基金项目：教育部人文社会科学研究规划基金“垄断性企业空间拓扑网络分析及网络路径研究”（18YJA790075）

作者简介：汪贵浦，博士，浙江工业大学管理学院教授，研究方向：金融投资、产业发展；徐燕，浙江工业大学经济学院硕士研究生，研究方向：金融投资与产业发展；（通讯作者）张晋华，博士，浙江工业大学经济学院讲师，研究方向：金融投资与产业发展；肖昂，康涅狄格大学商学院硕士研究生，研究方向：金融投资与产业发展。

二、文献综述

20世纪末兴起的复杂网络理论(complex networks theory)的发展,使得网络的3个基本结构:链、星和圈,对应于网络科学中的3个基本概念:平均路径长度、度和聚类系数等基本网络拓扑特征,得到学术界的广泛认可。目前许多国内外专家、学者学习和借鉴了复杂网络模型的构建思想,利用它分析产业间及产业内关联问题。

国外方面,Rueda和Jose(2017)集中于电信网络测度及稳定性检测,并对15个网络特征和行为进行了识别。电信业具体影响因素方面,Limbach et al(2011)在案例研究基础上,为德国电信业提出了一种合作拓扑方法,以此识别电信公司合作绩效的核心要素。Kaminski和Latek(2008)基于预付话费电信网络建立的测度模型,区分了不规则呼叫和全覆盖呼叫系统的拓扑结构,发现前者的设置安排更能降低运营成本和提高收益。Rueda和Calle(2016)针对电网、电信设施易受攻击和不稳定现状,提出解决和需要高度重视其网络拓扑结构设计的相关措施。

国内方面,李茂(2016)利用OECD的数据构建中国产业间关联网络模型,得出1996—2011年中国产业关联网络拓扑特征,并利用产业经济学知识解释其原因。类似研究如王茂军和杨雪春(2011)、方大春和海晨(2017)等。

产业内研究方面,较早的研究如彭建平和张业军(2012)基于某地移动通话数据构建并结合仿真分析相关电信网络特征;姜巍等(2015)基于中国5个主要能源产业进行了网络特征分析;王鹏和王艳艳(2016)对上海市莘庄生态产业园构建了网络结构特征并进行稳定性测试,其相关指标采用量表测度,与符正平和曾素英(2008)采用的方式类似;吴松强等(2018)也做了类似的研究。

分产业类别对网络特征的研究方面,马为彪和方大春(2018)分析了中国省际高技术产业网络的中心地带并进行了关联板块分类;贾军和魏洁云(2018)测度了太阳能发电技术的网络特征;李海东(2010)构建了佛山陶瓷产业集群创新网络图及统计指标;莫霜叶和张伯伦(2019)将电力网络抽象成一个复杂网络,提出一种通过对介数指标、最短路径、中介线等新指标进行分析并判断电力网络线路脆弱性的方法。宓泽锋和曾刚(2017)发现,物流产业合作创新网络的碎片化和"强企业-弱高校"关系的网络联系是其内因;李树祥等(2018)对江浙沪地区医药产业网络聚集的研究发现,上海为核心层和聚集中心;叶琴和曾刚(2018)基于中国生物医药与节能环保产业创新网络特征寻找其形成的合作关系核心-边缘结构;陈肖飞等(2018)研究了奇瑞汽车集群为代表的轮轴式产业集群的网络结构特征,如地理邻近性、"核心-边缘"结构;赵巧芝和闫庆友(2017)发现,中国行业间碳流动网络是具有小世界效应和无标度特性的网络;钟昌宝和干心一(2017)采用网络分析方法析出我国省际物流产业四大分类模块;朱孟珏和庄大昌(2018)基于2001—2015年195个国家间健康产业,分析了全球健康产业贸易网络特征。蔡高明等(2018)对中原城市群内各城市间的产业投资网络进行特征综合分析;王京和高长元(2014)结合MATLAB模拟显示了软件产业虚拟集群创新网络演变特征;何明芮和张小玲(2019)基于四川省依格尔纺织品有限公司的案例研究,认为在企业不同的发展阶段,产业集群网络结构特征显现出不同的倾向;李守伟和朱瑶(2016)基于量表测量的节点度、中介中心度和结构洞研究新能源汽车产业的企业创新绩效。

相关网络影响因素方面,胡平等(2012)、胡平等(2013)基于珠三角地区信息服务产业的创新产业集群的研究发现,网络特征对其影响是综合或混合的;任会明和叶明确(2018)就影响因素上发现,上海银行产业的网络结构首先是由区域人口数量、楼宇数量决定的,地理距离对银行网络有显著影响;同时指出,影响因素指标的选取中,有必要选取更多的指标如GDP、人流量等作为自变量进行计量分析。袁丹等(2018)分析了代表性城市文化产业的关联网络特征及对网络影响因素如人力资本、地理临接关系进行了归因计量;赵炎等(2015)基于中国通讯设备行业研究创新绩效的影响因素,发现地理邻近性并促进联盟网络密度对创新绩效影响显著,温科和张贵(2019)发现,网络密度越小、平均距离越大、度中心越小,对产业结构变动影响越大且明显显著。

整体而论,采用网络结构特征是一项有趣而又有挑战性的工作,这些具有网络平台基础的相关研究正处于方兴未艾的阶段。

三、网络关联图构建、参数计算及网络特征分析

本文选取电信业分省数据中的固定电话、移动电话作为代表，所用数据来源于工业信息化网站的通信业统计报告、“电话用户分省情况表”及“通信水平分省情况表”、全国各省份（因数据缺失，不包括港澳台地区）的固定电话、移动电话和电话普及率的年度数据（相关年度缺失通过月度、季度用户数量累加形成）。基于研究方便起见，用数字对各省（自治区、直辖市）进行编号，具体见表 1。

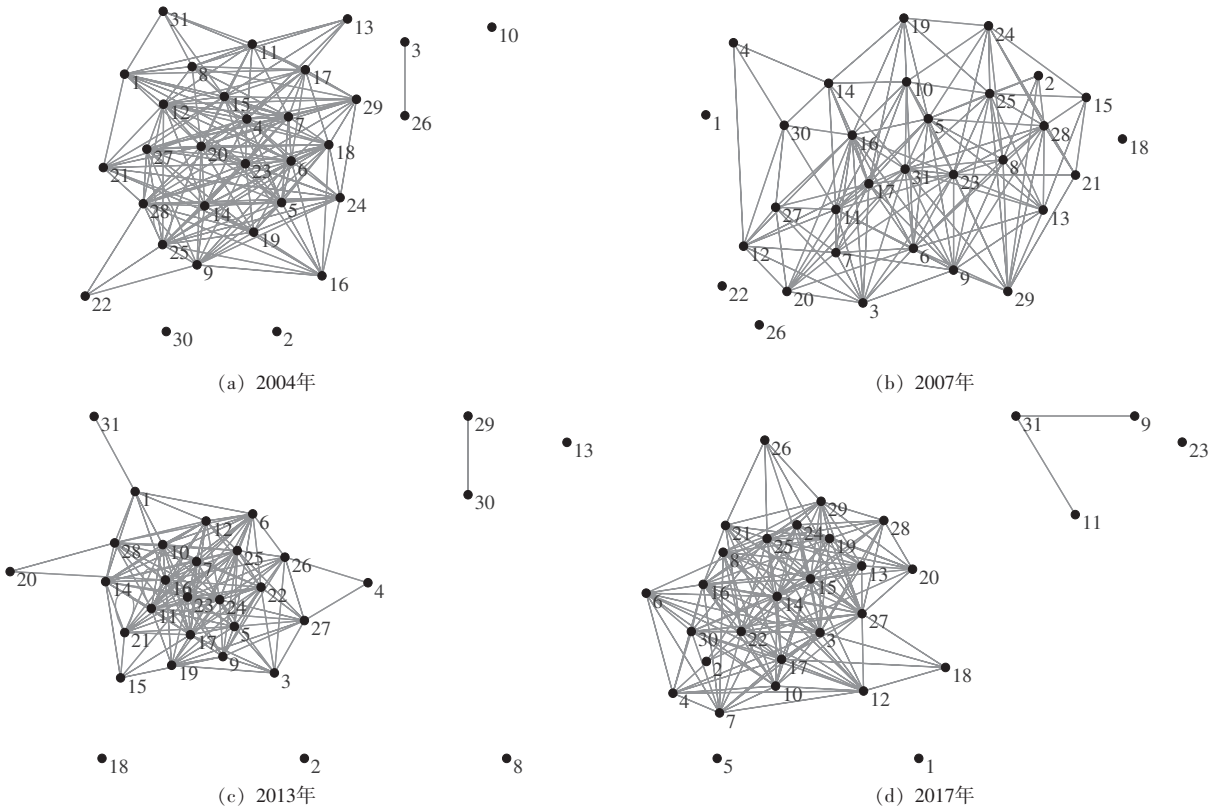
表 1　各省份在网络图中的节点编号

编号	省份	编号	省份	编号	省份	编号	省份
1	北京	9	广东	17	河南	25	云南
2	天津	10	海南	18	湖北	26	西藏
3	辽宁	11	河北	19	湖南	27	陕西
4	上海	12	山西	20	内蒙古	28	甘肃
5	江苏	13	吉林	21	广西	29	青海
6	浙江	14	黑龙江	22	重庆	30	宁夏
7	福建	15	安徽	23	四川	31	新疆
8	山东	16	江西	24	贵州		

复杂模型的构建需要确定节点（nodes）、连边（edges）和连接规则（rules）。将电话用户分省数据中的省份单位作为复杂网络的节点，连边的选择旨在构造网络之间的关联。本文基于通信水平分省月度数据，计算得到各年省份间的相关系数，将相关系数作为各节点之间的连边，相关系数的值在 0~1 之间，连接关系通过设定阈值而确定关联（李茂，2016）[14]。这样就搭建了一个多节点的电信行业网络模型。

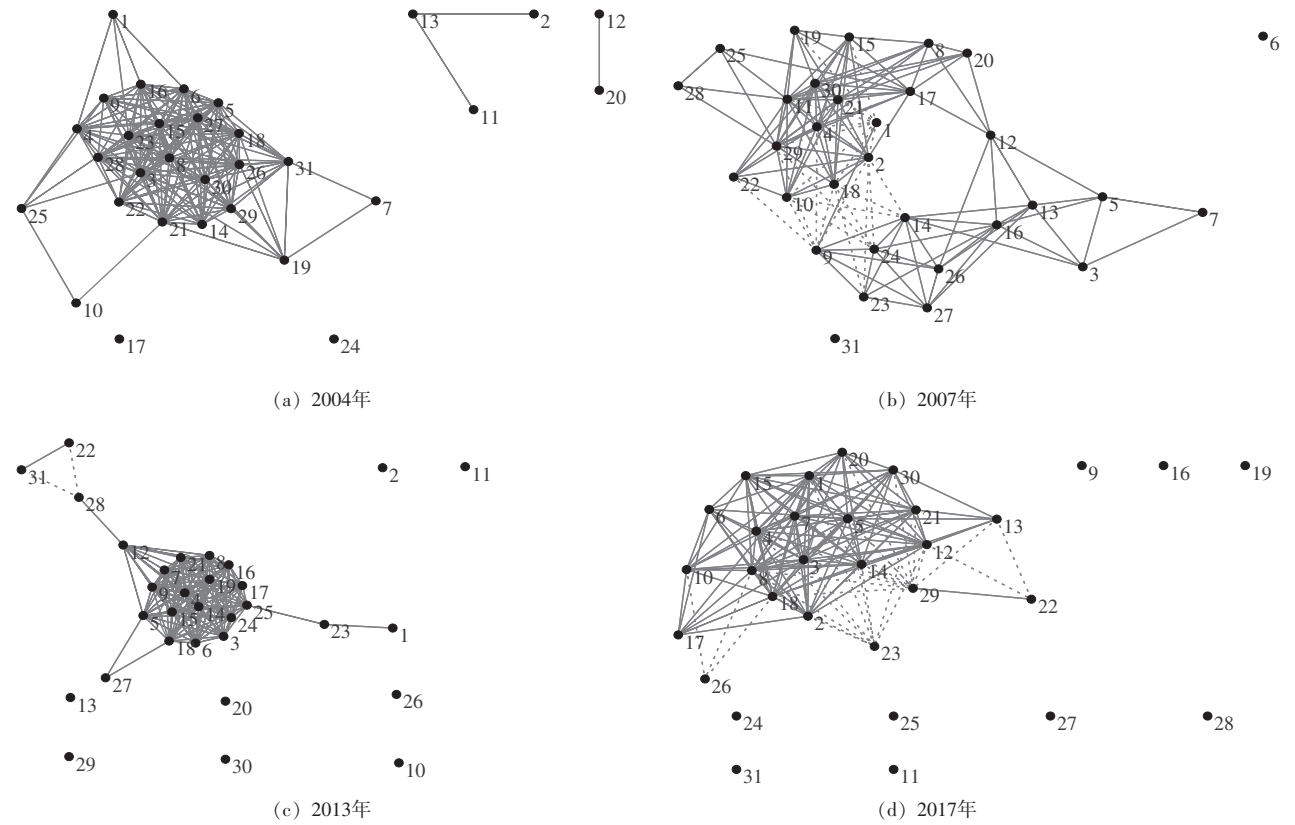
（一）移动、固定电话的网络结构图

基于移动电话和固定电话数据，对表 1 中 31 个节点进行计算，可以得到 2004—2017 年逐年的节点总体联系图，限于篇幅，以下给出 2004 年、2007 年、2013 年和 2017 年的结构图，如图 1 和图 2 所示。



实线表示两个省份有正向关联关系；虚线表示两个省份有反向关联关系；采用 Pajek 绘制

图 1　2004 年、2007 年、2013 年和 2017 年移动电话关联网络总体联系图



实线表示两个省份有正向关联关系;虚线表示两个省份有反向关联关系;采用Pajek绘制

图2 2004年、2007年、2013年和2017年固定电话关联网络总体联系图

以上图1和图2中连线即为达到阈值以上省份之间电话用户的密切度,无连线则表示关联程度低。从其他节点指向某个节点的连线密集,表明节点与网络联系的紧密程度大。根据节点的关联紧密程度显示,在移动网络总体联系图中,2004年图中以上海(4)、浙江(6)、内蒙古(20)节点为局部网络中心节点,2007年图中以江苏(5)、山东(8)节点为局部网络中心节点,2013年图中以江苏(5)、福建(7)节点为局部网络中心节点,2017年图中以辽宁(3)、安徽(15)节点为局部网络中心节点,这些局部网络呈现星型结构。在固定网络总体联系图中,2004年图中以辽宁(3)、山东(8)、浙江(6)节点为局部网络中心节点,2007年图中以上海(4)、黑龙江(14)节点为局部网络中心节点,2013年图中以上海(4)、福建(7)节点为局部网络中心节点,2017年图中以北京(1)、上海(4)、江苏(5)节点为局部网络中心节点,这些局部网络呈现星型结构。总体显示,各省份节点相互关联呈环状网络。

从以上局部网络中心节点的分布演变发现:移动电话中心节点渐次向东部中部偏移,发展均衡;而固话逐步集中于经济发达省域。另外,从孤立点来看,图1显示移动电话2004年有3个孤立点和一个直线连接、2007年4个孤立点,2013年4个孤立点和1个直线链,到2017年为3个孤立点和2条直线链。演示了其聚集-弱疏离-继续聚集的过程。实际情况为:从2013年开始,移动电话普及率从内蒙古(20)开始提高,逐渐延伸至甘肃(28)、西藏(26)、贵州(24)和云南(2),使得网络关联和聚集程度明显提高。

图2显示了固定电话网络结构4个年份的演变状况。2004年有2个孤立点和3条直线链、2007年2个孤立点,2013年8个孤立点和2条直线链,到2017年为9个孤立点。扼要显示了其聚集-疏离-网络稳定的过程。现实情况是:总体固定电话用户数量趋近饱和且电话普及率下降,密集的省份为上海、浙江。其中浙江省(7)、福建省(8)、安徽省(15)、河南省(25)在固定电话关联网络中与其他省份关联非常密切,河北省(11)、山西省(12)、吉林省(13)、黑龙江(14)与其他省份的关联趋于紧密,而西藏(26)、陕西(27)、甘肃(28)、宁夏(30)和新疆(31)一直都与其他省份关系不密切,在关联网络中地位比较低。

为进一步厘清这些网络结构的实际变化,特别是移动越来越紧密关联而固话在后期趋于稳定的状况,通过计算相关网络参数来定量揭示其具体特征,可能更好展现网络演变状态,这在下节完成这些工作。

（二）网络结构的特征参数变化与分析

由于网络参数更能够精确刻画网络演变的特征。因此此节进行该工作。基于学术界常用的统计描述方式和根据Barabási和Albert（2002）[15]的归纳总结，本文要计算的电信业关联网络的特征参数主要有以下4种：度值、平均路径长度、聚类系数和直径。

由于出度表示某个节点指向其他节点的边的数量，入度表示从其他节点指向该节点的边的数量。基于本文选择相关系数作为连线，则任何一个节点的出入度相等。由此得到的出入度对应节点情况见表2。计算结果中，节点数越多，表明网络局域中心点越多。

表2显示，移动电话方面，在2005年呈现为8个中心节点的情况下，随后关联程度逐年呈现为聚集态势。虽然中间年份如2007年、2010年各有2个中心节点，2013年3个节点，但截至最近几年，均呈现为只有1个最聚集节点的状态，说明移动通信业务在省域间的发展，逐步处于比较聚集强化的态势。简单归纳其聚集的演进过程为：疏离-聚集-间歇波动-继续聚集。

固定电话方面，随年份变化的省份关联程度总体呈现为：间断性先趋于疏离（有多个中心点）而后聚集（少数甚至一个中心点）的趋势。在早期（2004—2009年）出现渐进疏离（2006年）而又趋于紧密的态势；中期（2010—2013年）开始，又趋于疏离，并在2013年达到最疏离程度（有12个中心点）；后期（2014—2017年）则趋于关联稳定紧密态势。以上说明，固定电话的网络中心密切程度不如移动电话，但总体而言（如近年来），其网络关联也呈现紧密趋势。简单归纳固话的演进过程为：疏离-聚集-再次疏离-再聚集。

为进一步梳理其网络特征，本文分别计算了平均路径长度和直径两个网络参数见表3，聚类系数和度值见表4。

表2中的“平均路径长度”为省域关联网络中所有节点对之间的平均最短距离，“直径”为关联网络节点间的最长距离。2004—2017年移动电话的平均路径长度的均值为1.7057，固定电话为1.6411，表明任意两个节点通过近2个省份就可以产生联系，且也说明移动电话具有进一步下降并得到改善的潜力，这在2010—2014年期间移动电话的平均路径长度均小于固定电话的数值中也得到了证实。

趋势变化方面，移动电话在2006年达到最大值后，稳步下降，显示了网络稳定趋于聚集状态；而固定电话呈现波动，直到在2011年达到最大值后才趋于下降。整体佐证了省域关联呈“聚集-疏离-再聚集”的态势。这种现象的主要原因推测是：中国经济实现长期发展的同时，工业化与信息化的融合和电信投资的增加，使得专网通信市场规模的容量扩大、网络连接更加紧密，并趋于稳定的趋势。

直径的结果显示，移动网络的最大直径不超过6而固话不超过7，直径的中值分别为4和5。固定电话直径的值呈现为逐步上升到2011年最大值7后再逐步下降到4的态势，而移动电话为阶梯型

表2　2004—2017年移动/固定电话关联网络最大中心度值的节点分布

年份	移动电话		固定电话	
	节点类别	最大中心度值	节点类别	最大中心度值
2004	20	44	3	42
2005	4、5、6、9、17、19、21、22	40	3、6、17	42
2006	17	42	15、25、29	42
2007	23、31	36	11	34
2009	28	44	15	42
2010	3、26	34	8、25	42
2011	10	46	14、16、21、22、28	40
2012	25	38	7、15、20、25	44
2013	16、17、24	40	4、5、7、8、9、14、15、16、18、19、21、25	34
2014	14	38	6、7、9	40
2015	9	42	5、12、25	44
2016	23	40	8	44
2017	3	44	8	40

表3　2004—2017年移动/固定电话网络的平均路径长度、直径和对应节点

年份	移动电话			固定电话		
	平均路径长度	直径	对应节点	平均路径长度	直径	对应节点
2004	1.5123	4.00	22~31	1.4393	4.00	7~10
2005	1.9333	5.00	1~27	1.2900	3.00	1~4
2006	2.1576	6.00	5~12	1.5305	5.00	22~30
2007	1.7578	4.00	2~4	1.9778	5.00	7~28
2009	1.9012	6.00	17~25	1.8417	6.00	17~30
2010	1.8037	4.00	16~27	1.8262	6.00	7~11
2011	1.7168	4.00	1~22	2.0640	7.00	1~31
2012	1.6832	4.00	9~11	1.7793	5.00	11~12
2013	1.6146	4.00	3~31	1.834	6.00	1~31
2014	1.4862	7.00	3~31	1.4862	4.00	1~19
2015	1.6069	3.00	6~19	1.5292	4.00	6~31
2016	1.4982	3.00	12~28	1.3423	3.00	1~24
2017	1.5017	3.00	2~7	1.3939	3.00	6~22
均值	1.7057	4.38		1.6411	4.69	
中值	1.6832	4.00		1.5305	5.00	

下降,2004—2009年为第一个台阶,2010—2012年为第二台阶,直接降为数值为4,2013—2017年为第三台阶(除了2013年)直接降为3。基于此,本文推断,固定电话的网络是按照逐步推进进行升级的,而移动电话则是按照层级变化而阶跃式改善的。直径的下降显示,各省网络关系趋于更加紧密联动的态势。

表3中的节点对也具有一定的网络关系揭示:陕西(27)和新疆(31)长期处在移动电话最长路径上,而宁夏(30)和新疆(31)长期处在固定电话最长路径上,说明它们在关联网络中的地位较低,实际上也说明对整体网络关联的贡献不高。由于移动通信进入宽带时代(3G+4G),人们越来越多地通过手机流量上网、浏览资讯和观看视频,使得移动电话对固定电话越来越显示出方便快捷的优势,并将随着移动电话具有异地注册、消费、不同地区异地放号政策的实施,移动电话地域间的网络联系呈现越来越紧密的态势。

产业网络分析中的聚类系数,反映环向关联的程度;其值高则说明环向关联程度紧密。表4显示了与表3逻辑一致的结果:聚类系数显示移动和固话呈现"聚集-稀疏-再次聚集"的态势,与前述结果相同;而度值分布则显示了4峰3底的格局,表明聚集程度在这些年并不稳定。究其原因:其一,2004—2005年附近电信市场属于5+1竞争格局的后期,随着移动和固话的竞争格局基本形成而趋于稳定;2006—2007年开始,固定电话和移动电话的聚类系数和度值均表现为上升态势,显示整体市场结构趋于联系紧密。其二,实行四大电信运营商按照地域分而治之运营方式,使得聚类系数从2013—2014年开始有一定下降(2015年之后再次上升);而期间组建中国铁塔股份有限公司开展基站等通信设施划拨、硬件升级投入和分运营商利益再次协调,也会影响到竞争布局,使得网络关联度发生波动。

以上平均路径长度和直径这些网络参数数值的逐年降低,提高了移动和固话的网络关联程度,也是设施投资和网络优化的趋势反映。聚类系数和度值总体说明电信网络有明显的"小世界网络"的特性①。

表4 2004—2017年移动/固定电话关联网络的聚类系数及度均值

年份	聚类系数		度均值	
	移动电话	固定电话	移动电话	固定电话
2004	0.7439	0.8542	25.35	24.77
2005	0.8027	0.8737	26.00	24.45
2006	0.7026	0.8468	20.97	24.19
2007	0.6583	0.6509	20.00	19.42
2008	0.6584	0.7393	23.71	22.52
2009	0.6584	0.8277	27.42	25.61
2010	0.6695	0.8908	17.61	25.61
2011	0.7319	0.8419	25.61	25.03
2012	0.7317	0.8298	23.1	28.71
2013	0.7362	0.9324	21.35	19.68
2014	0.8196	0.8559	20.19	22.65
2015	0.6597	0.8029	26.77	26.77
2016	0.7048	0.8277	21.29	26.71
2017	0.7327	0.7986	23.29	20.84
均值	0.7150	0.8266	23.05	24.07
中值	0.7183	0.8359	23.20	24.61

注:表中的度均值基于逐年31省市计算得出(因数据缺失,不包括港澳台地区)。

四、网络中介效应对产业发展的计量分析

随着电信设施进一步网络纵深化进展,现有网络的影响力越来越大。因此提出以下问题:其一,网络对行业整体发展到底有何种影响?其二,网络的更进一步聚集是否更有利于行业的发展?或过高的网络聚集是否得不偿失?为此,有必要将网络效应纳入对电信发展的影响因素进行研究。本文初步假定这里的网络效应可能是一种"介质"或中介作用。因此引入以下模型。

(一)模型设定

基于中介效应模型设计原理,设置模型如下:

$$\ln ywzl = \alpha_{01} + \beta_{11}\ln pjl + \beta_{12}control + \varepsilon_1 \quad \text{模型(1)}$$

$$\ln\left(\text{网络参数}\right) = \alpha_{02} + \beta_{21}\ln pjl + \beta_{22}control + \varepsilon_2 \quad \text{模型(2)}$$

$$\ln ywzl = \alpha_{03} + \beta_{31}\ln pjl + \beta_{32}\ln\left(\text{网络参数}\right) + \beta_{33}control + \varepsilon_3 \quad \text{模型(3)}$$

其中:$ywzl$表示电信业务总量;pjl表示电话普及率;$control$表示控制变量;α_{01}~α_{03}表示截距项;β_{11}、β_{21}、β_{31}、β_{32}表示相应解释变量对被解释变量的回归系数;β_{12}、β_{22}、β_{33}表示控制变量的回归系数。

假设检验按照以下3个步骤进行:

(1)电话普及率与电信业务总量的关系检验。对应为上述模型(1)。本文选取电信业务总量($ywzl$)为被解释变量,电话普及率(pjl)为核心解释变量,$control$为控制变量,包括:15~64岁人口占比、城镇人口占比、人

① Watts和Strogatz(1998)对小世界网络的定义为:高的聚集性和短的特征路径长度。

均GDP、电信行业新增投资等。

(2)网络参数与电话普及率的关系检验。对应为上述模型(2)。基于上述分析的电话普及率通过网络特征变量间接作用于电信业务总量,将网络特征变量作为中介变量,检验中介效应的存在。基于检验电话普及率对被解释变量产生的直接效应模型(1),若系数β_{11}显著,则通过构建模型(2)检验核心解释变量对中介变量是否具有显著性影响。

模型(2)中:网络参数为中介变量,即平均路径长度、最短直径、聚类系数、度等。如果系数β_{21}显著,说明核心解释变量对中介变量具有显著性影响。

(3)纳入中介变量的电话普及率与电信业务总量的关系检验。对应为上述模型(3),为加入所有变量检验中介变量对被解释变量影响是否显著。

如果模型(1)中的系数β_{11}显著,模型(2)中的系数β_{21}和模型(3)中的β_{32}都显著,则中介效应显著。完全中介效应还要加上:模型(3)的系数β_{31}不显著(James 和 Brett,1984)[15]。如果检验结果都显著,依次检验的结果强于bootstrap法检验结果(温忠麟和叶宝娟,2014)[14]说明通过间接路径的因果关系成立。

(二)计量结果与分析

本文按照移动业务和固定电话业务分别做相应的计量分析,鉴于移动业务收入所占比率较高,先进行移动业务计量工作。

由于移动电话和固定电话收入占比维持大致不变(如2017年移动通信业务实现收入9071亿元,在电信业务收入中占比为71.9%。整体占比在2012—2017年期间大致维持在70%左右)②。因此选取整体电信业务总量作为移动业务的被解释变量。

鉴于中介变量与自变量、因变量的关系应该显著性相关的前提,先做相关检验,结果见表5。

由表5中得知,3个变量之间的相关关系明显显著,可以进行中介模型的计量分析。因此本文按照上文模型(1)~模型(3)依次进行计量,所得结果见表6。

由表6可知,针对直接效应的计量模型(1)检验,如表6中第(1)列和第(2)列所示,普及率对电信业务总量影响高度显著;基于中介效应模型(2)的检验如表中第(3)列所示,所得结果高度显著,表现为倒"U"型非线性关系;综合中介效应与解释变量的计量结果如表中最右边的第(4)列所示,所得结果发现,移动电话普及率与电信业务总量之间具有"U"型非线性关系;与表中第(2)列的普及率符号和数值的对比发现,"U"型关系的方向没有变化,但一次项和二次项的数值有差异:加入中介变量因素之后,普及率的"U"型曲线,明显比没有考虑平均路径长度的负向影响要弱③,表明存在中介效应。事实上,第(4)列中介效应数值为-0.22而显著性水平小于10%,进一步阐释平均路径长度中介效应的具体影响。这说明:平均路径长度越短,则越促进电信业务总量增长。本文将在后文稳健性检验中,用另外其他的网络参数进行中介效应的验证。

表5　三个变量的相关关系及检验的t值与p值

相关系数	电信业务总量	普及率	平均路径长度
电信业务总量	1.0	—	—
	—	—	—
普及率	0.96	1.0	—
	12.71(0.00)	—	—
平均路径长度	-0.65	-0.65	1.0
	-2.93(0.01)	-2.93(0.01)	—

注:表中每个参数的第一行为相关系数,第二行为t统计值;括号内为p值;***、**、*分别表示回归系数在1%、5%、10%的显著性水平下显著。

表6　移动电话中介效应模型的检验结果

被解释变量		(1)	(2)	(3)	(4)
		ln(信业务总量)	ln(电信业务总量)	ln(平均路径长度)	ln(电信业务总量)
解释变量	ln(普及率)	0.75(0.07)***	-0.57(0.73)**	3.16(0.90)***	-1.39(0.57)**
	ln(普及率)^2	—	0.17(0.10)*	0.41(0.11)***	0.15(0.08)*
中介变量	ln(平均路径长度)	—	—	—	-0.22(0.12)*
控制变量	ln(城镇化率)	—	3.77(0.51)***	—	3.61(0.38)***
	ln(电信新增投资)	—	0.03(0.006)***	—	0.04(0.01)***
常数项		6.67(0.25)***	15.66(1.18)***	-5.38(1.81)***	15.29(0.97)***
Adj_R^2		0.93	0.99	0.61	0.99

注:括号内为标准误差;***、**、*分别表示回归系数在1%、5%、10%的显著性水平下显著。

接下来,进行固定电话业务的中介模型检验。不同于以上的移动电话,由于得不到逐年固定电话分省市业务收入

② 数据来源:2017年通信业统计公报. http://www.miit.gov.cn/n1146285/n1146352/n3054355/n3057511/n3057518/c6047251/content.html。

③ 可以通过画出这两个"U"型曲线看出。

的数据进行计算，本文采用固定电话用户数作为替代被解释变量，相关计量结果见表7。

表7中的第（1）列和第（2）列为电话普及率与固定电话用户的直接效应检验，具有高度显著性。第（3）列为中介效应检验结果，显示固定电话普及率与固定电话的平均路径长度之间呈倒“U”型关系，但显著性水平分别只有5%（一次项）和10%（二次项），且Adj_R^2的值只有0.17。从第（4）列综合检验结果发现，自变量普及率高度显著，且数值与前面的模型比较的回归系数[第（1）列和第（2）列中普及率]有所减小；但第（4）列中介变量的检验结果符号相反且不显著。本文没有发现类似于移动电话业务那样的明显中介效应的存在。本文推测，目前固定电话已经没有如移动电话那样的具有网络效应的影响特征，下文也对此进行稳健性检验。

表7　固定电话中介效应模型的检验结果

被解释变量		（1） ln （信业务总量）	（2） ln （电信业务总量）	（3） ln （平均路径长度）	（4） ln （电信业务总量）
解释变量	ln（普及率）	0.94（0.02）***	0.95（0.02）***	8.9（4.17）**	0.95（0.02）***
	ln（普及率）^{2}	—	—	−1.43（0.71）*	—
中介变量	ln （平均路径长度）	—	—	—	0.02（0.02）
控制变量	ln （电信新增投资）	—	0.009（0.0005）***	—	—
常数项		7.35（0.06）***	7.27（0.06）***	−5.38（1.81）***	7.27（0.06）***
Adj_R^2		0.99	0.99	0.17	0.99

注：括号内数值为标准误差；***、**、*分别表示回归系数在1%、5%、10%的显著性水平下显著。

（三）稳健性检验与分析

为进一步验证以上移动电话具有中介效应而固定电话并未发现这一情况的结论，下面进行稳健性检验。基于网络参数除了包含平均路径长度外，另有采用度值、最短直径和聚类系数来衡量的。因此，本文将网络参数依次置换为以上数值。移动电话稳健性检验的相应结果见表8。

表8中介变量回归的第（1）列和第（2）列，证实了与表6中第（3）列相同的计量结果：移动的网络参数与普及率呈非线性的“U”型关系，如表8第（1）列的电话普及率与网络直径之间，就呈现为先升后降的性质；第（2）列则说明，普及率与聚类系数呈现为“U”型关系特征，显示了近年来的移动电话普及率提升了网络集聚程度。第（3）列和第（4）列则为综合效应计量结果，其中第（3）列的移动电话普及率回归系数0.57明显比仅有单一自变量的回归系数0.75（表6）要小，显示中介效应的存在，而且表8第（3）列中的中介效应检验为显著的非线性的“U”型关系；第（4）列中普及率的“U”型特征，是对表6中第（4）列的中介效应存在的验证。值得注意的是，第（4）列中的聚类系数的符号为负，说明过高的聚集，并不利于电信业务的发展。

表9为固定电话稳健性检验的相应结果。

表9第（1）列为网络参数“直径”与自变量普及率之间的关系计量，显示了显著的倒“U”型曲线关系；第（2）列为聚类系数与自变量普及率之间的倒“U”型关系特征的计量，结果为5%的显著性水平。第（1）列和第（2）列的非线性倒“U”型关系，与表7第（3）列中对平均路径长度的计量结果一致；但这里固话的聚类系数特征与表8第（2）列移动电话的“U”型关系为倒置，原因在于固定电话样本后期的聚类系数有所下降导致。

表8　移动电话中介效应模型的稳健性检验

被解释变量		栏（1） ln （直径）	栏（2） ln （聚类系数）	栏（3） ln （电信业务总量）	栏（4） ln （电信业务总量）
解释变量	ln（普及率）	4.18（1.97）**	−1.99（0.65）***	0.57（0.05）***	−5.01（0.93）***
	ln（普及率）^{2}	−0.55（0.25）**	0.25（0.08）***		0.71（0.12）***
中介变量	ln（直径）			−3.51（0.97）***	
	ln（直径）^{2}			1.10（0.31）***	
	ln（聚类系数）				−0.50（0.17）***
控制变量	ln （新增电信投资）			0.02（0.01）**	0.05（0.008）***
常数项		−6.29（3.34）	3.57（1.25）***	10.01（0.89）***	17.74（1.77）***
Adj_R^2		0.13	0.20	0.97	0.98

注：括号内数值为标准误差；***、**、*分别表示回归系数在1%、5%、10%的显著性水平下显著。

表9　固定电话中介效应模型的稳健性检验

被解释变量		（1） ln （直径）	（2） ln （聚类系数）	（3） ln （固定电话用户）	（4） ln （固定电话用户）
解释变量	ln（普及率）	21.05（6.35）***	5.31（2.04）**	0.95（0.02）***	0.96（0.02）***
	ln（普及率）^{2}	−3.39（1.07）***	−0.89（0.35）**		
中介变量	ln（直径）			0.007（0.01）	
	ln（聚类系数）				−0.02（0.03）
控制变量	ln （新增电信投资）			0.009（0.0007） ***	0.009（0.0007）***
常数项		−31.01（9.42）***	−8.05（2.95）**	7.27（0.06）***	7.27（0.06）***
Adj_R^2		0.38	0.13	0.99	0.99

注：括号内数值为标准误差；***、**、*分别表示回归系数在1%、5%、10%的显著性水平下显著。

由表9第(3)列可知,作为中介变量的直径,其中介效应仍然不显著且符号不正确[④]。第(4)列中的中介变量(聚类系数)也明显不显著,虽然第(4)列中解释变量普及率的回归系数高度显著,但与表7第(1)列和第(2)列中不含中介变量的解释变量普及率的回归系数数值相比,并无大的差异,也说明没有发现中介效应的迹象。

表9中第(3)列、第(4)列与表7中第(4)列的结果互为印证,结果显示:作为网络参数的直径,特别是平均路径长度和聚类系数,后者这两种凸显通信网基本拓扑结构呈现为网状、环形或复合型等特征的网络参数,均未发现明显的中介效应。本文认为,固定电话并没有发现网络参数(中介效应)对电信业务具有明显贡献的特征。

五、结论与政策借鉴

本文基于我国电信分省市地域的数据,从移动电话和固定电话两个业务层面,通过网络结构构建和演化分析,得到其随时间变化的重要网络参数值:平均路径长度、直径、度和聚类系数等,并分析其网络关联特征;此外,建立了电信业务发展受网络参数影响的计量模型,分别对移动电话和固定电话业务进行中介效应检验,以试图发现电信业发展随同经济等相关影响因素之外,还包含电信网络效应的影响及特征。这不仅是对现有复杂网络理论的一种实践,也是试图了解网络内在关系变化如何影响电信业内在发展模式的一种探索。

基于电信业的网络特征和网络效应,本文完成了如下工作:首先,基于省域电信业的发展状况,构建了4个代表年份的网络结构图,这对于理解电信网络特征的演化规律有指导意义;其次,分移动和固话测算重要网络参数数值并进行比较,通过了解移动和固话电信业务用户群的动态变动过程,对未来整体电信发展的业务侧重点选择和行业发展战略也有借鉴作用;再次,研究电信相关业务发展受基本影响因素如地域经济、基建建设、新增电信投资等因素,特别是网络效应的影响,弥补了目前研究的缺乏;最后,区分移动、固话两大电信业务的网络中介效应,明晰新老业务网络效应的差异,对于产业进一步规划未来新业务投资重点和网络整体布局也有启示作用。

研究发现:

第一,电信分业务发展态势方面,电话用户在不同省份间的关联呈现紧密发展态势,整体网络聚集程度提高。移动电话普及率逐年呈上升态势,但固定电话普及率从2012年逐年下降,显示固话发展出现瓶颈。这种普及率的相对变化表明,移动业务已经逐步侵蚀和在某些业务上逐步取代固话业务。分地域来看,东部地区不论是固定电话还是移动电话,其普及率均高于中、西部。分业务增长情况看,东部固定电话普及率虽有下降但较为缓慢,而东部地区移动电话普及率虽然处于上升趋势但并不快速,恰恰是西部地区移动电话普及率,上升极快,也是移动业务增长的一个领域。

第二,网络结构及演变显示,移动电话网络走过了聚集-弱疏离-继续聚集的过程,而固定电话则是聚集-疏离-再聚集而达到网络稳定的演变方式。移动电话在我国发展迅速,得益于各省份发展不均衡,未来反而继续存在不发达地区作为新的经济增长点的可能,这在研究期间的网络关联程度从不太紧密及有孤立点,到孤立点数量减少和逐步紧密的网络结构演变中,已经展现了这一运动轨迹。而固定电话虽然在发达地区能够维持中心网络地位,但随着移动业务的侵蚀,网络密集已经到达饱和状态,新的增长平台尚缺乏。

第三,网络参数演变分析发现,①移动/固定电话中心度值及节点分布,佐证了移动业务2005年时的疏离-走向聚集-2013年的少许稀疏波动-2013年之后的继续紧密聚集状态;固定电话网络呈现疏离(2005—2006年)-之后密集-再次疏离(2010—2013年)-再趋聚集的状态;②平均路径长度和直径方面,二者均显示网络处于渐趋紧密趋势方向;移动电话的路径长度从2006年一直稳定下降,显示明显网络改善的状况;而固话的同期数据虽然好于移动,但期间出现反复,且于2011年才趋于下降,时间节点晚于移动;③聚类系数佐证了移动和固话经历了网络疏离到紧密的过程,而度值分布则显示了网络演变经历了4峰3底的波动过程。

第四,分移动和固话业务对产业发展的计量分析发现,①电话普及率无论对移动业务还是固话业务均存在明显贡献,但结合网络效应后,普及率有时表现为非线性关系(如U型曲线);②网络中介效应模型发现,解释变量(电话普及率)与不同网络参数之间呈现为非线性的U型或倒“U”型关系,这与以往的其他研究很多

④ 本文采用的调整解释变量为线性、非线性的U型,调整中介变量为非线性的U型及其他形式,以及不同控制变量纳入的方式,均没有发现与移动电话计量回归那样明显的显著性结果。

为线性的不同;③网络参数对电信业务总量的影响及网络中介效应方面,移动和固话的表现不同:移动的网络参数与电信业务总量之间存在中介效应,而固定电话则未发现这种情况;优化网络参数对移动业务发展有明显贡献,而固定业务目前则没有发现类似结论;④不同网络参数对电信发展的影响存在差异:减少平均路径长度和直径,有利于移动和固话二者电信业务发展;聚类系数而言,移动业务网络的过高聚集,并未发现有同步提升业务的好处;而固话网络的聚集系数显示,进一步聚集对其业务没有发现明显的贡献。

针对我国电信产业网络关联性日趋增强的现状,以及移动和固话业务发展路径不同的现实,提出以下相关建议:其一,增强移动业务在不发达地域的建设和电话普及率提升,相关促进措施在一定程度上或将促进移动业务进一步发展。其二,建议固话业务维持好发达地区的市场占有,并增强中部地区的客户群建设,鉴于中部或中等发达省市与其他省市的关联趋于紧密,提升这些省市的固话业务可能是一种新的经济增长点。其三,基础设施升级应适度结合原有网络效应、综合投入产出和整体产业网络的健康发展,避免单纯新技术使用对原有设施的客户群驱赶作用而得不偿失。

参考文献

[1] 宓泽锋, 曾刚, 2017. 创新松散型产业的创新网络特征及其对创新绩效的影响研究——以长江经济带物流产业为例[J]. 地理研究, 36(9): 1653-1666.

[2] 常硕, 崔静宜, 2011. 中国电信业效率测评及影响因素分析[J]. 产经评论(5): 34-40.

[3] 陈肖飞, 苗长虹, 潘少奇, 等, 2018. 轮轴式产业集群内企业网络特征及形成机理——基于2014年奇瑞汽车集群实证分析[J]. 地理研究, 37(2): 353-365.

[4] 蔡高明, 李志斌, 王东宇, 等, 2017. 中原城市群产业投资网络结构特征分析[J]. 城市发展研究, 24(12): 16-21.

[5] 方大春, 王海晨, 2017. 我国产业关联网络的结构特征研究——基于2002—2012年投入产出表[J]. 当代经济管理, 39(11): 71-78.

[6] 符正平, 曾素英, 2008. 集群产业转移中的转移模式与行动特征: 基于企业社会网络视角的分析[J]. 管理世界(12): 83-92.

[7] 韩磊, 苑春荟, 2012. 中国电信业省际运营效率评价与影响因素研究—— 基于四阶段DEA方法的实证分析[J]. 产业经济研究(3): 26-32

[8] 胡平, 周森, 温春龙, 2012. 产业集群网络特征与创新活跃性的关系研究[J]. 中国科技论坛(10): 10-16, 57.

[9] 胡平, 邵鹏, 温春龙, 2013. 网络特征对创新产业集群成长的影响研究——以珠三角地区信息服务产业为例[J]. 科学学与科学技术管理, 34(12): 55-62.

[10] 何明芮, 张小玲, 2019. 产业集群网络结构特征对集群企业知识升级的影响——基于结构洞和网络封闭结构[J]. 电子科技大学学报(社会科学版), 21(3): 91-99.

[11] 姜巍, 高卫东, 熊天琦, 2015. 中国能源产业网络结构特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 29(8): 196-202.

[12] 贾军, 魏洁云, 2018. 新能源产业技术网络的结果特征及其演变分析——以太阳能发电技术为例[J]. 情报杂志, 37(2): 57-62, 75.

[13] 刘孟飞, 2014. 网络融合下的中国电信业效率评价及其影响因素研究[J]. 产经评论, 5(2): 79-92.

[14] 李再扬, 杨少华, 2010. 中国省级电信业技术效率: 区域差异及影响因素[J]. 中国工业经济(8): 129-139.

[15] 李茂, 2016. 中国产业关联网络的拓扑特征演变[J]. 技术经济, 35(7): 80-89

[16] 李海东, 2010. 基于社会网络分析方法的产业集群创新网络结构特征研究——以广东佛山陶瓷产业集群为例[J]. 中国经济问题(6): 25-33.

[17] 李树祥, 庄倩, 褚淑贞, 2018. 基于社会网络视角的江浙沪地区医药产业空间分布特征分析[J]. 中国医药工业杂志, 49(7): 1027-1032.

[18] 李守伟, 朱瑶, 2016. 合作创新网络结构特征对企业创新绩效的影响研究——以新能源汽车产业为例[J]. 工业技术经济, 35(11): 137-144.

[19] 马骥, 马武雄, 2007. 中国电信业发展的区位差异及其影响因素研究[J]. 移动通信(12): 88-91.

[20] 马为彪, 方大春, 2018. 中国高技术产业的空间关联网络特征研究——基于社会网络分析法[J]. 山东工商学院学报, 32(1): 55-64.

[21] 莫霜叶, 张伯伦, 2019. 基于复杂网络理论的电力网络线路脆弱性分析[J]. 电子产品世界, 26(1): 45-48.

[22] 彭建平, 张业军, 2012. 电信社群网络用户行为特征及演化分析[J]. 管理工程学报, 26(3): 88-95.

[23] 戚聿东, 张任之, 2016. 国有企业合并重组提高了企业绩效吗? ——以电信业为例[J]. 经济管理, 38(12): 16-30.

[24] 任会明, 叶明确, 2018. 上海银行产业的网络结构特征和空间格局演化[J]. 经济地理, 38(9): 147-157.

[25] 汪贵浦, 陈明亮, 2007. 邮电通信业市场势力测度及对行业发展影响的实证分析[J]. 中国工业经济(1): 21-28.

[26] 王茂军, 杨雪春, 2011. 四川省制造产业关联网络的结构特征分析[J]. 地理学报, 66(2): 212-222.

[27] 王鹏, 王艳艳, 2016. 产业共生网络的结构特征演化图谱及稳定性分析——以上海市莘庄生态产业园为例[J]. 上海

经济研究(1)：22-33.
[28] 吴松强，蔡婷婷，赵顺龙，2018. 产业集群网络结构特征知识搜索与企业竞争优势[J]. 科学学研究，36(7)：1196-1205，1283.
[29] 王京，高长元，2014. 软件产业虚拟集群创新网络演化模型及拓扑结构特征研究[J]. 管理评论，26(12)：29-37.
[30] 温科，张贵，2019. 京津冀产业空间关联网络特征及其转移效应研究[J]. 河北工业大学学报社科版，11(1)：1-12.
[31] 温忠麟，叶宝娟，2014. 中介效应分析：方法和模型发展[J]. 心理科学进展，22(5)：731-745.
[32] 于良春，刘晓斌，2016. 中国电信业竞争性改革的消费者福利分析[J]. 财经问题研究(7)：25-32.
[33] 叶琴，曾刚，2018. 解析型与合成型产业创新网络特征比较——以中国生物医药、节能环保产业为例[J]. 经济地理，38(10)：142-154.
[34] 赵巧芝，闫庆友，2017. 基于社会网络分析的中国行业碳流动网络性质和结构特征研究[J]. 科技管理研究，37(9)：233-239.
[35] 钟昌宝，干心一，2017. 中国省际物流产业发展的空间关联网络结构特征分析[J]. 常州大学学报(社会科学版)，18(4)：51-61.
[36] 朱孟珏，庄大昌，2018.2001—2015年全球健康产业贸易网络特征研究[J]. 人文地理，160(2)：76-83.
[37] 袁丹，占绍文，雷宏振，2018. 丝绸之路经济带文化产业集聚关联网络特征及驱动因素分析[J]. 民族学研究，29(1)：88-93.
[38] 赵炎，王冰，郑向杰，2015. 联盟创新网络中企业的地理邻近性区域位置与网络结构特征对创新绩效的影响——基于中国通讯设备行业的实证分析[J]. 研究与发展管理，27(1)：124-131.
[39] ALBERT R，BARABASI A L，2002. Statistical mechanics of complex networks[J]. Reviews of Modern Physics，74(1)：47-97.
[40] BARABASI A L，AlBERT R，1999. Emergence of scaling in random networks[J]. Science，286(5439)：509-512.
[41] ERDOS P，RENYI A，1961. On the evolution of random graphs[J]. Bulletin of the Institute of International Statistics，38：343-347.
[42] JAMES L R，BRETT J M，1984. Mediators，moderators，and tests for mediation[J]. Journal of Applied Psychology，69(2)：307-321.
[43] KAMINSKI B，LATEK M，2010. The influence of call graph topology on the dynamics of telecommunication markets[J]. Agent and Multi-Agent Systems：Technologies and Applications，6070：263-272.
[44] LIMBACH F，WULF J，ZAMEKOW R，2011. Revenue distribution in a quality-centric internet interconnection market[C]// 17th Americas Conference on Information Systems Detroit：AMCIS：1872-1880.
[45] RUEDA D F，JOSE L E，2017. Robustness comparison of 15 real telecommunication networks：Structural and centrality measurements[J]. Journal of Network and Systems Management，25(2)：269-289.
[46] RUEDA D F，CALLE E，2017. Using interdependency matrices to mitigate targeted attacks on interdependent networks：A case study involving a power grid and backbone telecommunications networks [J]. International Journal of Critical Infrastructure Protection，16：3-12.
[47] WATTS D J，STROGATZ S H，1998. Collective dynamics of small-world networks[J]. Nature，393(6684)：440-442.

Do Network Properties Affect Industrial Income：An Empirical Study Based on China Mobile and Fixed Telephones

Wang Guipu[1]，Xu Yan[2]，Zhang Jinhua[2]，Xiao Ang[3]

(1. School of Management，Zhejiang University of Technology，Hangzhou 310023，China；2. School of Economics，Zhejiang University of Technology，Hangzhou 310023，China；3. University of Connecticut，Business School，Connecticut 06269，USA)

Abstract：There are a lot of researches on the characteristics of industrial network structure，but lack of analysis work for telecommunication network. Based on the data of China's Telecom provinces and cities from 2004 to 2017，its impact on the development of telecom services is analyzed. It is found that network features promote the growth of mobile services，but no significant contribution to fixed phone services. Among them，the mobile service network experiences the process of cluster，lightly sparse and re-cluster，while the fixed line telephone is the evolution way of cluster-sparse-cluster again. Although the fixed line network is superior to the mobile network in the initial stage，it has reached a stable stage later and has less optimization space than mobiles under the background of declining telephone penetration. It is found the relationship between telephone penetration rate and different network parameters is nonlinear U-shaped or inverted U-shaped. And mobile phones benefit from the network mediating effect. The above conclusions provide us to understand different business network aggregations and behaviors，as well as the network expansions，users preference and changing network scale effects.

Keywords：telecoms networks；structure property；mediating effects；industrial development