
长三角地区新型基础设施建设的地理格局及影响因素——以 5G 基站为例¹

张英浩^{1,2,4} 汪明峰^{1,2,3*} 汪凡^{1,2} 匡爱平^{1,2}

- (1. 华东师范大学中国现代城市研究中心, 上海 200062;
2. 华东师范大学城市与区域科学学院, 上海 200241;
3. 华东师范大学中国行政区划研究中心, 上海 200241;
4. 伯明翰大学战略与国际商务系, 伯明翰 B152TT, 英国)

【摘要】：5G 基站是新型基础设施的重要领域，是新时期赋能产业优化升级、经济转型、拉动投资的新通道。厘清 5G 基站的空间分异特征及其空间分布影响因素对于更科学、合理地规划新基建具有一定的现实意义。运用空间探索性分析、空间计量模型等方法对长三角地区 5G 基站空间格局与影响因素进行综合性探究。结果表明：(1) 长三角地区县域尺度下 5G 基站空间分布表现出明显的中心地区集中倾向，在长三角核心区形成“Z”字形高值连片区，低值区多分布在长三角外围地区，形成区域性的中心-外围式空间格局。(2) 长三角地区 5G 基站核密度高值区主要分布在市辖区内，与非市辖区存在较为明显的数字基础设施鸿沟。(3) 长三角地区 5G 基站空间分布受到技术需求、技术支持和空间因素等多方面显著影响。与影响传统的信息通信基础设施空间分布的因素相比，影响 5G 基站空间分布的指标因素中，经济主体性更明确、特定人群需求特征更强。最后，对如何科学、合理地进行 5G 基站空间部署总结出若干建议。

【关键词】：5G 基站；新基建；长三角；宽带与移动通信；空间计量模型；数字经济

【中图分类号】：X321；F299. 27 **【文献标识码】**：A **文章编号**：1004- 8227(2022)12- 2557- 11

【DOI】：10. 11870 / cjlyzyyhj202212001

¹ **【收稿日期】**：2022- 01- 05；**【修回日期】**：2022- 04- 14

【基金项目】：国家社会科学基金重点项目(19AZD007)；上海市教育委员会科研创新计划重大项目(2021- 01- 07- 00- 08- E00130)

【作者简介】：张英浩(1993 ~)，男，博士研究生，主要研究方向为城市地理与城市经济。E- mail: zhangyinghao16@mails.ucas. ac. cn

* **【通讯作者 E- mail】**：mfwang@re. ecnu. edu. cn

信息基础设施是推动地区经济增长与持续发展的重要引擎^[1,2,3]。随着信息技术的不断更新迭代,第五代移动通信技术(5th Generation Mobile Communication Technology, 5G)已成为当前全球新一轮科技革命的焦点。5G 基站作为新型基础设施的重要领域,是新时期实现产业优化升级、发展新经济、拉动投资的新通道^[4,5]。作为第五代移动通信技术,5G 不仅可以提供更高的宽带以满足基础通信功能,同时,其海量连接、超低延迟、高可靠性的特性也为智慧医疗、智慧工业等应用场景提供了技术基础^[6]。企业数字智能化、产业互联网等数字经济、发展催生了对 5G 的需求,5G 反过来进一步促进了经济的发展。为了更好地发挥 5G 的社会经济效益,国家政策对 5G 的重视度不断上升。特别是在 2020 年,国务院常务会议和相关文件多次强调加快 5G 商用步伐。在此背景下,5G 基站建设进入了加速阶段。据工业和信息化部的数据显示,截至 2020 年 10 月,中国已累计建设 5G 基站 70 万个,5G 网络建设呈现出东部沿海领先于内陆地区、南方领先于北方的特点;而在 2021 年,中国新增 5G 基站数达到了 65.4 万个;到 2022 年 2 月,已经累计建成开通 5G 基站 142.5 万个。除了国家层面出台多项重要政策外,各省市也出台相应的 5G 基站规划目标以推进地区 5G 基建的建设与应用。但是 5G 基站具有频率高、传输距离较短、建设与维护成本高等特点,在建设时通常遵循“宏微协同,异频组网”的原则,并且要满足 5G 组网扩展覆盖、数据分流、室内信号覆盖三大场景基本要求,因此需要进行合理的空间规划与部署,才可以高效地发挥新一代移动信息通信技术赋能社会经济发展的作用。

近几十年来,信息通信基础设施在全球与区域经济发展和空间组织演变中发挥了关键作用^[7,8],其中既包括对发达地区积极作用^[9],也包括对欠发达地区的积极影响^[10,11]。宽带作为信息通信基础设施的早期代表,是地理学者们的重点研究对象之一。宽带接入在空间分布上的变化不仅会对城市体系、城市等级^[12]和城市经济发展产生影响^[13],还会影响地区高科技产业发展^[14]与医疗服务与就业水平^[15]。在信息通信基础设施的空间格局与数字鸿沟研究方面,学者们对数字鸿沟的衡量与评估进行了大量研究,其中宽带接入水平作为一项重要的指标影响着数字鸿沟的空间格局与区域差异;具体的研究层面包括全球、区域以及不同发展水平的国家内部情况,并发现不同尺度下,宽带接入水平均存在明显的地区差异与数字鸿沟^[16,17,18]。对于宽带供应部署的影响因素研究,学者们发现除了城市与农村之间的明显差异外,人口密度、年龄分布、收入水平、教育水平、商业需求、动态增长等都是影响宽带空间分布的重要影响因素^[20,21]。无线局域网和移动通信是具有无线接入特征的信息通信技术基础设施的重要表现形式,由于其灵活性,一些用户选择用其替代或补充有线宽带服务,这在一定程度上解决了有线宽带的“最后一公里问题”^[22,23]。无线信息通信基础设施的建设与部署也会对地方发展产生一定的社会经济与空间效应。已有研究发现,移动通信设施的部署是地区技术效率与技术创新的重要驱动力^[24,25],并且无线网络可以通过完善与提高物流与电子商务发展水平,影响地区经济结构^[26]与城市空间结构^[27]。已有文献探究了无线局域网和公共 Wi-Fi 接入位置的影响因素,发现无线宽带空间部署的基本驱动力和布局导向是客户需求,并受当地社会经济因素影响^[28]。学者们分别研究了美国辛辛那提、路易斯安那州、伊利诺伊州南部等地区的 Wi-Fi 接入的空间分布,发现 Wi-Fi 接入在城市与郊区存在明显的数字鸿沟现象,不同街区间也存在一定的分布差异,Wi-Fi 接入水平与所在地区受教育人口比例、平均家庭收入、年龄结构以及空间因素密切相关^[20,28,29]。此外,已有研究发现中国 3G 基站在全国尺度呈现不均衡的空间分布状态,城市之间、城乡之间的 3G 基站空间分布存在显著差异,并且呈现出城市基站建设规模与城市等级之间存在明显的对应关系^[30]。但局限于移动通信技术设施和相关影响因素空间数据的可获取性,现阶段的研究大多集中在较宏观的区域层面^[31],缺少对移动通信技术设施更加细致的空间分布与影响因素的探讨与分析。

综合相关文献的研究结论和讨论可以发现,信息基础设施特别是移动通信基础设施,其空间分布存在较为明显的非均衡性特征,其背后可能既有技术需求的影响,也有技术支持和空间因素等方面的影响。认清数字鸿沟的空间分布特性与影响因素,对科学预测与布局信息通信基础设施,发挥其赋能地区社会经济,推动地区数字化转型具有重要意义。在信息通信基础设施更新迭代过程中,5G 基站与传统通信基础设施相比具有一些新颖的社会经济属性^[37]。同时,在信息基础设施存在数字鸿沟的大背景下,明晰 5G 基站的空间分布特征及其空间分布影响因素对于接下来更科学合理的规划新基建建设具有一定的借鉴意义。基于此,本文利用公开的 5G 基站空间点数据以及相关多元空间社会经济数据,基于技术需求、技术支持与空间因素视角构建影响因素分析框架,运用空间计量模型等方法研究长三角地区 5G 基站空间分布特征与影响因素,最后结合分析给出相关政策建议。

1 研究区域、数据来源与研究方法

1.1 研究区域概况与数据来源

依据 2019 年中共中央、国务院印发的《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》划定区域范围, 本文研究区域包括江苏省、浙江省、安徽省和上海市 4 个省市, 共有 41 个城市^[33]。2018 年, 长三角三省一市政府与中国电信、中国联通、中国移动、中国铁塔签署《5G 先试先用推动长三角数字经济率先发展战略合作框架协议》, 开启了 5G 基础设施的建设之路。2019 年中共中央、国务院印发的《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》中明确指出要加快构建新一代信息基础设施, 加快推进 5G 网络建设等具体要求, 这为长三角地区成为新基建, 特别是 5G 基站建设的重点地区奠定了重要基础。此外, 长三角地区范围较广, 其内部社会经济水平、产业结构状况、资源条件差异明显^[34, 35], 具有研究的典型性和代表性。

本文使用电信和联通 5G 基站的总和表示各地区 5G 基站建设情况。中国电信和中国联通在 2019 年签署了《5G 网络共建共享框架合作协议书》, 其中提到长三角地区是其建设覆盖的重点区域。5G 基站数据来源于中国电信 5G 信号查询页面(<https://www.189.cn>)和中国联通 5G 信号查询页面(<https://img.client.10010.com>), 数据收集日期为 2021 年 4 月 30 号, 最终采集到的基站数量为 141 341 个。淘宝村数据来源于阿里研究院发布的《2021 年淘宝村名单》, 共有 7 023 个。电子商务示范基地数据来源于各省、直辖市电子商务示范基地、示范企业名单与高德地图交叉检验, 数量为 585 个。电信与联通营业厅、商业活动、公司企业与高等院校 POI 数据来源于高德地图, 采集时间为 2020 年 11 月, 数量分别为 17 159、26 787、26 297 和 5 806 个。人口与 GDP 栅格数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心。为了更加精细地刻画与分析长三角地区 5G 基站的空间格局与影响因素, 降低行政区面积对集聚特征分析的影响, 创建 10 km×10 km 的网格, 共 3 899 个。

1.2 研究方法

1.2.1 核密度估计法

核密度估计法是以空间中某一点周围的规则区域作为计算范围, 通过计算该区域内观测点数据的密度来分析研究对象的空

间分布特征的方法^[36]。本文利用核密度估计法来呈现长三角 5G 基站空间分布的相对集中程度, 具体计算公式与含义可参见文献^[37]。

1.2.2 探索性空间数据分析

探索性空间数据分析(Exploratory Spatial Data Analysis, ESDA)是一套用于描述和可视化空间分布, 识别非典型位置或空间异常值的技术^[38]。其中, 全局空间自相关分析可以判断某种地理现象是否具有集聚特征, 但不能指出集聚区具体位置。使用热点分析工具可以得出 5G 基站规模高值或低值要素集聚区; 同时, 使用局部空间自相关分析可以进一步识别高低异常值空间^[39]。全局空间自相关、局部空间自相关与热点分析的指标计算和含义可参见文献^[40]。本文使用 Queen 邻接作为空间权重矩阵。

1.2.3 空间计量模型

常用的空间计量模型有两种, 包括空间滞后模型(Spatial Lag Model, SLM)和空间误差模型(Spatial Error Model, SEM), 前者反映空间相邻的因变量之间存在空间扩散或溢出效应, 后者反映的是由于忽略某些变量而导致的空间误差之间存在空间自相关, 具体公式详见参考文献^[40]。为了得到更为稳健的结果, 需要对空间滞后模型与空间误差模型进行拉格朗日乘数检验以确定最终模型^[41]。

2 长三角地区 5G 基站空间格局与分异特征

2.1 空间分布与地区差异

从图 1a 可以看出, 5G 基站规模较大的县级行政单位主要集中在上海市、江苏省的南京市和苏州市、浙江省的杭州市和宁波市、安徽省的合肥市区, 高值县级单元分布相对集中, 形成“Z”字形高值区, 并且被铁路线相连接。低值区主要分布在长三角

外围地区，即江苏北部、安徽北部与南部以及浙江的西南部，与高值区形成明显的空间分异对比，最终呈现以上海-南京-杭州为核心的区域性的中心-外围式的空间格局。图 1b 显示的是长三角县级行政单元 5G 基站密度(规模除以行政区面积)分布图，其中，由于市辖区面积下相对较小，人口、商业经济活动较为集聚，对无线通信有较高的需求，导致 5G 基站密度普遍明显高于其他地区，成为 5G 基站高密度分布区域。

2.2 空间异质性与空间相关性

借助 ArcGIS10.7 对长三角地区 5G 基站点分布进行空间核密度估计，并依据自然断裂法将 5G 基站和密度值分为 5 级进行可视化。从图 2 可以看出，长三角地区 5G 基站核密度一级核心区有 3 个，主要分布在上海市黄浦区、静安区、虹口区、普陀区和长宁区的东部以及徐汇区的北部；南京市秦淮区、鼓楼区、玄武区、建邺区和雨花台区的交界区域；杭州市下城区、上城区和西湖区交界区域。二级核心区除了分布在 3 个一级核心区周围外，还集中在合肥市蜀山区北部以及庐阳区、瑶海区的交界区域。三级核心区除了分布在上述提到的一、二级核心区外，还有 3 个单独的三级核心区，主要分布在无锡市新吴区和梁溪区交界区域，苏州工业园区及其相邻的相城区南部、姑苏区西部、虎丘区东部等区域，温州市鹿城区和瓯海区中部交界区域。主要的 5G 基站核密度高值区主要分布在市辖区内，且大部分与国家级电子商务示范基地重叠。这一方面再次验证市辖区与非市辖区存在较为明显的 5G 基站空间分布的数字鸿沟现状。由于 5G 使用的频段更高，室外宏站覆盖范围较 4G 缩小，并且单个 5G 基站建设与运营成本相对较高^[42]，因此，在考虑成本收益的前提下，优先将 5G 基站更多地部署在人口稠密、经济发达的市辖区则是最优选择。另一方面也说明 5G 基站的需求导向较为明显。国家电子商务示范区作为互联网与传统商务相结合的产物，是促进区域电子商务产业发展、引领产业结构优化和转型的重要空间集聚形式，并担负着聚集电子商务创新资源、培育电子商务服务业以及促进地区经济繁荣等多方面职能，这些特征共同决定了其对 5G 等新一代信息通信技术有较强需求的特征。

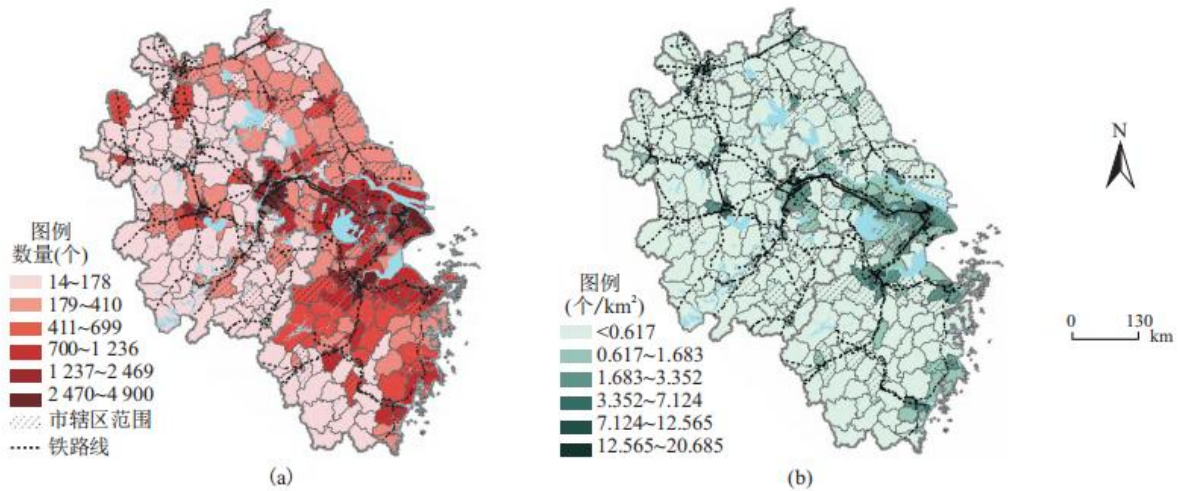


图 1 长三角县级单元 5G 基站规模与密度分布图

Fig.1 Number and density distribution of 5G base stations in county-level units in Yangtze River Delta

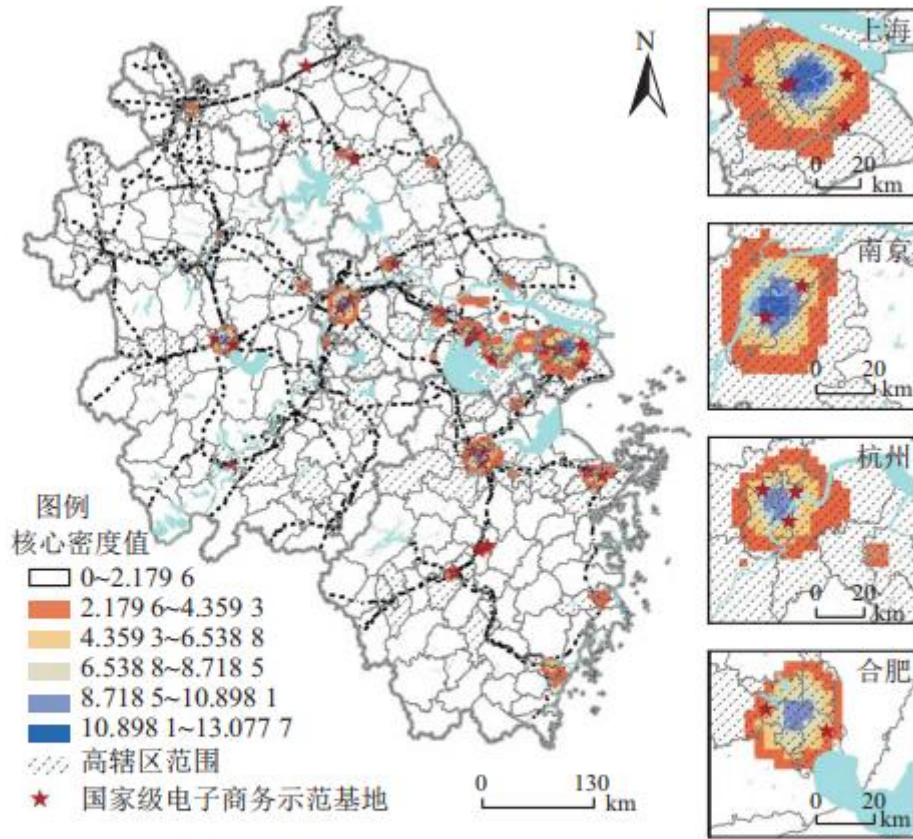


图 2 长三角 5G 基站核密度分布图

Fig. 2 Kernel density distribution of 5G base station in Yangtze River Delta

为了更好地分析长三角地区 5G 基站的空间集聚情况以及为接下来的实证研究做准备，对以 $10\text{ km} \times 10\text{ km}$ 网格为基本单元的研究区域进行全局空间自相关分析，发现研究区 5G 基站数量 Morans' I 为 0.539, P 值为 0.000, Z 得分为 66.033, 具有较强的空间集聚性。进一步运用空间热点分析工具进行局部空间自相关分析，结果显示(图 3)，长三角地区 5G 基站规模高值区与前文中核密度核心区存在一致性，进一步说明了长三角 5G 基站空间分布的异质性。聚类和异常值分析工具识别出了 40 个低-高异质区(L-H)和 13 个高-低异质区(H-L)，其中，低-高异质区主要集中在市辖区边缘位置，属于高值向低值区过渡的地带；高-低异质区则主要分布在被低-低集聚区所包围的地区，且分布较为孤立。5G 基站的经济和实用性导向较为明显，并且 5G 基站仍处在加速部署的阶段，这共同导致了 5G 基站空间非均衡现状。新型基础设施建设与传统基础设施在空间分布方面均存在一定程度的不均衡情况，但新基建是以数字化、网络化、智能化为特征，与铁路、公路等传统基础设施有明显差异[43]，加之自身的明显的经济属性，使其数字鸿沟特征更为明显。

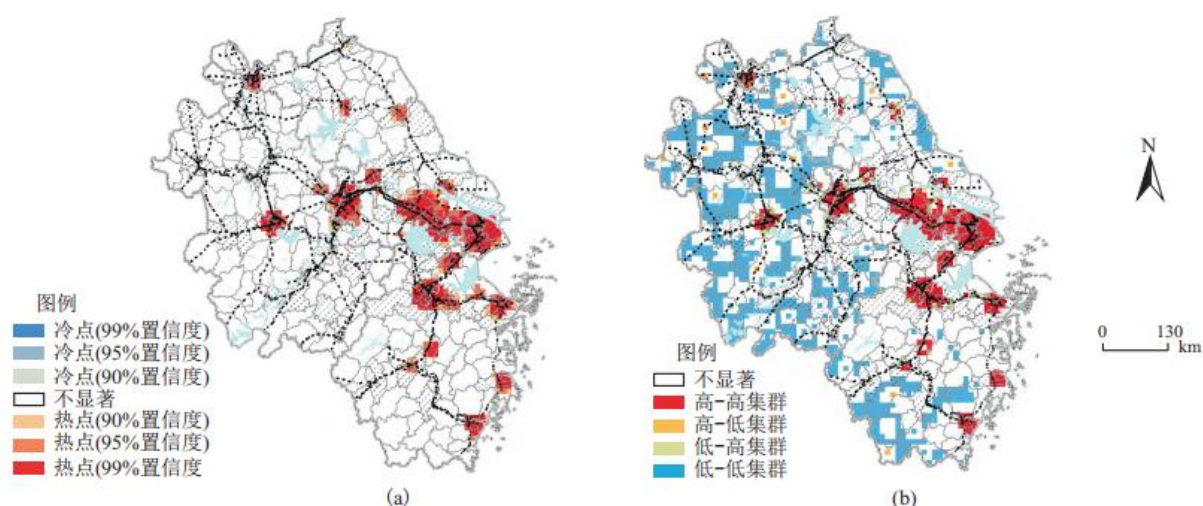


图 3 长三角 5G 基站规模热点图与聚类 and 异常值分布图

Fig. 3 Hotspot map, cluster and outlier of 5G base station in Yangtze River Delta

3 长三角地区 5G 基站空间分布影响因素

3.1 影响因素分析与变量选取

一个地区 5G 基站的规模不仅会与人口、社会经济因素有关，还可能与市场规模、特定的技术支持以及地理位置、空间因素有关^[10]。结合 Mack 等^[21]提出的实证分析框架、文献梳理与数据的可获得性，本文从技术需求、技术支持和空间因素 3 个方面进行变量选取(表 1)。

表 1 变量和指标说明

	维度	指标 单位	英文
因变量		5G 基站数量(个)	5G
自变量	技术需求	人口密度(人/km ²)	PS
		地均 GDP(万元/km ²)	GD
		电子商务产业园数量(个)	EI
		淘宝村数量(个)	TV
		商业活动 POI(个)	BA

		公司企业 POI (个)	FE
		高等院校 POI (个)	HE
	技术支持	运营商营业厅 POI (个)	CB
	空间因素	是否在市辖区内 (是=1, 否=0)	UA

从技术需求看, 人口与社会经济因素被认为与宽带、无线信息通信设施空间分布有密切关系^[20, 21], 但其是否影响移动通信基础设施空间分布还需要进一步实证分析。通常, 人口集聚与经济因素常常被认为是影响基础设施特别是通信基础设施空间分布的重要因素^[20]。其次, 电子商务产业园、淘宝村等以互联网为基础发展起来的电商产业空间通常会对信息通信设施与技术需求较大, 并且会对信息通信技术的更新换代更为敏感, 可能是影响 5G 基站空间分布的重要技术需求因素。其中, 淘宝村作为农村地区数字化发展的重要空间, 电子商务产业园作为城市中数字化转型的重要集聚地, 在需求层面可能表现出明显的空间导向。同时, 随着城市经济数字化转型趋势的不断深化与拓展, 城市中的商业活动、企业活动也已逐渐成为信息通信设施的重要需求者。此外, 年轻人常常是新技术的重要受众群体, 5G 作为新一代信息通信技术, 在空间上是否具有年轻人需求偏好导向也需要进一步研究。高等院校是年轻人重要的集聚空间, 具有表征空间上的年龄结构的重要作用, 因此本文使用高等院校数量来表示具有年龄结构特征的技术需求的影响因素。

技术支持方面, 已有研究通常会考虑电缆调制解调器、数字用户线路、无线和光缆线路等技术层面的供给情况^[20], 但这些因素的统计多以地区为基本空间单元, 容易忽略更为细致的空间异质性。5G 作为一种民用无线通信服务, 各电信运营商线下营业厅是提供 5G 技术支持与服务的主要方式与途径, 因此本文使用运营商营业网点数量来表示技术支持方面的影响因素。空间因素方面, 已有研究认为空间位置和空间异质性对信息基础设施的空间分布具有一定的影响^[44], 如 Mack 等在对美国俄亥俄州的宽带空间分布进行研究时将地理空间异质性纳入了模型中, 发现在城市、大都市区内等空间与位置因素对宽带分布有显著的影响[21]。因此本文也尝试将空间与位置因素纳入到模型中, 以捕捉地理异质性对 5G 基站空间分布的影响。在中国, 市辖区是区域经济发展的中心地区, 具有城市化水平高、人口密度大、经济相对发达等特征, 但同时市辖区范围较大, 对 5G 基站的需求可能不够集中, 阻碍规模效应的发挥。此外, 空间计量模型中的空间滞后项或空间误差项也可以表征空间因素的影响情况。具体指标维度与名称等见表 1。

3.2 模型预处理

在 SPSS25.0 中对所有影响因素进行预处理主要是检查模型的多重共线性问题[39]。检验结果表明, 有 7 个解释变量通过了共线性诊断 ($VIF < 5$), 分别是人口密度、地均 GDP、电子商务产业园数量、公司企业数量、高等院校数量、运营商营业厅数量和是否在市辖区内。鉴于长三角地区 5G 基站规模空间分布存在空间效应, 故采用空间计量模型进行计算。通过比较 OLS、SEM 和 SLM 以及拉格朗日乘数检验的结果发现(表 2), SLM 的 R^2 和 Log Likelihood 均大于 OLS 和 SLM, AIC 和 SC 值均小于 OLS 和 SEM, 并且 SLM 模型的 LM 和 Robust LM 的值均大于 SEM, 说明 SLM 模型具有更好的解释力, 因此, 后续结果分析基于 SLM 展开。

表 2 影响因素空间模型回归结果

视角	变量	OLS	SEM	SLM	SLM_CT	SLM_CU
----	----	-----	-----	-----	--------	--------

技术需求	PS	0.224*** (8.190)	0.004 (0.166)	0.150*** (5.555)	0.081*** (3.621)	0.234*** (6.580)
	GD	0.331*** (9.224)	0.189*** (6.464)	0.224*** (6.232)	0.335*** (11.234)	0.090* (1.910)
	EI	0.315*** (24.961)	0.257*** (25.034)	0.249*** (22.502)	0.191*** (20.816)	0.307*** (21.009)
	FE	0.088*** (6.581)	0.033*** (3.041)	0.057*** (4.627)	0.050*** (4.887)	0.063*** (3.866)
	HE	0.435*** (23.215)	0.380*** (25.0136)	0.290*** (18.351)	0.248*** (19.033)	0.322*** (15.389)
技术支持	CB	0.408*** (53.299)	0.392*** (62.655)	0.411*** (59.744)	0.299*** (52.555)	0.538*** (59.226)
空间因素	UA	0.008*** (7.854)	-0.001 (-0.923)	0.007*** (5.223)	0.006*** (5.490)	0.007*** (4.317)
	常数项	-0.009*** (-13.086)	-0.008** (-15.005)	-0.003** (-2.120)	-0.002 (-1.277)	-0.005*** (-2.777)
空间误差项		-	0.747*** (53.649)	-	-	-
空间滞后项		-	-	0.465*** (44.306)	0.481*** (47.002)	0.469*** (40.253)
R ²		0.845	0.897	0.899	0.904	0.864
Log Likelihood		8 224.56	8 803.425	8 971.55	9 782.98	7 785.66
AIC		-16 431.1	-17 588.8	-17 923.1	-19 546.0	-15 551.3
SC		-16 374.7	-17 532.4	-17 860.4	-19 483.3	-15 488.6
LM-Lag		1 583.85***	-	-	-	-
LM-Error		1 267.12***	-	-	-	-
R- LM Lag		637.16***	-	-	-	-
R-LM Error		320.28***	-	-	-	-

注：*、**和***分别表示在 10%、5%和 1%水平下显著；括号内为统计量。

3.3 模型结果与机制分析

长三角 5G 基站规模空间分布影响因素的 SLM 结果如表 3 所示。从结果来看,所有影响因素的系数均为正,其中人口数量、经济发展水平、电子商务园区数量、公司企业数量、高等院校数量、运营商营业厅数量、是否在市辖区等 7 个指标以及空间滞后项均通过了 1%的显著性检验。从实证结果看,影响 5G 基站空间分布与影响宽带和 Wi-Fi 等上一代信息通信基础设施空间分布的影响因素具有一定的相似性[17, 28, 30],特别是人口集聚与经济水平因素,同时,5G 基站的空间分布还表现出明显的多主体的技术需求导向特征。

具体地,人口因素与经济因素同样深刻影响着 5G 基站的空间分布。人口集聚与经济发展水平较高的地区往往存在对信息通信基础设施的潜在需求,已有许多研究也均证实,人口数量较多、经济发展水平较高的地区与街道往往是信息通信基础设施部署的重点区域。其中,人口的集聚会释放规模效应,吸引更多的设施建设与升级;经济发展因素则会为通信基础设施提供重要的经济保障与消费潜力。

信息通信基础设施是进行电子商务活动的重要保障。实证结果显示电子商务园区数量越多 5G 基站数量越多。通信基础设施承载着整个电子商务交易市场的网络,是进行线上交易过程中的资金流、信息流的重要支撑平台,是公认的影响电子商务发展的重要因素^[45]。随着电子商务的不断发展,催生了对 5G 基站与技术的需求,5G 反过来进一步促进其高质量发展。电子商务产业园是电子商务活动集聚的地理空间,通常具有一定规模的通信基础设施与技术需求。5G 作为第五代移动通信技术,不仅可以提供更高的宽带以满足基础通信功能,超低延迟、海量连接、高可靠性等特征也为电子商务等数字经济的发展提供通信技术支持。

公司企业等的经济活动对 5G 基站规模空间分布也有明显的正向影响。公司企业等经济主体是新一代通信基础设施的主要的受众^[32, 46]。随着 5G 技术的不断发展,越来越多的公司企业开始利用 5G 技术,并将其与 AI、云计算、大数据等进行融合,在赋能 5G 融合创新的同时实现自身的信息化、数字化、智能化转型,优化成本模型,提高生产效率。尽管现阶段 5G 融合应用各类企业,特别是中小企业中仍处在试验阶段,但随着 5G 技术的不断成熟与社会经济数字化整体水平不断提升,越来越多的公司与企业将会利用 5G 进行发展转型,对 5G 基站的需求也会愈发旺盛。

高等院校越多的地方 5G 基站规模会越大。高等院校是年轻人聚集的地理空间,年轻人对新事物的接受和理解能力较强,愿意主动接受新事物与新技术,并且越来越多的年轻人已经将使用新时代的媒体和移动电话技术作为自己的个人生活方式,5G 技术可以将音视频更多以 4K、8K、AR、VR 等形式呈现,许多年轻人希望得到更好的体验感进而倾向于使用 5G,这共同催生了对新型通信基础设施的需求。此外,高等院校是创新创业的重要集聚地^[53],这也一定程度上进一步提高了对 5G 基站的需求。5G 基站的覆盖可以为大学生等创新创业主体提供更完善的创新创业环境。具体地,5G 技术可以通过为大学生创业提供更为完善的数据、平台等要素以及改善创业生态,进而激发大学生创业活力,并催生更多的创业活动。同时,5G 技术的应用还能够更有效地破除创新系统与创新活动的供需矛盾以及创新活动的空间限制,对创新生态产生直接影响;还可以通过影响创新要素、创新结构与创新组织对创新生态产生间接影响,促进更多的大学生创新活动的出现。

运营商营业网点数量对 5G 基站规模空间分布表现出显著的正向影响。运营商营业厅越集中的地方通常办理 5G 业务更加方便,更容易为用户提供技术支持与服务。同时,运营商营业网点的存在可以有利于附近 5G 基站的运营与维护,进而可能会建设更多的基站。是否在市辖区也表现出显著的正向作用,但影响强度较弱,说明城市,特别是市辖区的规模效应对 5G 基站的空间分布仍能起到一定程度的正向影响。此外,空间滞后项也显著为正,说明 5G 基站分布不仅受到本地区相关因素的影响,还受到空间集聚因素的影响。通信技术与基础设施建设具有一定的空间集聚效应与规模效应,当邻近地区都在进行 5G 基站建设时会促进本地区 5G 基站的部署与建设。

3.4 稳健性检验

为了得到更为稳健的结果,本文从变量出发,对 5G 基站以运营商类别分为电信和联通分别带入模型进行计算,计量结果如表 2 所示,通过对模型 SLM_CT 和 SLM_CU 的结果可以看出,各个影响因素的系数与显著性与之前的模型结果保持一致,因此可知本文的研究结果是较为稳健的。

4 结论与讨论

4.1 结论

本研究基于 5G 基站空间点数据,利用空间分析方法对长三角地区 5G 基站的空间结构与格局进行了科学分析,并基于技术需求、技术支持与空间因素视角构建分析框架,运用空间计量模型对影响因素进行综合性探究。主要结论如下:

(1)长三角地区 5G 基站空间分布表现出明显的中心地区集中倾向,基站数量较多的县级单元分布相对集中,在长三角核心区形成“Z”字形高值连片区,低值区主要分布在长三角外围地区,与高值区形成明显的空间分异,呈现区域性的中心-外围式空间格局。长三角地区 5G 基站一、二、三级核密度核心区均主要分布在市辖区内,与非市辖区存在较为明显的数字鸿沟。长三角地区 5G 基站低-高异质区主要集中在市辖区边缘位置,属于高值向低值区过渡的地带;高-低异质区则主要分布在被低-低集聚区所包围的地区,且分布较为孤立。

(2)长三角地区 5G 基站空间分布受到技术需求、技术支持和空间集聚因素的显著影响。其中,人口数量、经济发展水平、电子商务园区数量、公司企业数量、高等院校数量、运营商营业厅数量是具体影响长三角地区 5G 基站空间分布的重要因素。与影响传统的信息通信基础设施空间分布的影响因素相比,影响 5G 基站空间分布的指标因素中,公司企业等经济主体性更加明确,以高等院校为代表的大学生特征性人群的指向性更强,表现出明显的多主体类型的需求导向特征。

4.2 讨论

产业互联网、企业数字智能化等数字经济催生了对 5G 的需求,5G 的发展以及与社会经济的深度融合也反过来促进经济进一步发展。当前,5G 基站建设进入快车道,关于 5G 基站的建设规划也被纳入到许多城市的专项规划中,如何科学、合理地进行 5G 基站空间部署,充分发挥 5G 赋能经济社会发展的作用是政策制定者需要研究和解决的问题。本文的研究可以为此提供一些规划和政策启示。首先,基于 5G 基站建设属性,考虑到成本收益并充分发挥技术效率优势,在 5G 基站建设初期需求导向会更为明显,并且 5G 覆盖范围相对较小,强化了其空间异质性特征,因此在建设与部署初期会加剧地区之间和城乡之间的数字鸿沟可能是必经之路。其次,需要有针对性、导向性地进行空间部署以满足不同主体对 5G 的赋能需求。现阶段以及未来 5G 应用规划场景中,面向公司、企业的比重远大于面向消费者的比重,这一点在文中实证中也有所体现。为此,规划者应注重对于相关重点企业、企业集群区、重点产业园区的 5G 基站空间部署,充分发挥以点带面的带动杠杆效应,打造地区数字经济高地。最后,政府需要在基站建设中进行适当干预以弥补市场需求导向带来的负面效应。规划应注重对欠发达地区的研究,关注空间不平等,推动地区之间、城乡之间 5G 基站等新型基础设施协调部署,特别是应该注重 5G 基站在有条件的农村地区的建设,有针对性地弥补城乡数字鸿沟的同时,发挥 5G 赋能农业现代化的作用。

已有对于基础设施空间格局与影响因素的研究多重视对经济与人口因素的探究与验证,但随着新型基础设施的不断建设与普及,其专业性、高效率、高附加值、多类型主体需求导向等特征趋势明显,进而挑战着传统基建建设的布局规则,因此需要对已有分析框架进行重新思考与构建。以 5G 基站的建设为代表的新基建的建设与发展给经济地理学研究带来更多的切入点,并且空间点数据的精准性对研究城市内部更加细致的空间异质性提供了可能性。此外,还要注意到 5G 基站仍处在大规模建设时期,其发展具有一定的阶段性,因此,其未来空间演化仍值得进一步动态追踪与研究。与此同时,在基础数据可利用的前提下,接下来的研究应尽可能扩充研究对象与研究区,避免特定地区研究带来的非普遍性问题。

参考文献

-
- [1] 王伟, 张豪, 王丰. 信息基础设施、空间溢出与城市全要素生产率[J]. 经济经纬, 2018, 35(5):44-50. WANG W, ZHANG H, WANG F. Information infrastructure, spatial spillover and urban total factor productivity[J]. Economic Survey, 2018, 35(5):44-50.
- [2] HEGER D, VEITH T, RINAWI M. The effect of broadband infrastructure on entrepreneurial activities: The case of Germany[J]. SSRN Electronic Journal, 2011:11-081.
- [3] PRADHAN R P, MALLIK G, BAGCHI T P. Information communication technology (ICT) infrastructure and economic growth: A causality evinced by cross-country panel data[J]. IIMB Management Review, 2018, 30(1):91-103.
- [4] 高喆, 顾朝林, 顾江. “新型城镇化”与“乡村振兴”场景下新基建对产业转型的启示[J]. 经济地理, 2021, 41(4):8-14. GAO Z, GU C L, GU J. The enlightenment of new infrastructure to industrial transformation under the background of new urbanization and rural revitalization[J]. Economic Geography, 2021, 41(4):8-14.
- [5] TIAN M W, WANG L, YAN S R, et al. Research on financial technology innovation and application based on 5G network[J]. IEEE Access, 2019, 7:138614-138623.
- [6] LATIF S, QADIR J, FAROOQ S, et al. How 5G wireless (and concomitant technologies) will revolutionize healthcare?[J]. Future Internet, 2017, 9(4):93.
- [7] MAYER W, MADDEN G, WU C. Broadband and economic growth: A reassessment[J]. Information Technology for Development, 2020, 26(1):128-145.
- [8] 张英浩, 汪明峰, 计怡村. ICT对城市发展影响的总体特征及其知识图谱——基于人文与经济地理学科视角与CiteSpace计量分析[J]. 中国名城, 2021, 35(3):27-36. ZHANG Y H, WANG M F, JI Y C. The overall characteristics and knowledge structure of the impact of ICT on urban development: Base on the perspective of human and economic geography and citespace measurement analysis[J]. China Ancient City, 2021, 35(3):27-36.
- [9] JORGENSEN D W, HO M S, SAMUELS J D. The impact of information technology on postwar US economic growth[J]. Telecommunications Policy, 2016, 40(5):398-411.
- [10] MUTO M, YAMANO T. The impact of mobile phone coverage expansion on market participation: Panel data evidence from Uganda[J]. World Development, 2009, 37(12):1887-1896.
- [11] MYOVELLA G, KARACUKA M, HAUCAP J. Digitalization and economic growth: A comparative analysis of Sub-Saharan Africa and OECD economies[J]. Telecommunications Policy, 2020, 44(2):101856.
- [12] SINAI T, WALDFOGEL J. Geography and the internet: Is the Internet a substitute or a complement for cities?[J]. Journal of Urban Economics, 2004, 56(1):1-24.
- [13] TOADER E, FIRTESCU B, ROMAN A, et al. Impact of information and communication technology infrastructure on economic growth: An empirical assessment for the EU countries[J]. Sustainability, 2018, 10(10):3750.

-
- [14] HACKLER D. Invisible infrastructure and the city: The role of telecommunications in economic development[J]. *American Behavioral Scientist*, 2003, 46(8): 1034-1055.
- [15] KOLLKO J. Does broadband boost local economic development?[M]. San Francisco, CA: Public Policy Institute of California, 2010.
- [16] WARF B. Contemporary digital divides in the united states[J]. *Tijdschrift Voor Economische En Sociale Geografie*, 2013, 104(1): 1-17.
- [17] PICK J B, AZARI R. Global digital divide: Influence of socioeconomic, governmental, and accessibility factors on information technology[J]. *Information Technology for Development*, 2008, 14(2): 91-115.
- [18] PICK J B, NISHIDA T. Digital divides in the world and its regions: A spatial and multivariate analysis of technological utilization[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2015, 91: 1-17.
- [19] 金春枝, 李伦. 我国互联网数字鸿沟空间分异格局研究[J]. *经济地理*, 2016, 36(8): 106-112. JIN C Z, LI L. Research on spatial heterogeneity patterns of digital divide of Chinese Internet[J]. *Economic Geography*, 2016, 36(8): 106-112.
- [20] OYANA T J. Exploring geographic disparities in broadband access and use in rural southern Illinois: Who's being left behind?[J]. *Government Information Quarterly*, 2011, 28(2): 252-261.
- [21] MACK E A, GRUBESIC T H. Forecasting broadband provision[J]. *Information Economics and Policy*, 2009, 21(4): 297-311.
- [22] TORRENS P M. Wi-Fi geographies[J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 2008, 98(1): 59-84.
- [23] GHOSH S. Broadband penetration and economic growth: Do policies matter?[J]. *Telematics and Informatics*, 2017, 34(5): 676-693.
- [24] DEL PILAR BAQUERO FORERO M. Mobile communication networks and Internet technologies as drivers of technical efficiency improvement[J]. *Information Economics and Policy*, 2013, 25(3): 126-141.
- [25] LEE S, KIM D H, SON H C. The impact of mobile broadband infrastructure on technological innovation: An empirical analysis[J]. *International Telecommunications Policy Review*, 2015, 22(2): 93-108.
- [26] TANG X, WANG G. Design and analysis of e-commerce and modern logistics for regional economic integration in wireless networks[J]. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2020, 2020(1): 1-15.
- [27] 汪明峰, 顾成城. 上海智慧城市建设中公共 WLAN 热点的空间分析与检讨[J]. *地理科学进展*, 2015, 34(4): 438-447. WANG M F, GU C C. Building a smart city: A spatial analysis and review of WLAN hotspots in metropolitan Shanghai[J]. *Progress in Geography*, 2015, 34(4): 438-447.
- [28] GRUBESIC T, MURRAY A. “ where ” matters: Location and Wi-Fi access[J]. *Journal of Urban*

Technology, 2004, 11(1):1-28.

[29] DRISKELL L, WANG F. Mapping digital divide in neighborhoods: Wi-Fi access in Baton Rouge, Louisiana[J]. *Annals of GIS*, 2009, 15(1):35-46.

[30] 李晓雨, 甄峰, 沈丽珍. 中国移动信息基础设施的空间发展特征研究——以 3G 基站为例[J]. *地域研究与开发*, 2015, 34(5):13-18. LI X Y, ZHEN F, SHEN L Z. Research on spatial development characteristics of mobile information infrastructure in China: A case study of 3G base station[J]. *Areal Research and Development*, 2015, 34(5):13-18.

[31] 刘晓阳, 黄晓东, 丁志伟. 长江经济带县域信息化水平的空间差异及影响因素[J]. *长江流域资源与环境*, 2019, 28(6):1262-1275. LIU X Y, HUANG X D, DING Z W. Spatial pattern and its influencing factors of informationization level at County level in Yangtze River economic belt[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2019, 28(6):1262-1275.

[32] 倪羽. 基于 5G 背景的工业企业成本核算优化设计[J]. *财会通讯*, 2019(35):98-102. NI Y. Optimization design of industrial enterprise cost accounting based on 5G background[J]. *Communication of Finance and Accounting*, 2019(35):98-102.

[33] 郭向阳, 穆学青, 丁正山, 等. 长三角多维城市化对 PM_{2.5} 浓度的非线性影响及驱动机制[J]. *地理学报*, 2021, 76(5):1274-1293. GUO X Y, MU X Q, DING Z S, et al. Nonlinear effects and driving mechanism of multidimensional urbanization on PM_{2.5} concentrations in the Yangtze River Delta[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2021, 76(5):1274-1293.

[34] 尹上岗, 马志飞, 李在军. 长三角地区住宅租售比时空格局演变及影响机制[J]. *地理研究*, 2021, 40(6):1701-1715. YIN S G, MA Z F, LI Z J. Spatio-temporal pattern evolution and influence mechanism of housing price-to-rent ratio in the Yangtze River Delta[J]. *Geographical Research*, 2021, 40(6):1701-1715.

[35] 宋欣, 孙伟, 王磊. 长三角高铁网络时空演化格局及区域经济影响测度研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2020, 29(2):296-309. SONG X, SUN W, WANG L. Spatial-temporal evolution patterns of high-speed rail network and its impact on regional economy in the Yangtze River Delta[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2020, 29(2):296-309.

[36] 周扬, 李寻欢, 童春阳, 等. 中国村域贫困地理格局及其分异机理[J]. *地理学报*, 2021, 76(4):903-920. ZHOU Y, LI X H, TONG C Y, et al. The geographical pattern and differentiatinal mechanism of rural poverty in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2021, 76(4):903-920.

[37] (美)王法辉著, 姜世国, 滕骏华译. 基于 GIS 的数量方法与应用[M]. 北京: 商务印书馆, 2009. WANG F H. Quantitative methods and applications in GIS[M]. Beijing: The Commercial Press, 2009.

[38] ANSELIN L. Exploratory spatial data analysis in a geocomputational environment[M]. New York: Wiley, 1998:77-94.

[39] 武鹏, 李同昇, 李卫民. 县域农村贫困化空间分异及其影响因素——以陕西山阳县为例[J]. *地理研究*, 2018, 37(3):593-606. WU P, LI T S, LI W M. Spatial differentiation and influencing factors analysis of rural poverty at County scale: A case study of Shanyang County in Shaanxi Province, China[J]. *Geographical*

Research, 2018, 37(3):593-606.

[40] 王劲峰, 廖一兰, 刘鑫. 空间数据分析教程[M]. 2 版. 北京: 科学出版社, 2019. WANG J F, LIAO Y L, LIU X. Course of spatial data analysis[M]. 2nd ed. Beijing: Science Press, 2019.

[41] ANSELIN L, BERA A K, FLORAX R, et al. Simple diagnostic tests for spatial dependence[J]. Regional Science and Urban Economics, 1996, 26(1):77-104.

[42] 周宸宇, 冯成, 王毅. 基于移动用户接入控制的 5G 通信基站需求响应[J]. 中国电机工程学报, 2021, 41(16):5452-5462. ZHOU C Y, FENG C, WANG Y. Demand response of 5G communication base stations based on admission control of mobile users[J]. Proceedings of the CSEE, 2021, 41(16):5452-5462.

[43] 郭朝先, 王嘉琪, 刘浩荣. “新基建”赋能中国经济高质量发展的路径研究[J]. 北京工业大学学报(社会科学版), 2020, 20(6):13-21. GUO C X, WANG J Q, LIU H R. Studies on how new infrastructure empowers high-quality development of China's economy[J]. Journal of Beijing University of Technology (Social Sciences Edition), 2020, 20(6):13-21

[44] GRUBESIC T H. The spatial distribution of broadband providers in the United States:1999-2004[J]. Telecommunications Policy, 2008, 32(3/4):212-233.

[45] 刘渊, 李旋, 董思怡, 等. 溢出效应、交易网络与区域电子商务发展: 基于淘宝、天猫平台的交易数据分析[J]. 管理工程学报, 2018, 32(4):239-246. LIU Y, LI X, DONG S Y, et al. Spillover effect, transaction network and regional e-commerce development: An analysis of transaction data on Taobao and Tmall[J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2018, 32(4):239-246.

[46] 赵树梅, 李银清. 5G 时代“新零售”服务的创新发展[J]. 中国流通经济, 2019, 33(9):3-14. ZHAO S M, LI Y Q. Innovative development of “new retail” service in 5G era[J]. China Business and Market, 2019, 33(9):3-14.

[47] 李海波, 李苗苗, 汝绪伟. 创新城区: 区域创新驱动集聚发展的新空间载体[J]. 经济与管理评论, 2018, 34(1):141-149. LI H B, LI M M, RU X W. Innovation districts: A new space carrier for the development of regional innovation-driven agglomeration[J]. Review of Economy and Management, 2018, 34(1):141-149.