

手机信令数据分析在城镇体系规划中的应用实践* ——南昌大都市区的案例

Practical Analysis of Mobile Phone Signaling Data in Urban System Planning:
A Case Study of Nanchang Metropolis

姚凯 钮心毅

文章编号1673-8985 (2016) 04-0091-07 中图分类号TU981 文献标识码A

摘要 在南昌大都市区规划中将手机信令数据作为城镇体系规划基础数据,进行了创新研究实践。首先,从手机信令数据中获取了江西省40个县市范围内手机用户37天的时空活动轨迹,以区域内常住居民的多日跨镇出行数量来模拟区域内各城市网络联系强度;其次,依据城市网络联系强度,分别从城镇等级体系、中心城市腹地和区域发展廊道3个方面,结合对既有规划的比较,对区域城镇体系现状进行了综合评估;最后,对大都市区规划提出空间发展策略:积极培育多中心城市体系、依托主要廊道优化空间结构、合理构建城镇组群提供了定量分析支撑。

Abstract Mobile Signal Data is practically used as the basic data of urban system planning in Nanchang Metropolis case. First, the study get the mobile phone users' activity routes, who were located in research areas during the 37 days. The users' outing times are used to model the connection among the city network. Second, according to the city network connection, the study analyzes the urban ranking system, central city hinterland and regional development corridor, so as to evaluate the urban system planning. Third, the study provides the quantities support for the spatial strategies of Nanchang Metropolis for cultivating multi-center city system, optimizing the spatial structure, and building rational urban groups.

关键词 手机信令数据 | 城镇体系规划 | 城市网络联系

Keywords Mobile Signal Data | Urban system planning | City network connection

作者简介

姚凯

上海同济城市规划设计研究院三所
副所长,高级工程师,硕士

钮心毅

同济大学建筑与城市规划学院
副教授,博士

0 引言

随着城镇化的加速,任何城市已不再是一个封闭的发展系统,而是通过各种网络与区域内其他城市紧密地联系在一起,形成了城市群。在此背景下,各类突破行政区划的城市群、都市区规划逐渐成为城镇体系规划的热点领域,而单纯依靠统计数据的传统研究方法面临着日益严峻的挑战。这是因为:(1) 统计数据虽然能够反映城市的各自发展特征,但不能反映区域内城市之间的相互联系;(2) 大多数数据的统计单元都是县级以上单元,乡镇及以下数据难以获取;(3) 城市间的联系不仅仅局限

在经济联系层面,更重要的是人口流动联系,这是传统数据难以反映的。

近年来,城市之间“流”的分析逐步成为区域研究的一个新方向,如有学者利用对城市间航班数量^[1]、铁路发车班次的统计^[2],通过“交通流”来研究区域城市网络关联;有学者利用移动互联网社交网络联系分析,通过“信息流”来研究区域城市网络关联^[3-4];还有学者利用企业注册分支机构的分析,通过“商务流”来研究区域城市网络关联^[5]。这些分析方法突破了传统方法单纯依靠统计数据的局限,但也难以准确反映城市之间的人流联系情况。

*基金项目:上海同济城市规划设计研究院、同济大学高密度区域智能城镇化协同创新中心科研项目:“基于手机信令数据的区域城镇体系规划方法研究”(编号:KY-2016-ZD1-A01) 课题部分成果。

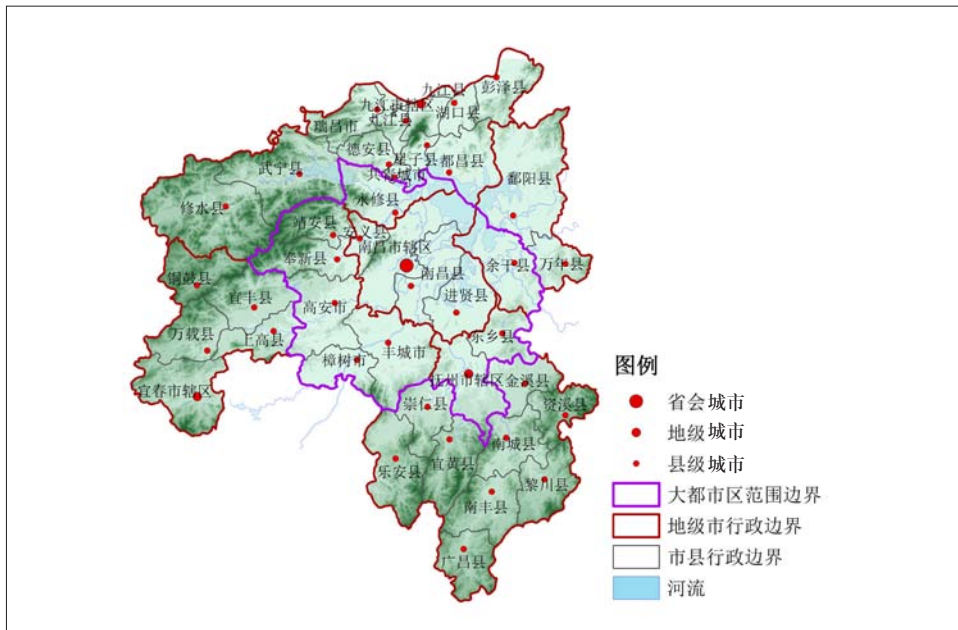


图1 南昌大都市区空间单元分布图

例如,铁路发车班次无法准确反映城市之间的实际客流量。这些研究方法也还没有能直接应用到城镇体系规划实践中。

随着移动通信在城乡的普及,凭借其覆盖范围广、持有率高、动态性好的特点,手机信令数据为区域和城市研究提供了新的数据支撑。手机信令数据是大样本、覆盖范围广、用户持有率高,能更好反映人流行为的时空规律;手机信令数据是匿名数据,安全性好,没有任何个人属性信息,不涉及个人隐私;手机信令数据是非自愿数据,用户被动提供信息无法干预调查结果;手机信令数据具有动态实时性和连续性,能准确反映在连续时间区段内,不同时间点手机用户所在的空间位置,为定量描述区域内人群流动轨迹提供了可能。这些特点均能有利于获取居民在城市之间的出行动态,为定量描述城市之间的人流联系提供了可能。

利用手机数据进行城市规划的分析研究正逐步增加。在区域层面, Krings等利用比利时移动电话运营商提供的2 500万个用户的通信信息,通过手机账单地址对应的邮政编码表征通话地理位置,再通过两地用户通话信息量构建通话强度模型,模拟区域城市间的网络关联强度^[6]。Becker等依据手机数据,分析了纽

约、洛杉矶、旧金山3大都市区的通勤范围^[7]。钮心毅等利用手机信令数据,通过夜间居住地和日间工作地的识别,分析了上海市域空间结构、新城与中心城之间通勤联系^[8-9]。总体上,运用手机信令数据在区域范围内进行城镇体系、城市群方面的研究目前还比较少见,本研究将手机信令数据运用到南昌大都市区规划实践中,希望对探索城镇体系规划技术和方法的创新做出贡献。

1 南昌大都市区概况与技术路线

1.1 南昌大都市区概况

2012年江西省提出“省会核心增长极”战略,以南昌为中心依托1h交通圈构建大都市区,引领江西发展。《南昌大都市区规划》(以下简称大都市区规划)正是有效落实上位规划,指引区域统筹发展的重要规划。

为突出区域性、综合性、前瞻性特点,本研究在《江西省城镇体系规划(2012—2030)》(以下简称省域城镇体系规划)确定的南昌大都市区范围基础上,将研究范围进一步扩大至南昌、九江、宜春和抚州5个地级市全域以及上饶市的余干、鄱阳、万年3个县,总面积约7.15万km²,现状总人口约2 257万人,所属的县级

空间单元(市辖区、县和县级市)共计40个(图1)。

1.2 技术路线

本研究由中国联通提供数据支持,使用2015年10月到11月连续37天(其中工作日26天,休息日11天)的用户匿名手机信令数据展开研究。数据主要包括用户匿名ID、信令发生时手机连接的基站坐标、信令发生时间和信令类型等内容。平均每日记录到约156万用户信令记录,其中活跃用户有139万个(37天中出现23天及以上),每个用户每天产生约60条记录。

将研究范围内的40个县级单元进一步分为678个乡镇基本单元(其中市辖区以区为单元,不再细分)。建立手机用户的OD流动轨迹:即以用户居住地为O点,跨乡镇出行目的地为D点,建立手机用户在都市区内活动的OD流动轨迹。具体而言,即通过手机用户夜间重复出现率最高的乡镇标记识别为该用户的居住地,本研究共识别出约112万个用户的居住地;通过手机用户最远出行乡镇作为出行目的地,本研究共识别出37天内共有约1 423万人次用户的跨乡镇出行。考虑到联通手机用户在各城市占比有一定差异,为反映实际人流联系量,依据镇常住人口数量对联系人流量进行扩样校正。以校正后的人流联系量为依据,可计算城镇之间的联系强度和范围,进而进行以下3方面分析:

评估城镇等级体系:通过城市网络联系模型对都市区内跨县的手机用户流动轨迹数据进行汇总和统计分析,得到研究区域内城镇之间的联系方向和联系强度,表征城市网络联系体系,进而对城镇等级体系进行量化评估。

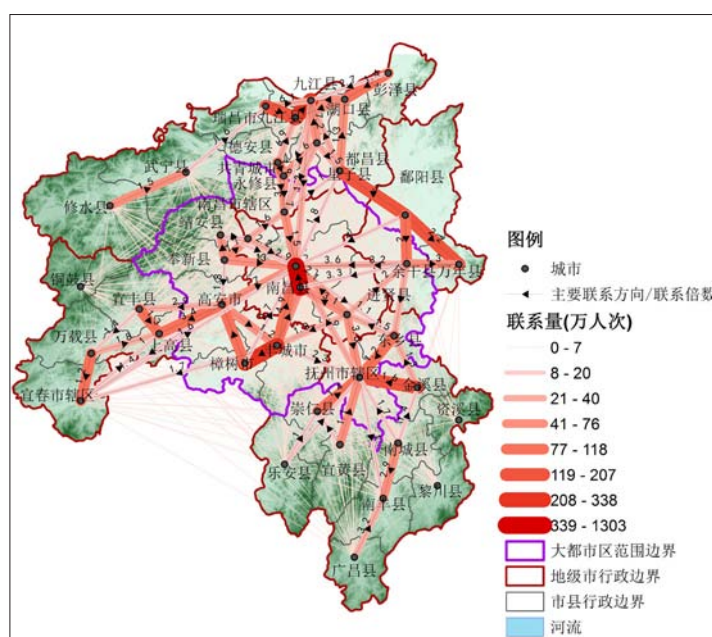
界定中心城市发展腹地:在城市网络联系体系中单独选取省会南昌等中心城市,依据其他城市与中心城市联系强度进行比较,以50%为阈值确定各中心城市的腹地。

识别区域发展廊道:通过分析区域内人口流动的主要线路来识别区域发展廊道。

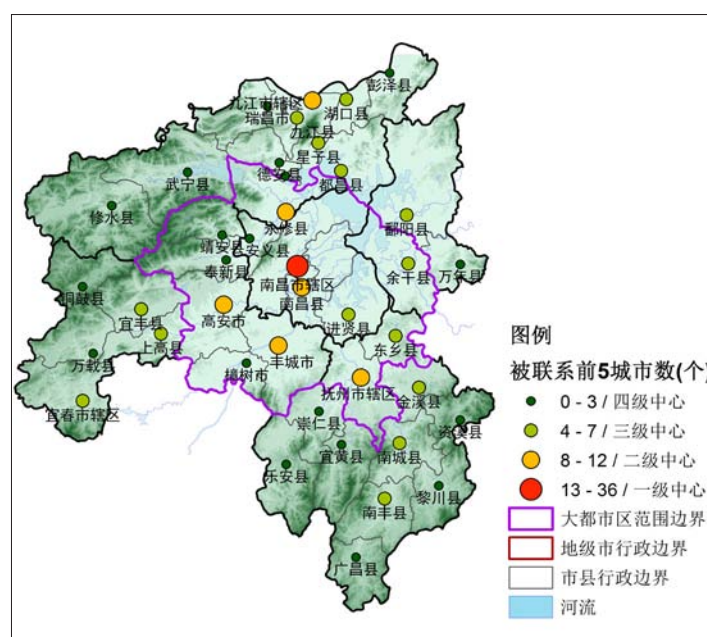
2 评估城镇等级体系

表1 城市联系网络一览表

城市名称 (县区名)	主要联系城市数量 (个)	联系总量 (万人次)	城市名称 (县区名)	主要联系城市数量 (个)	联系总量 (万人次)	城市名称 (县区名)	主要联系城市数量 (个)	联系总量 (万人次)
南昌市辖区	36	1 156.8	上高县	5	178.6	彭泽县	2	46.4
抚州市辖区	12	347.2	宜春市辖区	5	91.6	瑞昌市	2	43.3
南昌县	10	766.4	余干县	5	137.9	万年县	2	164.7
九江市辖区	9	415.0	湖口县	4	138.5	武宁县	2	44.8
永修县	9	133.5	南丰县	4	78.0	修水县	2	33.1
丰城市	9	194.8	鄱阳县	4	160.8	宜黄县	2	43.7
高安市	8	143.5	宜丰县	4	86.0	樟树市	2	287.5
九江县	7	289.6	安义县	3	90.3	资溪县	2	6.1
都昌县	6	230.2	崇仁县	3	64.5	广昌县	1	10.9
进贤县	6	106.7	德安县	3	29.2	乐安县	1	14.9
星子县	6	72.2	共青城市	3	116.6	黎川县	0	6.8
东乡县	5	116.7	万载县	3	69.5	铜鼓县	0	6.6
金溪县	5	85.7	奉新县	2	43.6			
南城县	5	35.4	靖安县	2	53.3			



a) 基于跨县人流联系总量的城市网络体系



b) 基于被主要联系城市数量的城市网络体系

图2 城市网络联系分布图

2.1 基于网络联系强度分析的城镇等级体系

按照40个城市单元的行政区划赋予研究范围内约4.5万个基站单元属性。基于跨区县手机用户OD流动轨迹,构建了城市单元间的联系方向和联系强度矩阵,可以从被联系城市数量和联系人流总量两方面表征城市之间的网络联系强度。

经分析可知,相比较联系人流量而言,

被联系城市的数量多少更能反映一个城市在区域网络中的节点地位。例如,鄱阳湖东岸的鄱阳和万年两个人口大县37天内累计跨县人流总量达到了100万人次以上,但大部分均在两县间相互流动(这与湖东传统农区的农业渔业活动有一定关系),缺乏与区域其他城市的联系,因而两县在区域城镇体系网络中地位相对较低;反之,南城的联系总人流量虽然不

及鄱阳、万年,但其与周边抚州、金溪、南丰、宜黄、黎川等城市均联系密切,其网络节点地位相对较高。

进一步分析发现:大多数城市与其他城市的联系强度主要集中在前5位城市中,因此本研究选择联系强度前5位的城市作为主要联系城市,以主要联系城市数量的多少来表征城市在城镇体系中的等级地位,即被主要联系城

表2 城镇等级结构评估一览表

手机数据 城市等级	城市名称 被主要联系城市数量 (个)	体系规划 城市等级	城市名称	评估结论与规划引导
第一档	南昌市 (46, 含南昌县)	省域中心	南昌市辖区	与体系规划相符合, 建议市区与新建、南昌县融合发展力度
			九江市辖区	未达到规划预期, 建议不宜盲目追求规模, 深入推进昌九一体化
第二档	九江市 (16, 含九江县)、 抚州市 (12)	地区中心	抚州市辖区、 宜春市辖区	抚州市区应重点培育为都市区副中心, 深入推进昌抚一体化; 宜春市区应与万载、上高融合发展提升地区辐射能级
			高安市 (8)、丰城市 (9)、 永修 (9)	积极培育丰城为都市区新兴副中心
第三档	都昌 (6)、进贤 (6)、星子 (6)、 金溪 (5)、宜春市区 (5)、 东乡 (5)、南城 (5)、上高 (5)、 余干 (5)	县 (市) 中心	高安、丰城、 永修、樟树、 德安、东乡、 都昌、南城等	重点培育京九廊道上的星子, 向莆廊道上的金溪、南城和沪昆廊道上的进贤、东乡、上高等发展节点城市
			湖口 (4)、南丰 (4)、鄱阳 (4)、 宜丰 (4)、安义 (3)、崇仁 (3)、 德安 (3)、共青城 (3)、 万载 (3)、奉新 (2)、靖安 (2)、 彭泽 (2)、瑞昌 (2)、 万年 (2)、武宁 (2)、 修水 (2)、宜黄 (2)、樟 (2)、 资溪 (2)、广昌 (1)、 乐安 (1)、黎川 (0)、 铜鼓 (0)	湖口、鄱阳、南丰、樟树等 县市网络联系程度相对低, 建议特色化发展
第四档	湖口 (4)、南丰 (4)、鄱阳 (4)、 宜丰 (4)、安义 (3)、崇仁 (3)、 德安 (3)、共青城 (3)、 万载 (3)、奉新 (2)、靖安 (2)、 彭泽 (2)、瑞昌 (2)、 万年 (2)、武宁 (2)、 修水 (2)、宜黄 (2)、樟 (2)、 资溪 (2)、广昌 (1)、 乐安 (1)、黎川 (0)、 铜鼓 (0)			

表3 5个中心城市腹地分析一览表

中心城市	增加的单元 (行政区外腹地内)	失去的单元 (行政区内腹地外)	争夺的单元
南昌	永修、武宁 (九江)、 奉新、靖安 (宜春) 余干、鄱阳、万年 (上饶) 抚州市区、丰城	—	修水、共青城 (九江) 高安 (丰城) 铜鼓 (宜春)
九江	—	永修、武宁 (南昌)	修水、共青城 (南昌)
抚州	—	抚州市区也是南昌腹地	—
宜春	—	丰城、樟树、高安、 奉新、 靖安 (南昌)	铜鼓 (南昌)
丰城	樟树	丰城也是南昌腹地	高安市 (南昌)

市数量越多的城市越是高等级的城市。依此原则, 可以将区域内城市划分为4档 (图2, 表1)。

第一档城市为南昌市辖区, 其作为区域城市网络的核心地位突出, 是区域内36个城市的主要联系方向。

第二档城市6个, 两个地级市抚州和九江的市辖区分别是区域内12个、9个城市的主要联系方向。南昌县依托交通枢纽地位和邻近南昌市区的区位优势获得了10个城市的主要联系。此外, 永修县、丰城市、高安市也属于第

二档。

第三档城市14个, 分别是宜春市辖区、进贤县、瑞昌市等, 是4至7个城市的主要联系方向。作为地级市辖区的宜春市辖区, 在省域城镇体系规划中划为地区中心, 但是由于在城市网络联系中地位有限, 进入了第三档城市。

第四档城市19个, 分别是靖安县、安义县等, 是1至3个城市主要联系方向, 网络联系度较弱。这些城市主要分布于鄱阳湖东岸传统农区、九岭山区和赣闽边山区。

2.2 城镇体系等级结构评估与规划引导

对比省域城镇体系规划所确定的城市等级结构 (表2), 可以发现:

省域中心南昌作为区域城市网络的核心地位突出, 南昌市辖区基于跨县人流轨迹的城镇等级位于第一档, 联系城市个数是第二位城市的3倍, 这与其作为省域中心的定位相符合。同时发现, 与南昌市辖区有紧密联系的南昌县也进入了第二档。

九江市区的网络地位并未达到省域副中心的规划预期, 计算上与其融合发展的九江县仅是区域内16个城市的主要联系方向。如何提升九江的区域地位是深入推进落实昌九一体化, 关乎江西未来发展的重大问题。地区中心抚州市区基本实现规划目标。但同样作为地区中心的宜春市区, 仅位列第三档, 低于省域城镇体系规划的定位, 这与其位于西部边缘, 城市经济辐射带动能力有限有一定关系。此外, 分析发现作为县域中心的丰城市、永修县和高安市均进入第二档, 超过其在省域城镇体系规划中的定位, 这3个县级单元均距离南昌较近, 又处于主要交通通道上, 是南昌向外辐射的重要节点, 在大都市区规划中需要重新认真考虑其在区域中的位置。特别是丰城市不仅被主要联系的城市数量多, 且联系强度大, 是都市区内最具潜力副中心的选择。

进贤、星子、东乡、南城、金溪、上高等县主要位于京九、沪昆和向莆3大交通廊道上, 是省域城镇体系规划所确定的县级中心中实力较强的梯队, 而作为地区中心的宜春市区在网络中的地位有限。

对于第四档的靖安、安义等, 大多分布于生态敏感地区, 是一般的县级中心, 其未来发展应以特色化、生态化为导向。

3 界定中心城市腹地

3.1 中心城市选取与腹地界定技术方法

基于对城镇等级的评估, 第一档和第二档城市网络联系度较高, 无疑在都市区城镇体系格局中发挥较大作用, 本研究以第一档城市南

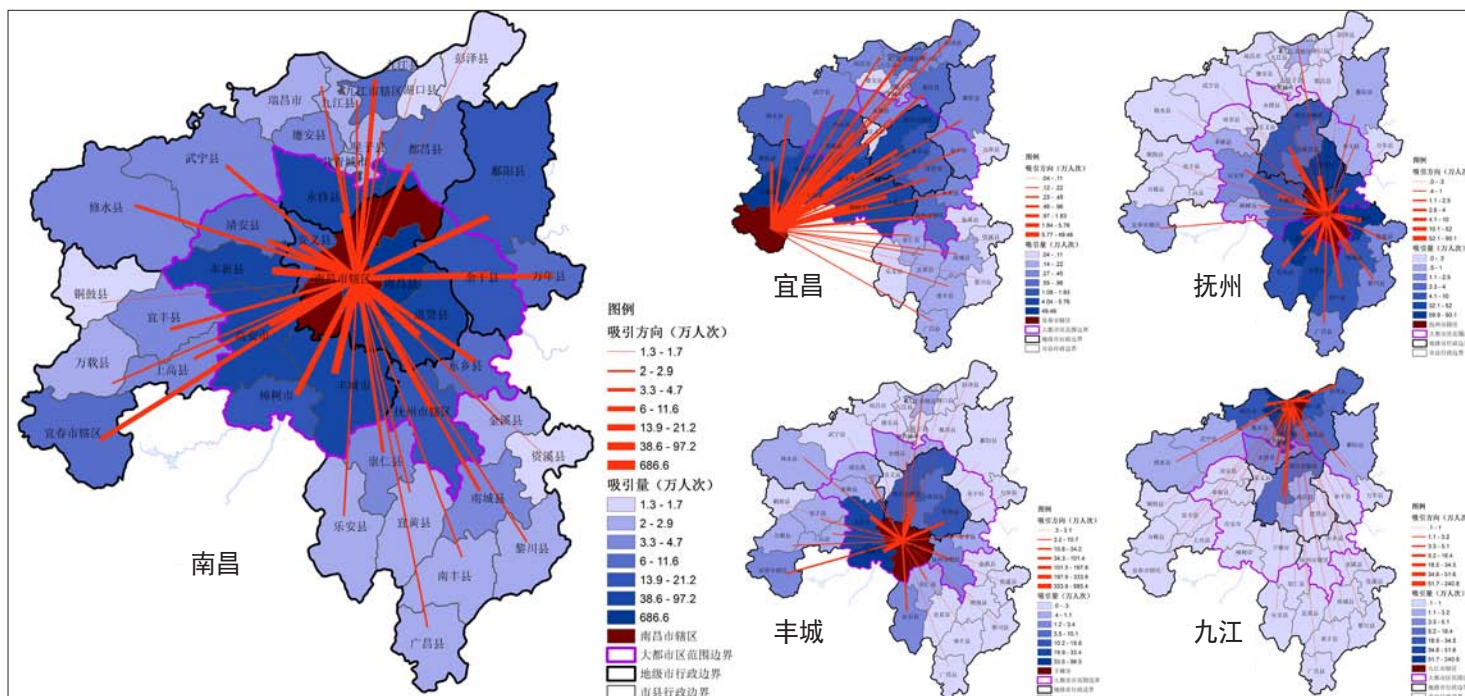


图3 5个中心城市腹地分布图

昌和 second 档城市九江、抚州、丰城、宜春作为中心城市（其中丰城为新兴的潜力中心城市；宜春市区作为地级市政府驻地，虽然网络联系强度较低但仍作为中心城市研究），通过网络联系强度识别5个中心城市的发展腹地（表3）。

具体方法是：统计每个城市单元与5个中心城市的联系强度。选取每个城市单元与5个中心城市中联系强度最高者，若其强度值达到5个中心城市联系强度值总和的50%以上，则将该城市单元界定为该中心城市的发展腹地；若联系最高的城市其强度值尚未达到总强度值的50%，则认为该县级单元属于联系强度前两位中心城市的腹地争夺区，对于争夺区可以进一步通过比较联系强度较高的前两位城市的具体网络联系强度值来判断该城市与谁关系更为密切。

3.2 中心城市腹地界定

研究表明南昌的腹地范围较大，完全超出自身行政区划范围，既包括了南昌市内所有县区，也包括了九江市的永修、武宁和修水，宜春市的高安、奉新和靖安和上饶市的余干、

鄱阳、万年等县，甚至包括了抚州市区和丰城两个中心城市。这个腹地范围与省域城镇体系规划确定的南昌大都市区范围基本一致，这说明基于手机数据分析的南昌人流联系范围与基于交通可达性分析的南昌1h交通圈是基本吻合的，从而证明了通过手机数据分析界定城市腹地的可行性和准确性。

研究同时发现：九江的腹地有限，其范围自身小于行政区划范围，受南昌影响较大，其中永修、武宁和修水属于南昌市的腹地范围，这与九江市区地理位置趋边，综合发展实力不强具有一定关系；抚州的腹地范围与自身行政区范围完全一致，这与抚州多山的封闭地理环境以及历史悠久的临川地域文化凝聚力具有很大关系；宜春的腹地较小，其范围仅能覆盖自身行政区划内宜春市区和万载、宜丰、上高3县，而樟树属于丰城腹地范围，高安、奉新和靖安属于南昌腹地范围，铜鼓属于宜春与南昌腹地争夺范围，南昌联系强度更高；丰城、高安、樟树之间，抚州、东乡，金溪之间，鄱阳、都昌和万年之间联系密切，组群特征明显（图3）。

与传统引力模型分析相比手机信令数据

分析对于中心城市腹地的识别更为精准，大部分争夺区找到了归属，腹地边界相对明晰（比较有趣的是基于乡镇单元的分析识别出了一些中心城市的远距离飞地型发展腹地）（图4）。

4 识别区域发展廊道

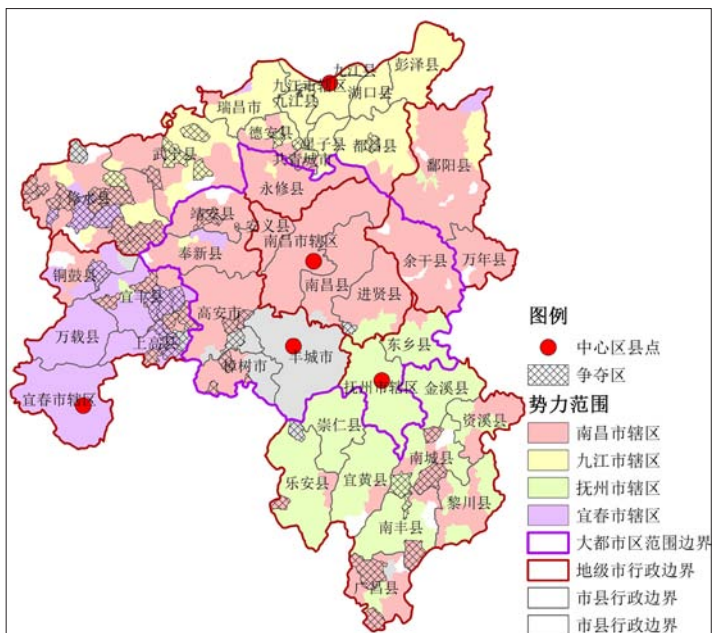
4.1 区域发展廊道识别

区域发展廊道可以通过识别区域内人流轨迹的主要路径来模拟，即区域廊道通过人流量叠加法。该方法以乡镇为空间单元，汇总37天中每个镇通过的人流人次，统计累加各乡镇单元通过的用户数量，通过跨乡镇人次和连绵度识别区域发展廊道。

由图5可见，区域内过境人流线路与区域人口分布差异较大，说明南昌大都市区及其周边地区空间发展的异质性较高，鄱阳湖东岸存在大量缺乏城镇网络联系的传统农业地区，而沿主要交通廊道城镇串珠式的分布格局比较显著。

4.2 区域主要发展廊道识别

分析显示，南昌大都市区内沪昆、京九和

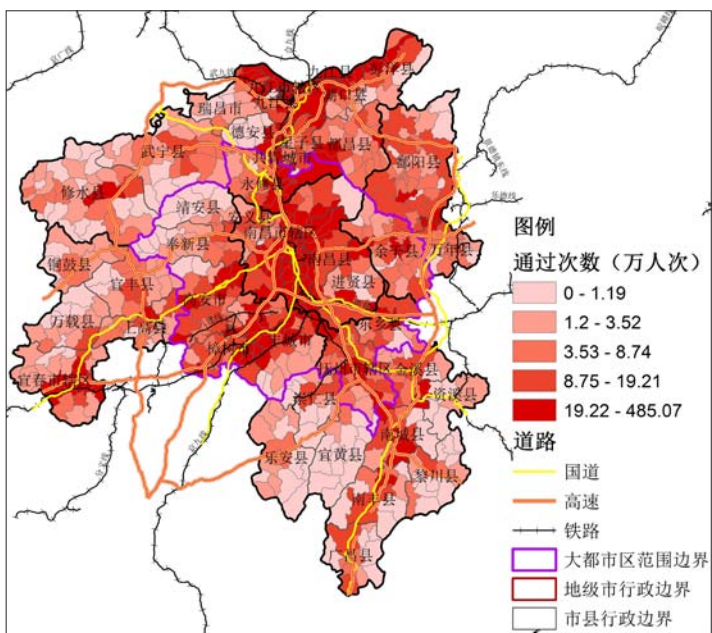


a) 手机数据分析的城市腹地

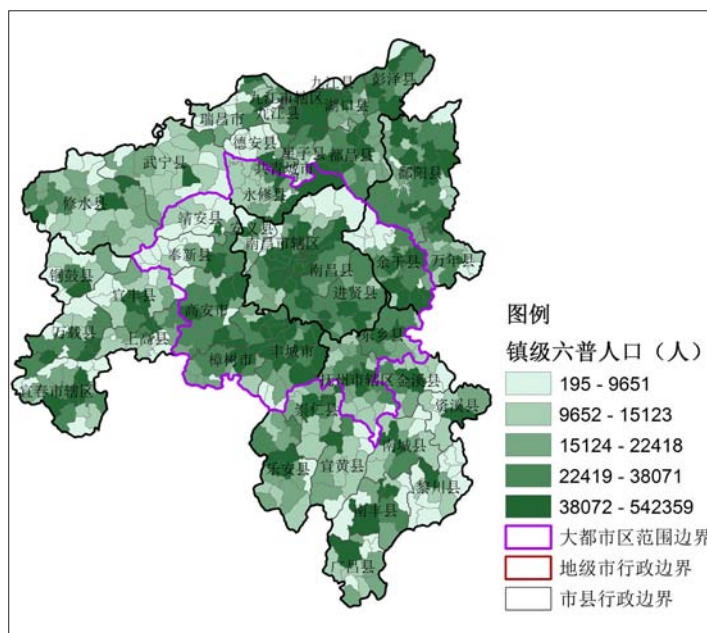


b) 引力模型分析的城市腹地

图4 手机数据分析分析的城市腹地分布对比图



a) 以常住居民跨镇流动识别的区域廊道



b) 研究范围人口密度图

图5 区域发展廊道

向莆3条廊道“大”字形分布特征较为明显。但是,3条发展廊道的发育水平存在一定差异,其中京九廊道上人流强度和连编度均高,发育程度较好,是南昌大都市区未来应着力依托发展的重点廊道;沪昆廊道上人流强度和连编度次于京九廊道,以南昌市辖区为界东段强度和

连编度相对较高,而西段在南昌市辖区与高安之间、万载与上高之间有一定洼地。向莆廊道虽然在省域体系规划中地位不高,但通过人流量叠加法分析其人流强度和连编度与沪昆廊道处于同一等级,同时该廊道也是中部地区出海的便捷通道,联动长江中游城市群和21世纪

海上丝绸之路核心区。因此在南昌大都市区规划中应对向莆廊道的发展予以高度重视。

5 结论与讨论

5.1 结论


手机信令数据为城镇体系规划提供了新

的研究方法和数据支持。手机信令数据从新的分析视角揭示了一些传统方案难以澄清的发展特征,进而对南昌大都市区规划所提出的空间发展3大策略:积极培育多中心城镇体系、合理构建城镇组群、依托主要廊道优化空间结构提供了定量分析支撑。在多中心体系培育方面,打破了基于城市行政等级“论资排辈”的传统规划模式,识别出了像丰城这样行政等级不高但网络关联度较高,具有发展潜力的新兴副中心,通过副中心和沿主要廊道上的县级中心的培育,以多中心网络体系的构建实现南昌从大城市向大都市区的发展转变;在构建城镇组群方面,更为精准地识别出了南昌大都市区在南昌直接腹地之外还存在丰(城)樟(树)高(安)、抚(州)东(乡)金(溪)、鄱(阳)都(昌)万(年)等城镇组群,这为依托不同城镇组群划分次区域实现大都市区差异化的发展引导奠定了科学基础;在空间结构优化方面,通过过境人流的量化分析有效地证明了沪昆、京九和向莆3条发展廊道的地位,从而明确了大都市区依托“大”字形格局优化的空间布局结构。

手机信令数据也在客观上推动了城镇体系规划的提升和转型。首先是推动了城镇体系规划向“人本”方向的回归,与传统规划方法不同,手机信令数据分析能够获得居民在城市之间出行的真实数据,从而得到城市之间的基于人流的网络联系强度,进而对城镇体系做出符合人流趋势的判断和规划,这是单纯依靠物流和经济联系模拟难以企及的。其二是推动了城镇体系规划精确性的提升,传统规划研究所依赖的统计年鉴、人口经济普查数据虽然具有权威性但统计单元较大,主要数据通常只能到县区层级,而手机信令数据基本可以满足乡镇甚至更细的空间单元,为规划提供了更加精确和详实的分析依据,也为规划突破行政区划的制约奠定了坚实基础。

5.2 讨论与展望

当然手机信令数据在规划中的运用也存在一定的局限,必须引起注意。一是由于手机

信令数据没有用户属性,因此研究只能通过用户在特定时间内的位置属性来推理用户属性,当然推理与现实必然会存在一定的偏差;二是手机信令数据也存在数据质量问题,只不过质量的表现形式、产生偏差的原因不同而已^[10]。手机信令数据与传统统计数据相结合、对照和补充使用更具有积极的研究意义。

(感谢上海同济城市规划设计研究院裴新生、张博钰、刘振宇,同济大学建筑与城市规划学院丁亮、王焱对本文的贡献。)

参考文献 References

- [1] 周一星,胡智勇.从航空运输看中国城市体系的空间网络结构[J].地理研究,2002,21(3):276-286.
ZHOU Yixing, HU Zhiyong. Looking into the network structure of Chinese urban system from the perspective of air transportation[J]. Geographical Research, 2002,21(3):276-286.
- [2] 罗震东,朱查松,薛雯雯.基于高铁客流的长江三角洲空间结构再审视[J].上海城市规划,2015(4):74-80.
LUO Zhendong, ZHU Chasong, XUE Wenwen. The analysis on spatial structure of Yangtze River Delta based on passenger flow of high-speed railway[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2015(4):74-80.
- [3] 甄峰,王波,陈映雪,等.基于网络社会空间的中国城市网络特征——以新浪微博为例[J].地理学报,2012,67(8):1031-1043.
ZHEN Feng, WANG Bo, CHEN Yingxue, et al. China's city network characteristics based on social network space: an empirical analysis of Sina Micro-blog[J]. Acta Geographica Sinica, 2012,67(8):1031-1043.
- [4] 甄峰,王波,秦萧,等.基于大数据的城市研究与规划方法创新[M].北京:中国建筑工业出版社,2015.
ZHEN Feng, WANG Bo, QIN Xiao, et al. Urban studies and innovation in urban planning methods based on big data[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2015.
- [5] 唐子来,李涛.长三角地区和长江中游地区的城市体系比较研究:基于企业关联网络的分析方法[J].城市规划学刊,2014(2):24-31.
TANG Zilai, LI Tao. A comparative analysis of

urban systems in the Yangtze Delta Region and the Middle Yangtze Region: an approach of firm-based interlocking network[J]. Urban Planning Forum, 2014(2):24-31.

- [6] Krings G, Calabrese F, Ratti C, et al. Urban gravity: a model for inter-city telecommunication flows[J]. Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment, 2009(7): L07003.
- [7] Becker R, Cáceres R, Hanson K, et al. Human mobility characterization from cellular network data[J]. Communications of the ACM, 2013, 56(1):74-82.
- [8] 钮心毅,丁亮.利用手机数据分析上海市域的居住空间关系——若干结论和讨论[J].上海城市规划,2015(2):39-43.
NIU Xinyi, DING Liang. Analyzing job-housing spatial relationship in Shanghai using mobile phone data: some conclusions and discussions[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2015(2):39-43.
- [9] 丁亮,钮心毅,宋小冬.利用手机数据识别上海中心城的通勤区[J].城市规划,2015(9):100-106.
DING Liang, NIU Xinyi, SONG Xiaodong. Identifying the commuting area of Shanghai Central City using mobile phone data[J]. City Planning Review, 2015(9):100-106.
- [10] 宋小冬,丁亮,钮心毅.“大数据”对城市规划的影响:观察与展望[J].城市规划,2015(4):15-18.
SONG Xiaodong, DING Liang, NIU Xinyi. Influence of big data on urban planning: review and prospection[J]. City Planning Review, 2015(4):15-18.