



移动轨迹数据支持下的城市居民通勤活动分析

罗琼¹ 舒红¹ 徐亚瑾¹ 刘稳²

1 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,湖北 武汉,430079

2 武汉大学城市设计学院,湖北 武汉,430079

摘要:城市居民通勤活动分析是解决城市职住失衡和交通拥堵问题的重要技术支持。移动轨迹大数据增加了城市居民通勤活动观测的数据类型、数据规模、采样频率和信息量,有助于揭示就业居住空间模式和通勤活动的内在规律。概述了多学科领域城市居民通勤活动研究及相关移动轨迹数据分析的进展,明晰了通勤活动的概念、指标、模型和方法。从城市居民通勤活动的行为特征、空间格局和受职住空间影响这3个方面,给出了移动轨迹数据支持下的居民通勤活动分析技术架构,指出城市居民通勤活动分析技术正朝着城市规划、交通预测和移动轨迹大数据的多学科交叉理论方向发展。

关键词:移动轨迹;城市居民通勤活动;职住平衡;交通拥堵

中图分类号:P208 **文献标志码:**A

城市居民通勤活动是地理学、社会学和城乡规划学科共同关注的职住空间关系研究内容。定量分析城市居民通勤活动有助于解释职住失衡现象、剖析“城市病”根源,对城市规划与管理、社会公共安全、区域经济发展、增值信息服务等都具有应用价值^[1]。自从霍华德提出“田园城市”的理论^[2],学者们就开始关注职住空间关系,研究城市居民通勤活动和职住空间的相互影响,提出过剩通勤等一系列指标来量化通勤行为特征,综合评价职住空间布局的均衡性,逐渐形成了城市居民通勤行为与职住空间的互动关系理论。

然而,传统研究方法主要采用问卷调查的方式,数据获取成本高、主观误差大、时间不连续且更新周期长,无法及时合理反映城市居民通勤活动的时空特性。移动轨迹大数据支持大规模、多时序和高精度地刻画人类移动轨迹,使城市居民通勤活动规律探究有了新的观测角度。运用移动轨迹数据,国内外学者对城市居民通勤活动相关的人类时空行为模式、职住空间结构、交通需求预测和通勤活动的社会经济成因进行了度量分析^[3-6]。多数研究进行了基于轨迹大数据的居民通勤行为特性分析,少有文献报道居民通勤活动的指标、模型和方法的多学科研究,缺乏一个

轨迹数据支持下的居民通勤活动分析技术架构。

1 城市居民通勤活动分析基础理论

1.1 概念与分类

事实上,城市居民通勤活动没有统一的规范定义,社会学、城市规划和交通学常常将其表述为通勤出行、居民通勤和交通通勤行为,共性地认为它是指以就业为通勤目的,以居住地为起点、就业地为止点的具体出行的整个移动过程。外在地看,城市居民通勤活动具有空间属性、交通属性和社会属性等多重属性,可用通勤起止点位置、通勤距离、通勤时间、通勤频率、通勤方式结构和通勤成本等来描述和研究。相对于其他目的的出行活动,城市居民通勤活动在时间和空间上存在较大的恒定性,隐藏着稳定的时空特征及模式。内在地看,人口与岗位在物理空间上分隔是城市居民通勤活动产生的根源。换言之,城市居民通勤格局一定程度上反映了职住空间关系,解读了城市空间结构。

城市居民通勤活动是交通出行的延伸,一般根据通勤距离和出行交通工具来进行分类。从城市空间结构角度,通勤活动可以划分为多种模式。如文献[7]归纳的城市中心为内部通勤、内

收稿日期:2020-01-18

项目资助:国家重点研发计划(2017YFB0503604);湖北省自然资源遥感监测工程中心平台建设项目。

第一作者:罗琼,博士生,高级工程师,现从事时空大数据分析智慧城市应用研究。200422170037@whu.edu.cn

通讯作者:舒红,博士,教授。shu_hong@whu.edu.cn

向通勤、逆向通勤、侧面通勤和交叉通勤;文献[8]分析了中国城市不同时期的通勤活动,划分了城市中心到郊区的逆向通勤、郊区新城之间的侧向通勤和郊区到城市中心的长距离通勤。

1.2 主要指标

测度城市居民通勤活动的指标由通勤时间和通勤距离的单一指标发展为过剩通勤和就业可达性的综合指标,机理模型建立涉及城市动力学、城市规划与交通、城市地理、城市社会经济学等多学科交叉理论。

1)通勤时间和通勤距离。通勤时间和通勤距离是表示城市居民通勤成本的基础性指标^[9],许多研究运用这两个指标来分析居民通勤行为

特征和居民通勤空间格局。关于两个指标的深层关系,文献[10]的实证分析表明通勤时间与通勤距离是二次函数关系^[10],但文献[4]实证分析发现二者是幂函数关系。

2)过剩通勤。模拟家庭居住与就业地点的区位选择,过剩通勤是在不改变城市的居住与就业的空间分布和城市结构的前提下城市居民通勤量达到最小的度量指标,可通过计算实际通勤与最小通勤的差距来估算。过剩通勤既可反映居民通勤效率,也可反映通勤成本对居住地与就业地区位选择的重要影响^[11]。文献[10]中,过剩通勤概念发展成为为测度过剩通勤的若干指标和具体算法(见表1)。

表 1 测度城市居民通勤的指标
Tab.1 Metrics of Citizen Commuting

文献	测度指标	测度方法	实证发现	工作特点
文献[12]	理论最小通勤	线性方程	洛杉矶地区统计分析表明,实际通勤与职住平衡存在弱相关	将通勤测度与职住平衡结合
文献[11]	平均最小通勤和理论最小通勤	负指数概率密度函数	14个美国都市区实验分析发现,实际通勤距离几乎是理论最小通勤距离的8倍,且87.1%通勤属于“浪费通勤”	给出了单中心城市模型的理论内涵,发现单中心城市模型预测区域通勤能力较弱
文献[9]	平均最小通勤	线性规划模型	对25个美国都市区实验发现理论平均通勤20 min,对比实际平均通勤时间22.5 min,仅有11%通勤属于“浪费通勤”	区域分布过剩通勤计算,避免了跨区通勤引起的通勤量误差。管辖区实验单元过大,过剩通勤量估计偏小
文献[13-14]	理论最大通勤和扩展最小通勤	新指数模型	说明了引入理论最大通勤和通勤容量的必要性,考虑不同区域间相互影响来分析职住空间关系更加准确	适合城市居民通勤效率比较,考虑居住地到就业地的多模式出行可能性,可改进最小通勤计算
文献[15]	实际平均通勤	最大熵及蒙特卡洛模拟	实际通勤距离与统计平均通勤的对比分析表明,就业者是否利用城市空间结构会增加或减少通勤量	统计平均通勤表达实际通勤的测算分析发现,城市空间结构利用会影响通勤量估算
文献[16]	通勤时间和通勤距离	幂函数	基于通勤时间和通勤距离的过剩通勤量估算差异性分析发现,通勤成本差异是造成过剩通勤量不同的主要原因	实证分析了通勤时间和通勤距离之间的幂函数关系

3)就业可达性。就业可达性强调城市中不同地域单元的就业人口与周边工作岗位的匹配状况,一定程度度量了房地产市场与劳动力市场的空间失配效应^[11]。就业可达性计算方法、就业可达性与通勤时间等指标关系引起广泛关注。

有学者认为可达性比居住与就业的人群比率更能说明职住平衡对城市居民通勤行为的影响^[11]。就业可达性影响着居民对居住地和就业地的选址,影响着居民通勤活动的产生。同时,

居民通勤活动关系着居民通勤出行距离、出行时耗、出行频率和出行方式,影响地区的就业可达性。

1.3 城市居民通勤活动分析的经典模型

更加系统深入的城市居民通勤活动分析,涉及到城市动力学、城市规划与交通、城市地理学的理论方法(见表2)。

在空间交互理论的指导下,城市规划学使用人口数量、就业分布或交通费用来构建引力模

型,量化分析地理区域的土地利用特征与通勤活动规律的关系,这种机理模型存在模型因素缺失和模型结构过简的不足。

城市交通学通过分析城市居民通勤活动来预测交通需求,所采用的约束条件和目标函数过

于简单,导致职住空间与通勤行为的相互作用表达不够精准。

行为地理学分析侧重微观个体行为建模,关注土地利用与交通决策,辅助人类移动行为模式发现和城市空间功能区划分。

表2 城市居民通勤活动的经典模型

Tab.2 Classical Models of Citizen Commuting

相关领域	学科理论	主要模型	基本思想	代表成果	模型描述
城市空间	城市动力学	空间交互理论模型	借助重力模型来表达居住与就业的关系	Lowery ^[17]	考虑土地利用及人口就业分布
				LILT ^[18]	土地利用与交通活动的综合表达
				ITLUP ^[19]	居住和就业的区位模式代替出行分布,土地利用与交通活动之间关系的表达
城市交通	交通规划学	交通规划模型	调查分析居民出行现状并预测出行需求量	交通规划四阶段模型 ^[20]	考虑土地利用来分析交通量的发生、吸引及分布,交通方式及交通量分配
				离散选择模型 ^[21]	利用离散概率分布函数来表达个体选择行为及交通需求量建模
				POLUS模型 ^[22]	构建居住就业关系的线性规划模型
人类移动行为	行为地理学	微观物理模型	给出约束条件和目标函数构成的优化模型,求解最优居住就业空间布局及相关通勤量	MASTER模型 ^[23]	基于家庭选择行为的居住就业及交通模拟
				HUDES模型 ^[24]	个人交通行为与住房选址关系模拟
				Agent模型 ^[25]	构建空间里个体移动代理模型

1.4 多学科视角下的城市居民通勤活动分析

城市居民通勤活动分析研究呈现多学科交叉的特点。地理学提出城市空间行为和人类移动性概念,通过居民移动行为模式来反映人类(或人群)空间移动及空间交互规律^[26]。城市规划和交通科学将城市居民通勤活动视作一种交通行为,从职住空间角度分析刻画居住、就业用地空间特征和识别居民通勤活动空间结构,预测高峰时期交通通勤量等^[27-28]。社会学从居民通勤行为产生机理出发,通过微观个体通勤成本分析居住就业空间形成的经济社会力量^[3]。这些研究从各学科背景出发,以空间交互理论、交通规划理论、微观行为模拟理论等为基础,讨论通勤活动特征、通勤行为模型、通勤的社会经济影响因素。

2 城市居民通勤活动相关的移动轨迹数据

普适计算及物联网技术发展带来了传感器、智能手机及穿戴设备的普及,积累了海量移动轨迹数据。这些数据为带有时间戳的空间离散点序列观测,描述了移动对象随时间变化的空间位置和属性值,成为城市居民通勤活动分析的数据基础。相对于问卷调查数据,移动轨迹大数据具有样本量大、实时动态、位置精准和信息量丰富等技术优势。

不同类型的轨迹数据呈现不同的时空分析精度和个体行为可解读性。城市居民通勤活动分析的移动轨迹数据可以划分为4类:(1)以微观个体为采集对象的轨迹数据,如手机定位数据、

智能穿戴设备位置数据,直接反映个体通勤移动轨迹,但难汇集多家运营商数据形成全样本数据;(2)通过车辆、地铁、单车等通勤工具间接反映人们通勤活动的轨迹数据,如浮动车定位数据、公交地铁智能卡(integrated circuit card, IC卡)刷卡记录、共享单车数据。车辆及地铁轨迹数据反映行驶在城市路网和轨道线路上的通勤轨迹,共享单车轨迹数据则描述从通勤地点到公交/地铁站轨迹,二者都无法反映完整通勤路线,出行链路可识别性较差;(3)侧重感知局部范围的移动轨迹数据,如WiFi嗅探数据、视频监控数据等,可精准识别出通勤活动的时空轨迹,但受限于设备监测网络部署,难以获取大规模全覆盖移动轨迹数据;(4)社交签到数据,如微信、微博签到数据等,依赖于用户主动签到和网络覆盖范围,存在很大人为不确定性,很难精准识别居民通勤活动。

3 城市居民通勤活动分析方法

使用轨迹大数据可以分析通勤活动与城市职住空间结构的关系,同时衡量城市职住空间对居民通勤活动的影响。

3.1 城市居民通勤活动基本特征

出租车GPS、公交刷卡、手机信令、社交微博的移动轨迹数据可以提取出人群或个体运动轨迹,进而分析城市居民通勤活动的通勤时间、通勤距离和职住空间特征。例如,文献[29]基于北京市连续一周公交IC卡刷卡数据,识别了公交持卡人的居住地、就业地和通勤出行行为,分析出了个人的居住区、办公区、通勤出行特征和全市通勤出行主导方向;文献[27]利用手机信令数据建立“人群-时间-行为”关系模型,估计上海市职住地空间分布和通勤距离,实验分析了上海市人群分布和活动动态特征;文献[28]结合微博数据的时序特征和相关土地利用信息,分析了微博数据中潜在的人群通勤行为特征。

进一步地,行为特征上升为活动模型或时空分布分析。例如,文献[5]指出突发性人类活动更加接近于重尾分布;文献[30]对来自3家公司14万用户的150万条短信记录进行了分析,发现人类通讯符合双峰分布,前段为幂律分布,后段为指数分布;文献[31]使用伦敦地铁200万名乘客一周时间内1100万条IC卡刷卡数据,对通勤活动模式进行研究,发现地铁乘客的出行距离更加近似于负二项式分布,而非通常认为的幂律分

布或指数分布。上述研究表明,移动轨迹数据有助于揭示通勤时间与通勤距离之间的非线性关系。

3.2 城市居民通勤活动空间格局

移动轨迹数据可以用于通勤出行模式、通勤流向和通勤需求的城市居民通勤空间格局分析。

1)城市居民通勤出行模式移动轨迹数据蕴含了城市居民通勤活动的出发地、目的地、出行方式、出行目的等信息,有助于多方面了解城市居民通勤出行模式。如文献[6]运用逻辑规则、模糊数学和机器学习的理论方法来分析GPS数据,识别出城市居民通勤出行模式;文献[32]利用150万人次出租车轨迹数据,分析了具体城市居民出行的距离及方向分布,在地理异质性及距离衰减性假设下利用蒙特卡洛方法模拟出城市居民的出行模式。

可以看出,通勤距离、通勤时间和过剩通勤分析逐渐转向利用多源感知数据进行个体通勤行为模式分析和深层次通勤模式形成及其影响城市空间结构形成的分析。

2)城市居民通勤流向海量移动轨迹数据可用于分析人口流动、居民通勤流及空间流动特征^[32-33]。如文献[34]利用欧洲城市间的手机通话数据建立了城市间通勤流“辐射”非参数模型,提高了受迁移率及传输过程影响的移动模式预测精度^[34];文献[35]利用手机位置数据识别出城市中人群聚集与消散的区域与时空模式;文献[36]利用7周43.2万条手机位置数据,运用时空转移概率矩阵量化描述了相关城市不同区域之间人群流动特征。

3)城市居民通勤需求分布。城市居民通勤活动因高峰时期规模性人口流动被认为是产生城市交通拥堵的主要诱因。利用移动轨迹数据预测城市居民通勤需求成为改善职住不平衡现象及交通拥堵的研究热点^[37]。文献[38]使用百度地图应用程序接口(application programming interface, API),设计了POI查询收集系统,优化交通小区出行预测模型,进行轨道交通沿线的交通流量预测;文献[39]描述了职住分布对通勤出行的影响,建立了城市职住分布与通勤出行网络动力学模型,定量分析了职住系数与通勤指标的关系,有效预测了相关城市居民通勤出行变化;文献[40]通过谷歌地图API获取出行成本数据,建立重力-辐射模型估计出行概率和潜在人口,以衡量区域可达性。

3.3 城市职住空间对居民通勤活动的影响

职住空间结构是城市居民通勤特征形成的重要因素,特别是空间结构对通勤时耗和通勤距离具有直接影响。例如,文献[41]利用大规模短期规则采样手机定位数据,进行了居民职住地识别和通勤距离分析;文献[42]利用出租车轨迹数据分析了城市居民通勤出行模式和交通“源”“汇”区域,分析了通勤活动与土地利用的关系;文献[43]利用连续10个工作日1763万条手机信令数据,识别出上海市居民就业地和居住地,估算城郊职住平衡程度。

3.4 技术架构

本文梳理运用移动轨迹大数据分析城市居民通勤活动的现状^[44-46],给出了移动轨迹数据支持下的城市居民通勤活动分析技术架构(见图1),包括实验数据、学科方向、关注主题、模型方法共4个部分。

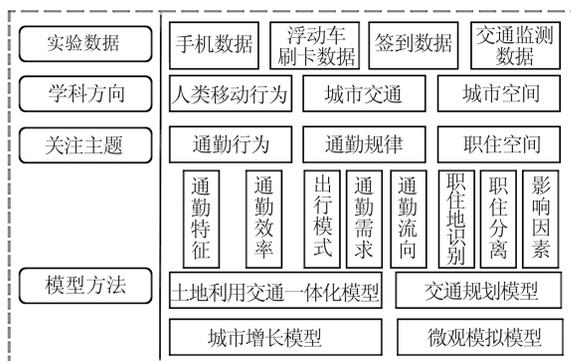


图1 移动轨迹数据支持下的城市居民通勤活动分析架构
Fig.1 Architecture of Exploring Relationships Between Citizen Commuting and Jobs-Housing from Mobile Trajectory Data

从图1可以看出,受到“互联网+”和大数据技术的影响,移动轨迹数据支持下的城市居民通勤活动分析拓宽了职住空间关系解读视野,其数据基础、模型方法和研究内容发生了显著变化。研究方法将移动轨迹数据分析方法与多学科经典理论结合,综合了行为地理学、空间计量经济学和时空统计学方法,试图提取城市居民通勤活动信息。研究重点从度量指标体系构建、职住通勤特征提取延伸到城市居民通勤与职住空间互动关系机理分析,特别是职住空间结构对通勤行为的影响以及通勤活动反映职住平衡程度的分析。移动轨迹数据支持下的居民通勤活动分析尺度也从宏观层面向中微观层面扩展。

4 结语

为应对数据质量改善、通勤行为语义信息提取、多源时空数据融合和通勤时空模式解析等需求,移动轨迹数据支持下的城市居民通勤活动分析有待从如下方面加强:

1)移动轨迹大数据挖掘的综合方法。利用移动轨迹大数据挖掘方法更大规模、更细粒度地识别移动对象、通勤出行链及行为语义,更真实地还原通勤活动行为轨迹,构建城市居民通勤和职住空间关系的综合时空模型,实现多时空条件约束下的城市居民通勤活动分析。

2)智慧城市多源时空数据的增强融合。智慧城市建设为城市居民通勤活动分析积累了丰富的社会、经济和人口数据。这些城市本底数据比较完整地描述了城市居民个人背景信息以及城市空间单元社会经济属性,可以增强轨迹数据,扩展通勤活动时间、空间和社会经济分析的广度和深度,深入理解通勤行为的心理因素和环境因素,全面客观认识居民通勤活动特征和职住空间平衡关系。

3)通勤活动的模拟预测。以人工智能及机器学习为代表的数据挖掘方法,通过大数据样本训练建立模型,在刻画复杂人地关系、模拟预测通勤流等方面具有明显优势。可以利用移动轨迹数据设计时空数据挖掘方法,模拟预测城市居民通勤活动,支持居民通勤与职住关系的优化配置及城市政策制定。

参 考 文 献

- [1] Shaw Shihlung, Fang Zhixiang. Rethinking Human Behavior Research from the Perspective of Space-Time GIS[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2014, 39(6):667-670(萧世伦,方志祥.从时空GIS视野来定量分析人类行为的思考[J].武汉大学学报·信息科学版,2014,39(6):667-670)
- [2] Howard E, Garden Cities of Tomorrow[M]. London: Swan Sonnenschein and Co, 1902
- [3] Zheng Siqi, Sun Cong. Urban Spatial Structure: Housing, Jobs and Related Urban Issue[J]. *South China Journal of Economics*, 2011(8):18-31(郑思齐,孙聪.城市经济的空间结构:居住、就业及衍生问题[J].南方经济,2011(8):18-31)
- [4] Ma K R, Banister D. Extended Excess Commuting: A Measure of the Jobs-Housing Imbalance in Seoul[J]. *Urban Studies*, 2006, 43(11):2 099-2 113

- [5] Barabasi A. The Origin of Bursts and Heavy Tails in Human Dynamics [J]. *Nature*, 2005, 435: 207-211
- [6] Bantis T, Haworth J. Who You Are Is How You Travel: A Framework for Transportation Mode Detection Using Individual and Environmental Characteristics [J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2017, 80:286-309
- [7] Plane D A. The Geography of Urban Commuting Fields: Some Empirical Evidence from New England [J]. *The Professional Geographer*, 1981, 33 (2) : 182-188
- [8] Ta Na, Chai Y, Zhang Y, et al. Understanding Job-Housing Relationship and Commuting Pattern in Chinese Cities: Past, Present and Future[J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2017, 52(Pt. B):562-573
- [9] White M J. Urban Commuting Journeys Are Not “Wasteful” [J]. *The Journal of Political Economy*, 1988, 96(5):1 097-1 110
- [10] Hamilton B W, Ailsa R. Wasteful Commuting [J]. *Journal of Political Economics*, 1982, 90(5) : 1 035-1 053
- [11] Horner M W. Accessibility Landscapes? Development of a New Methodology for Simulating and Assessing Jobs: Housing Relationships in Urban Regions [J]. *Urban Studies*, 2008, 45(8):1 583-1 602
- [12] Giuliano G, Small K A. Is the Journey to Work Explained by Urban Structure? [J]. *Urban Studies*, 1993, 30(9):1 485-1 500
- [13] Horner M W. Extensions to the Concept of Excess Commuting [J]. *Environment and Planning A*, 2002, 34(3):543-566
- [14] Horner M W. A Multi-scale Analysis of Urban form and Commuting Change in a Small Metropolitan Area (1990—2000) [J]. *Annals of Regional Science*, 2007, 41(2):315-332
- [15] Charron M. From Excess Commuting to Commuting Possibilities: More Extension to the Concept of Excess Commuting[J]. *Environment and Planning A*, 2007, 39(5):1 238-1 254
- [16] Ma K R, Banister D. Extended Excess Commuting: A Measure of the Jobs-Housing Imbalance in Seoul [J]. *Urban Studies*, 2006, 43(11):2 099-2 113
- [17] Lowry I. A Model of Metropolis[M]. Santa Monica: Rand Corporation, 1964
- [18] Mackett R L. The Systematic Application of the LILT Model to Dortmund, Leeds and Tokyo [J]. *Transport Review*, 1990, 10(4): 323-333
- [19] Putman S H. Integrated Urban Models: Policy Analysis of Transportation and Land Use [M]. London: Routledge, 1983
- [20] Shao Chunfu. Traffic Planning [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2014(邵春福. 交通规划原理[M]. 北京:中国铁道出版社, 2014)
- [21] Train K. Discrete Choice Methods with Simulation [M]. New York: Cambridge University Press, 2003
- [22] Caindec E K, Prastacos P. A Description of POL-TS: The Projective Optimization Land Use Information System [R]. Association of Bay Area Governments, Oakland, CA, 1995
- [23] Mackett R L. Master Model (Micro-Analytical Simulation of Transport, Employment and Residence) [R]. Crowthorne, England: Transport and Road Research Laboratory, 1990
- [24] Kain J F, Apgar W C. Housing and Neighborhood Dynamics: A Simulation Study [M]. Cambridge: Harvard University Press, 1985
- [25] Feng H, Liu H, Lü Y. Scenario Prediction and Analysis of Urban Growth Using SLEUTH Model [J]. *Pedosphere*, 2012(2):206-216
- [26] Yu Xiaofen, Gao Yun, Liang Chao. A Review on the Research of Spatial Mismatch Hypothesis [J]. *Editorial Committee of Economic Geography*, 2013, 33(3):15-21(虞晓芬, 高莹, 梁超. 国内外空间失配理论的研究进展述评[J]. 经济地理, 2013, 33(3):15-21)
- [27] Zhong Weijing, Wang De, Xie Dongcan, et al. Dynamic Characteristics of Shanghai's Population Distribution Using Cell Phone Signaling Data [J]. *Geographical Research*, 2017, 36(5):972-984(钟炜菁, 王德, 谢栋灿, 等. 上海市人口分布与空间活动的动态特征研究: 基于手机信令数据的探索[J]. 地理研究, 2017, 36(5):972-984)
- [28] Mao Feng. Mining Commuting Pattern and Urban Jobs-Housing Balance from Multi-source Mobile Trajectory Data [D]. Shanghai: East China Normal University, 2015(毛峰. 基于多源轨迹数据挖掘的居民通勤行为与城市职住空间特征研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2015)
- [29] Long Ying, Zhang Yu, Cui Chengyin. Identifying Commuting Pattern of Beijing Using Bus Smart Card Data [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(10):1 339-1 352(龙瀛, 张宇, 崔承印, 利用公交刷卡数据分析北京职住关系和通勤出行[J]. 地理学报, 2012, 67(10):1 339-1 352)
- [30] Wu Ye, Zhou Changsong, Xiao Jinghua, et al. Evidence for a Bimodal Distribution in Human Communication [J]. *Proceedings of the National Academy*

- of Sciences of the United States of America*, 2010, 107(44):18 803-18 808
- [31] Roth C, Kang S M, Batty M. Structure of Urban Movements: Polycentric Activity and Entangled Hierarchical Flows [J]. *PLOS ONE*, 2011, 6 (1) : e15923
- [32] Liu Yu, Kang Chaogui, Gao Song, et al. Understanding Intra-urban Trip Patterns from Taxi Trajectory Data [J]. *Journal of Geographical Systems*, 2012, 14(4): 463-483
- [33] Liu Yaolin, Fang Feiguo, Jing Ying. How Urban Land Use Influences Commuting Flows in Wuhan, Central China: A Mobile Phone Signaling Data Perspective [J]. *Sustainable Cities and Society*, 2020, 53:101914
- [34] Gonzalez M C, Hidalgo C A, Barabasi A L. Understanding Individual Human Mobility Patterns [J]. *Nature*, 2008, 453(7 196):779-782
- [35] Yang Xiping, Fang Zhixiang, Zhao Zhiyuan, et al. Exploring Urban Human Spatiotemporal Convergence-Dispersion Patterns: A Case Study of Shenzhen City [J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2016, 18(4):486-492(杨喜平,方志祥,赵志远,等. 城市人群聚集消散时空模式探索分析:以深圳市为例[J]. 地球信息科学学报, 2016,18(4):486-492)
- [36] Fang Zhixiang, Ni Yaqian, Zhang Tao, et al. Using Terminal Location Spatiotemporal Transfer Probability to Predict Subscriber Base Size of Communication Base Station [J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2017, 19(6):772-781(方志祥,倪雅倩,张韬,等. 利用终端为主时空转移概率预测通讯基站服务用户规模[J]. 地球信息科学学报, 2017, 19(6):772-781)
- [37] Zhao Yongmei, Zhang Hongmei, An Li, et al. Improving the Approaches of Traffic Demand Forecasting in the Big Data Era [J]. *Cities*, 2018, 82:19-26
- [38] Li Xiaofeng, Huang Hainan, Li Jinhai, et al. A Research on Rail Traffic Generation Forecasting Based on Baidu Map API [J]. *Shandong Science*, 2017, 30(1):82-88(李晓峰,黄海南,李金海,等. 基于百度地图应用程序接口的轨道交通生成预测[J]. 山东科学, 2017, 30(1):82-88)
- [39] Liu Yang, Zhao Hui, Zhou Yanlong. Network Dynamics Model for the Relationship Between Metropolitan Resident-Employment Distribution and Commuting [J]. *Shandong Science*, 2015, 28(1):56-63(刘阳,赵晖,周艳龙. 大型城市职住分布与通勤出行相关关系的网络动力学模型[J]. 山东科学, 2015, 28(1):56-63)
- [40] Xia Na, Cheng Liang, Chen Song, et al. Accessibility Based on Gravity-Radiation Model and Google Maps API: A Case Study in Australia [J]. *Journal of Transport Geography*, 2018, 72: 178-190
- [41] Xu Ning, Yin Ling, Hu Jinxing. Identifying Homework Locations from Short-Term, Large-Scale, and Regularly Sampled Mobile Phone Tracking Data [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2014, 39(6):750-756(许宁,尹凌,胡金星. 从大规模短期规则采样的手机定位数据中识别居民职住地[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2014, 39(6):750-756)
- [42] Liu Yu, Wang Fahui, Xiao Yu, et al. Urban Land Uses and Traffic "Source-Sink Areas": Evidence from GPS-Enabled Taxi Data in Shanghai [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2012, 106(1): 73-87
- [43] Niu Xinyi, Ding Liang, Song Xiaodong. Analyzing Suburban New Town Development in Shanghai from the Perspective of Jobs-Housing Spatial Relationship [J]. *City Planning Review*, 2017, 41(8): 47-53(钮心毅,丁亮,宋小冬. 基于职住空间关系分析上海郊区新城发展状况[J]. 城市规划, 2017, 41(8):47-53)
- [44] Liu Yu, Kang Chaogui, Wang Fahui. Towards Big Data-Driven Human Mobility Patterns and Models [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2014, 39(6):660-666(刘瑜,康朝贵,王法辉. 大数据驱动的人类移动模式和模型研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2014, 39(6):660-666)
- [45] Zhang Xuebo, Dou Qun, Zhao Jinli, et al. Comparative Review and Prospect of the Jobs-Housing Spatial Relationship [J]. *World Regional Studies*, 2017, 26(1): 1 004-9 479(张学波,窦群,赵金丽,等. 职住空间关系研究的比较述评与展望[J]. 世界地理研究, 2017, 26(1):1 004-9 479)
- [46] Suzuki T, Lee S. Jobs-Housing Imbalance, Spatial Correlation, and Excess Commuting [J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2012, 46(2): 322-336

Citizen Commuting Analysis Using Mobile Trajectory Data

LUO Qiong¹ SHU Hong¹ XU Yajin¹ LIU Wen²

1 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China

2 School of Urban Design, Wuhan University, Wuhan 430079, China

Abstract: Objectives: Citizen commuting analysis is useful for solving jobs-housing imbalance and traffic congestion. Mobile trajectory data, strengthening the observation of citizen commuting in data types, data volume, sampling frequency, and information content, is helpful for exploring jobs-housing patterns and citizen commuting distribution. **Methods:** We have investigated the research progress of citizen commuting and mobile trajectory analysis, and have worked out relevant concepts, indexes, metrics, models and theoretical methods of commuting activity analysis. The representative results of spatial interaction model, transportation planning model, linear programming model, and micro-physical model are compared, and the characteristics of their application in the analysis of citizen commuting activities are discussed from a multidisciplinary perspective. **Results:** Four types of trajectory data characteristics of citizen commuting activities are summarized. From the perspectives of citizen commuting behaviors pattern and its jobs-housing restrictions, we have proposed the architecture of exploring the relationships between citizen commuting and jobs-housing from mobile trajectory data. **Conclusions:** The technology of multidisciplinary development of citizen commuting analysis is addressed, and the comprehensive method of analyzing trajectory big data, multi-source data fusion, and commuting activity prediction are the focus of future research.

Key words: mobile trajectories; citizen commuting; jobs-housing balance; traffic congestion

First author: LUO Qiong, PhD candidate, senior engineer, specializes in spatial data mining and smart city. E-mail: 200422170037@whu.edu.cn

Corresponding author: SHU Hong, PhD, professor. E-mail: shu_hong@whu.edu.cn

Foundation support: The National Key Research and Development Program of China (2017YFB0503604); Engineering Center for Natural Resources Remote Sensing Monitoring in Hubei.

引文格式: LUO Qiong, SHU Hong, XU Yajin, et al. Citizen Commuting Analysis Using Mobile Trajectory Data[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2021, 46(5):718-725. DOI:10.13203/j.whugis20200025(罗琼,舒红,徐亚瑾,等.移动轨迹数据支持下的城市居民通勤活动分析[J].武汉大学学报·信息科学版,2021,46(5):718-725. DOI:10.13203/j.whugis20200025)