

基于手机数据的职住空间关系研究 ——以重庆市主城区为例

甘田¹, 刘鼎^{1,2,3}

(1.上海海事大学交通运输学院, 上海 201306; 2.哈尔滨工业大学(深圳), 广东 深圳 518055; 3.深圳市综合交通设计研究院有限公司, 广东 深圳 518003)

摘要: 随着城市规模不断扩大, 低密度、蔓延式发展导致职住分离并诱发交通拥堵等大城市病。以重庆市主城区为例, 基于手机信令数据对通勤特征和通勤网络结构特征进行分析。首先, 通过手机信令数据提取职住信息, 分析就业人员的职住空间分布和通勤距离分布特征。其次, 基于通勤流量矩阵构建出行网络, 探究节点的度和强度分布, 以及中心节点的空间分布模式。最后, 采用社区发现方法划分通勤流量网络、识别社区结构。研究发现, 城市中心和成熟的城市副中心呈现就业岗位的高度集聚, 就业人员的居住空间相对分散; 通勤出行以短距离为主, 便利的轨道交通和职住比例失衡是长距离通勤产生的原因; 节点的度和强度分布存在不均匀性, 并且两者存在相关性, 中心节点的聚集给中心区域造成较大的交通压力; 社区结构与城市组团结构存在相似性, 社区内部的职住关系相对平衡, 外部通勤流量主要流入中心区域。

关键词: 职住空间关系; 通勤交通; 手机信令数据; 网络分析; 社区结构; 重庆市

Job-Housing Spatial Distribution Based on Cell Phone Data: Taking the Main Urban Area of Chongqing as an Example

Gan Tian¹, Liu Ding^{1,2,3}

(1.College of Transport & Communications, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China; 2. Harbin Institute of Technology (Shenzhen), Shenzhen 518055, China; 3.Shenzhen Transportation Design & Research Institute Co., Ltd., Shenzhen 518003, China)

Abstract: With the continuous expansion of urban development, low density and sprawling development lead to the separation of residence and work place, and induces traffic congestion and other urban diseases. Taking the main urban area of Chongqing as an example, this paper analyzes the commuting characteristics and commuting network structure based on cellular signaling data. Based on the commuting information in cellular signaling data, the paper analyzes the spatial distribution and commuting distance distribution of employees. Secondly, the travel network is developed based on the commuting flow matrix to discuss the degree and intensity distribution of nodes and the spatial distribution of central nodes. Finally, the community discovery method is used to divide the commuting travel network and identify community structure. The results show that the urban center and developed sub-centers represent a high concentration of employments, and the living locations of employees are evenly scattered, commuting is mainly short-distance, and high-accessible rail transit and imbalanced job-housing are the main cause of long-distance commuting; the degree and intensity distribution of nodes are uneven, where remains an correlation between them. The aggregation of central nodes will generate great traffic pressure in central area. There remains similarities between community structure and urban groups structure and the relationship between work and residence in the community is relatively self-balanced when the external commuting travel are concentrated into the metropolitan area.

Keywords: job-housing spatial distribution; commuting travel; cellular signaling data; network analysis; community structure; Chongqing

收稿日期: 2020-03-09

基金项目: 教育部科技发展中心产学研创新基金“多源城市大数据驱动的居民出行时空模式分析与建模”(2018A01025)、深圳市哲学社会科学规划课题“多源城市大数据驱动的粤港澳大湾区交通网络一体化协调发展研究”(SZ2019C004)

作者简介: 甘田(1994—), 男, 广西南宁人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 交通运输规划与管理。E-mail: gantiann@126.com

0 引言

居住和就业是城市的基本功能^[1]，往返于居住地与就业地的上下班出行行为被称为通勤。随着中国城镇化进程的快速推进，无序的蔓延式发展导致居住地与就业地的空间分离愈发明显^[2]。居住地远离就业地，意味着通勤出行距离的增加。若缺乏有效的交通管理手段和相对完善的公共交通系统，则通勤出行需要较长的时间和经济成本。

从19世纪末霍华德提出“田园城市”的概念开始，研究者一直致力于探究居住与就业的关系及平衡模式。在通勤问题的研究中，传统调查方法以问卷调查为主，虽然能够获取丰富的个人社会经济属性，但是往往需要投入大量的人力与时间，并且滞后的统计资料无法较好地反映快速变化的城市发展状况。随着信息与通信技术的发展，大数据的涌现为观察个体的出行活动规律和革新交通模型提供了数据基础^[3]。手机信令数据作为其中一类大样本、高频率的移动定位数据，在空间现状分析和空间规划评估中具有较好的适用性^[4]。近年来，许多研究开始借助手机信令数据分析居民的时空行为^[5]，进而探究人口分布、流动，城市中心识别以及功能区划分等复杂的城市问题^[6-8]。

对于通勤问题，手机信令数据能够识别就业人员的职住地，作为分析职住空间和通勤行为特性的数据支持^[9-11]。由于复杂系统能被抽象为由相互作用的个体所组成的网络^[12]，由通勤所构成的出行活动网络可以被视为一类具有时空复杂性的交通复杂网络。网络中节点之间的相互作用反映了就业人员通勤流动的强度，也刻画了城市内部区域之间的职住联系。基于流动和联系的视角对出行网络的结构特征和空间分布特征进行分析，有助于从宏观角度理解城市职住关系、探究通勤出行特征，与关注于个体通勤行为的相关研究形成良好的互补。

本文以重庆市主城区为例，基于手机信令数据中蕴含的职住信息对通勤特征进行分析。通过通勤流量矩阵构建出行网络，探究节点中心性特征及其空间分布模式。采用社区发现(Community Detection)算法挖掘网络社区结构，从而揭示城市职住空间结构与通勤规律。

1 研究方法

1.1 研究区域概况

在《重庆市城市总体规划(2007—2020年)》中，渝中区、大渡口区、江北区、南岸区、沙坪坝区、九龙区、北碚区、渝北区、巴南区等九个市辖区被定义为都市区，即通常所称主城区(见图1)。主城区被划分为5个片区、16个组团和8个功能区。天然的地形地貌造就了主城区的“多中心、组团式”城市空间结构，山水的自然分割促进了组团式的城市发展^[13]。作为重庆市着力建设的核心区域，主城区是“一圈两翼”战略的核心，也是全市的经济、文化、交通、金融中心。“多中心、组团式”发展模式是历史形成的^[13]，也是由自身禀赋塑造的特色，具有一定的代表性。以手机信令数据为基础资料，从“居住—就业”的角度检验重庆市多中心结构的发展现状，有助于进一步推进城镇协调、可持续发展，也可以为同类型城市提供经验借鉴与启示。

1.2 数据来源与预处理

本文采用重庆市某运营商2018年4月连

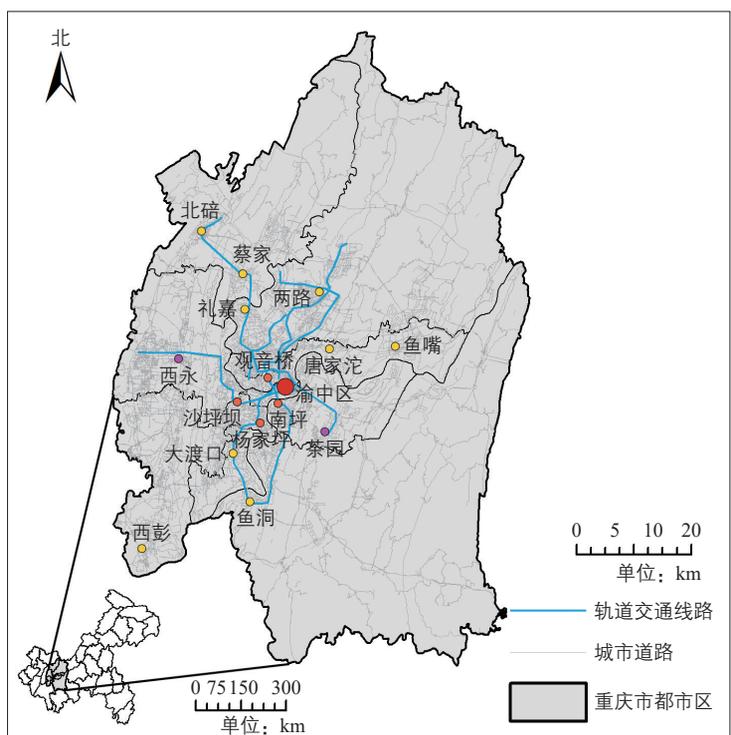


图1 研究区域

Fig.1 Study area

资料来源：根据《重庆市城市总体规划(2007—2020年)》绘制。

续14天的手机信令数据,共记录了8 419 508位用户的近73亿条手机信令数据。原始数据经过停留点处理流程后仅留下停留时间超过30 min的记录,即保存用户的长时间停驻地点。经过预处理的每一条停留数据对应的经纬度不代表实际的用户位置或所连接的基站位置。为了方便表述,本文将数据中记录的位置点统一称为停留点。

假设一般的就业人员是具有朝九晚五的通勤规律、有固定的就业地点和居住地点、在连续多日数据中被记录了通勤行为的用户^[14]。针对每位手机用户,具体的职住地识别规则设置如下:

1) 在一个工作日数据中,选取23:00, 0:00, 1:00, 2:00, 3:00作为“居住”时间点,选取10:00, 11:00, 14:00, 15:00, 16:00作为“工作”时间点,将对应时刻的停留点分别标记为备选居住地/就业地。若用户当日至少有3个相同的备选居住地/就业地,则该停留点可确认为居住地/就业地;否则,用户当日没有确定的职住地。

2) 在10个工作日的数据中,若用户每日的通勤行为皆可被识别,则最多能够筛选出10条职住记录。如果相同的居住地/就业地记录不少于6条,则判定该用户有固定的职住地点。

3) 由于数据采集过程中存在误差,可能出现手机信号在多个相邻基站之间切换的现象。为了最大限度地提取就业人员的职住信息,将“职住地相同”的定义放宽为对应停留点之间的直线距离不超过1 000 m。此外,由于居住和就业活动均在同一地点的就业人员没有产生规律性的通勤交通^[15],因此将就业地与居住地相同(通勤距离为0 m)的用户移除。

基于上述规则,经过数据预处理得到799 116名就业者的职住地点。为了验证识别结果的合理性,将识别出的就业者居住地分布与就业地分布进行统计汇总,分别与第六次人口普查和第三次经济普查数据进行校核,计算Spearman相关系数。两者的相关系数分别为0.903和0.830,且均通过置信度为99%的显著性检验,即由手机数据得到的职住分布情况与实际普查中的调查结果存在强相关性。因此,尽管由于数据时间精度和识别方法的局限性导致识别率不高、存在一定的误差,但是识别方法可靠,提取的结果足以反映居住与就业活动的真实情况。

1.3 职住密度估计

通过停留点关联的职住记录数量计算居住密度和就业岗位密度,以分析居住和就业分布的空间特性。为了避免由于相邻停留点关联的职住记录数相差较大导致密度值的变化突兀、与职住空间分布的连续性不相符,本文采用核密度估计方法对数据进行平滑处理。核密度估计能够利用连续函数描述空间对象的分布特征,使可视化结果更适合于分析和决策^[16]。

在核密度估计的输入参数中,搜索半径决定了分析的精度和效果,在确定参数取值时需要考虑基站小区的覆盖范围,以及权衡整体特征和局部差异^[14]。对于前者,文献[17]指出基站的服务半径在市区和郊区通常为100~500 m和400~1 000 m;对于后者,希望能够通过核密度分析从较精细的尺度观察到主城区的居住中心和就业中心。综合考虑后,以1 000 m为搜索半径、以200 m的栅格为单元,使用ArcGIS 10.5对居住密度与就业岗位密度进行核密度估计。此外,在对可视化结果分级渲染时,通过Jenks自然间断点分级法对密度值进行分组,减小组内数据的方差并使组间方差最大化,目的在于突出空间分布的分异性。

1.4 网络分析方法

1.4.1 网络构建

根据手机信令数据提取的就业人员职住地和通勤联系,构建通勤流动的网络模型。由于就业人员的居住地和就业地是通勤出行的起讫点,因此将代表职住地的停留点视为网络的节点;就业人员在职住地之间的通勤出行形成节点之间的边,职住节点之间的通勤流量总和即为边权,边权的大小反映节点之间通勤联系的强弱。

虽然单次出行具有方向性,但是在同时考虑上下班通勤的情况下,节点之间的通勤流量是对称的。因此,将研究区域内的通勤流量网络抽象为一个无向加权网络。根据职住地对应的停留点编号,统计节点间的通勤流量,构建网络。该网络包含2 715个节点和156 553条边,可以表示为 $2\ 715 \times 2\ 715$ 的邻接矩阵 (w_{ij}) 。

1.4.2 度和强度

节点度的定义为节点与网络中其他节点相连接的边数。作为一个最直观、最基本的指标,度中心性以度值刻画节点在网络中的

重要程度，度值越大表示节点与其他节点的联系越广泛，在网络中的影响力也越大。在有向网络中，入度表示进入节点的边数，出度表示从节点出发的边数。当网络表示通勤联系时，前者体现了节点作为就业地的吸引力，后者体现了节点作为居住地的向外提供就业的能力^[9]。在考虑权重的加权网络中，节点度的定义可推广为节点强度。节点强度指的是网络中与之相邻的所有节点的边权之和，即 $S_i = \sum_j w_{ij}$ ，式中： S_i 为节点 i 的节点强度； w_{ij} 为节点 i 和节点 j 连边的权重。在本文中，权重即为节点 i 和节点 j 之间的通勤人数。

在无标度网络模型中，节点的度分布服从幂律分布，对应的概率密度函数图像在双对数坐标下表现为一条直线。通常使用最小二乘法求解曲线的斜率，以估计幂指数 α 。但是使用最小二乘法进行参数估计存在诸多问题，计算结果可信度比较有限，相比之下最大似然估计法具有更好的可行性^[18]。由于篇幅所限，本文只对通勤流量网络的节点度和强度进行计算，并在双对数坐标下观察分布特征，对具体分布的参数估计和检验部分不做讨论。

1.4.3 社区发现

社区结构刻画了网络中连边的局部聚集特性和分布不均匀性，是复杂网络普遍具有的拓扑特征^[19]。社区内部的节点之间连接紧密，内部节点与外部节点之间的联系相对稀疏^[20]。由社区的定义可知，若将社区发现方法应用于分析通勤问题，则每个社区就代表了职住联系较为紧密的一个区域。社区的内部通勤比例比较高，而对外通勤相对较少。因此，通过社区发现能够识别职住关系相对均衡的区域，可以有效地弥补传统评价方法需要预先确定单元尺度的局限性^[21]。

随着复杂网络理论的发展，社区发现问题吸引了研究者的广泛关注，社区结构划分方法逐渐发展成熟。根据算法原理不同，社区结构划分方法分五类^[22]。其中，文献[23]提出的 Fast Unfolding 算法以最大化网络的模块度为优化目标，通过自下向上的层次聚类方法对相邻节点进行聚合、确定社区结构，具有较好的准确性与效率^[24]。模块度是文献[20]提出的一个量化社区划分结果优劣的指标，其定义为 $Q = \frac{1}{2m} \sum_{v,w} \left[A_{vw} - \frac{k_v k_w}{2m} \right] \delta(C_v, C_w)$ ，式中： Q 为模块度； m 为网络中边的总

数； A_{vw} 为网络邻接矩阵中的元素，即节点 v 和节点 w 的连接情况； k_v 和 k_w 分别为节点 v 和节点 w 的度(或强度)；若节点 v 和节点 w 在同一社区内， $\delta(C_v, C_w) = 1$ ，否则 $\delta(C_v, C_w) = 0$ ^[25]。在本文中，节点中心性指标计算和社区结构划分等网络分析工作主要使用 igraph^[26]完成。

2 通勤特征

2.1 职住空间分布

由于居住与就业数据均未经扩样，因此核密度估计结果不代表实际密度值，仅用以对比不同区域之间居住、就业分布的差异性。由于重庆市山岭重丘的自然环境，就业人员的居住地和就业地集中在中心城区(见图2)。与居住密度相比，就业岗位密度在一环以内呈现更明显的集聚性，由多个中心向外围递减。就业岗位密度高值区主要分布在

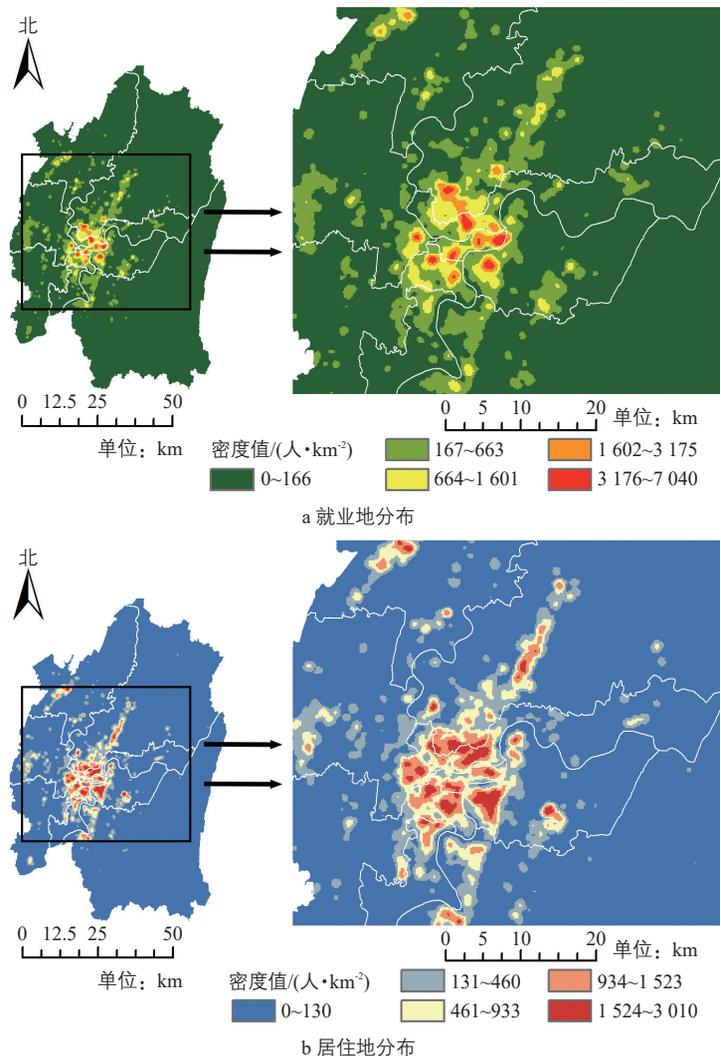


图2 就业人员就业地和居住地分布核密度

Fig.2 Distribution kernel density of living/working locations of employees

城市中心和发展成熟的副中心，皆具有较强的商务办公、文化娱乐和公共服务等综合功能。较大的成片就业密集区分布在渝中和观音桥等地，同时在南坪、沙坪坝、杨家坪也

形成了多个稍弱的就业中心。中心城区内的居住密度高值区面积相对更大，并且在中心城区外的两路、北碚和茶园等地也形成了一定规模的居住聚集区。这说明就业人员的居住空间分布相对分散，在各组团内部存在独立的居住中心。

2.2 通勤距离分布

本文所指通勤距离是居住地与就业地之间的直线距离，而不是实际通勤的路网距离。经过计算得到重庆市域的通勤距离分布如图3所示。为了突出主要分布特征，仅绘制前95%的通勤距离分布情况。随着通勤距离增加，就业人员的数量下降趋势明显，说明就业吸引力随距离衰减，反映了可达性对就业流动的影响。通勤距离分布呈现一定程度右偏，通勤距离在4 km以内的就业人员占总数的55%，平均值为7.1 km，中位数为3.5 km，说明长距离通勤流动只占就业人员的少数。将平均通勤距离作为划分长距离通勤出行的阈值，计算长距离通勤在主城区内的空间分布情况，结果如图4所示。

与图2相比，职住空间分布变化不大，中心城区仍然是居住和就业活动的主要聚集区，但存在几处值得关注的差别。除了渝中组团，其余就业岗位密度高值区的面积均有所收缩，相对集中在轨道交通车站周边。轨道交通能够提高就业人员的通勤效率、节约通勤时间成本。虽然较高的通勤距离显示潜在的职住分离现象，但是实际的通勤时耗可能并没有显著提高。另一方面，长距离通勤者的就业地集中在就业中心区域也证明就业中心的势力范围较大，而部分郊区新城与组团的产业发展尚未成气候、就业岗位有限。从居住地分布的角度来看，较均衡的职住比例使就业人员的选择更自由，因此长距离通勤人数较低，其中具有代表性的是渝中和观音桥等地；与之相反，中心城区外围区域的长距离通勤人员数量相对更高，如大渡口和鱼洞等地。

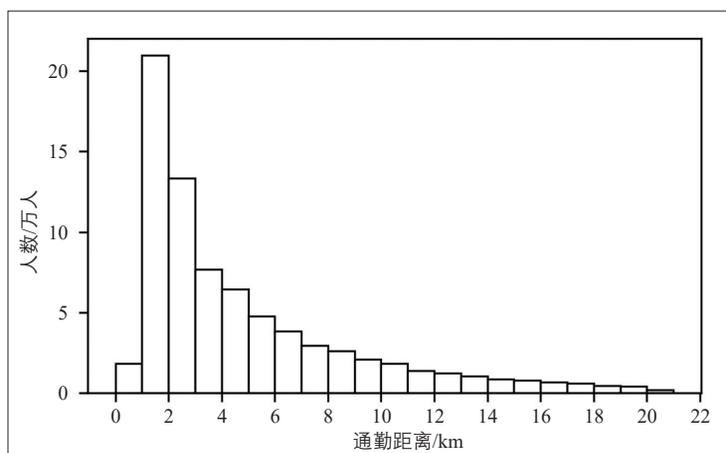


图3 重庆市域通勤距离分布

Fig.3 Distribution of commuting distance in Chongqing

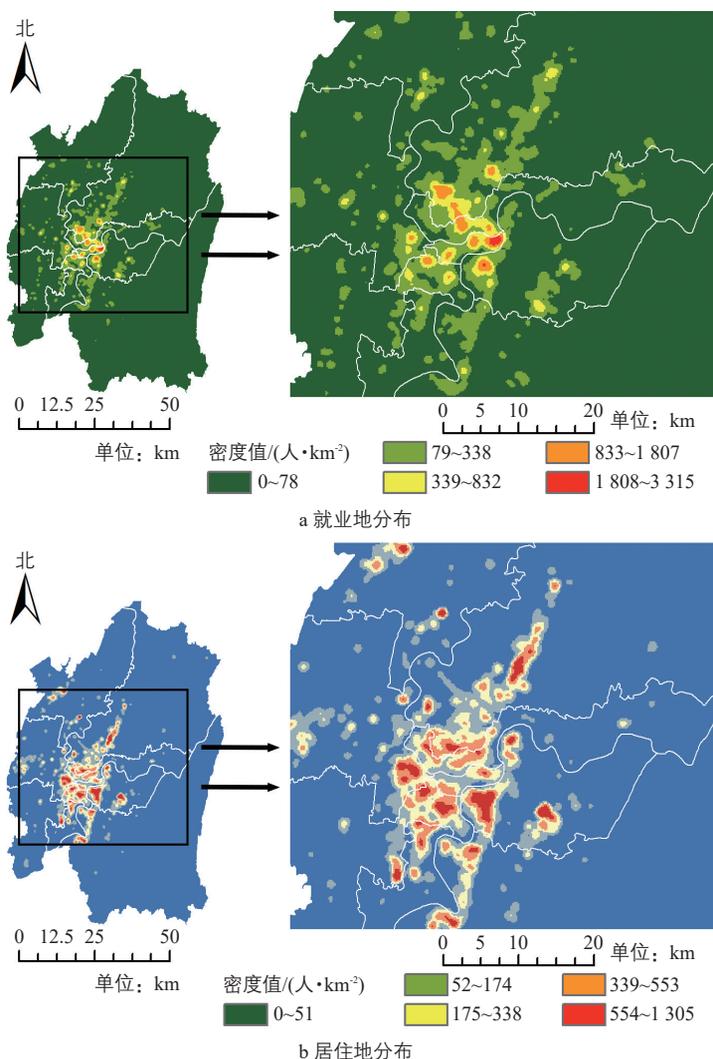


图4 长距离通勤人员就业地和居住地分布核密度

Fig.4 Kernel density of employment and residence distribution of long-distance commuting

3 网络特征

3.1 度和强度分布

节点度分布存在不均匀性，网络中度值小的节点数量大，极少数节点拥有较高的度值，节点强度也存在相同的分布特征。在对坐标进行对数拉伸下，节点度和节点强度分

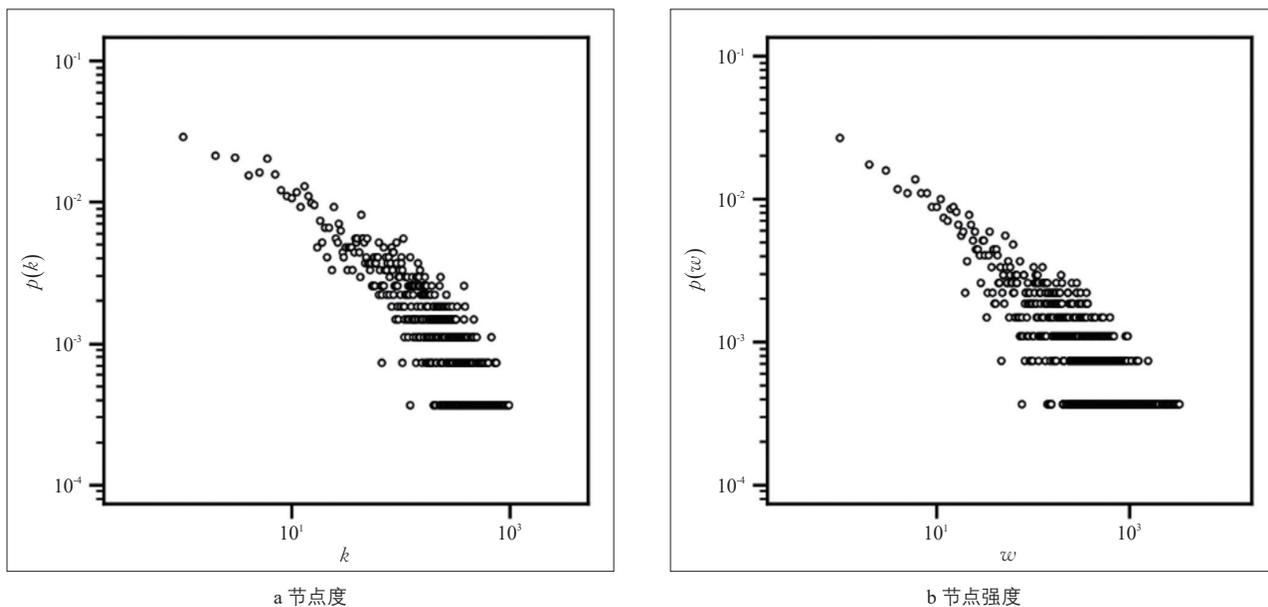


图5 节点度和节点强度对数分布

Fig.5 Logarithmic distribution of node degree and node strength

布近似于直线，虽然头部有下垂现象，但是整体的波动不大，大部分样本具有幂律分布的特征(见图5)。通过对节点度与节点强度进行相关性分析，曲线拟合结果说明两者存在幂关系：节点的通勤流量越大，产生的通勤联系越广泛，与文献[27]指出的出租汽车客流网络具有马太效应的现象相吻合(见图6)。

因此，若以度和强度评价节点的重要性，只有极少的节点在网络中发挥着主导作用。换言之，在通勤流量网络中，少数职住节点不仅承载大部分的通勤流量，还形成比较广泛的联系。将节点根据地理坐标映射到地图上，结果如图7所示，节点颜色代表节点的中心性强弱。由中心节点的空间分布情况可知，职住分布的空间分异性导致中心城区同时具有较高的居住密度和就业岗位密度，节点产生的通勤流量也较大，因此中心节点大量聚集在这一区域。中心节点同时具有较强的辐射力与吸引力，在通勤高峰时段容易给中心区域造成较大的交通压力，不利于交通组织。

3.2 社区结构

通过社区发现算法对社区结构进行识别，将网络划分为内部连接稠密、外部连接稀疏的12个通勤联系区域。根据节点的地理坐标将社区划分结果映射到地图上(见图8)。除了社区11和12的规模较小，以及部分社区内混杂了少数相对孤立的节点，社区结构从整体上较为清晰，社区形状大小与重

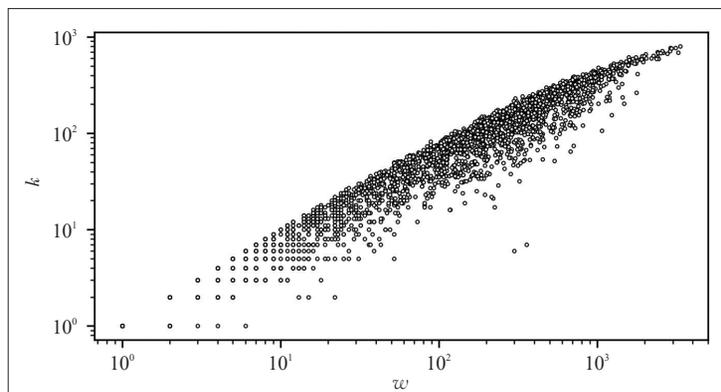
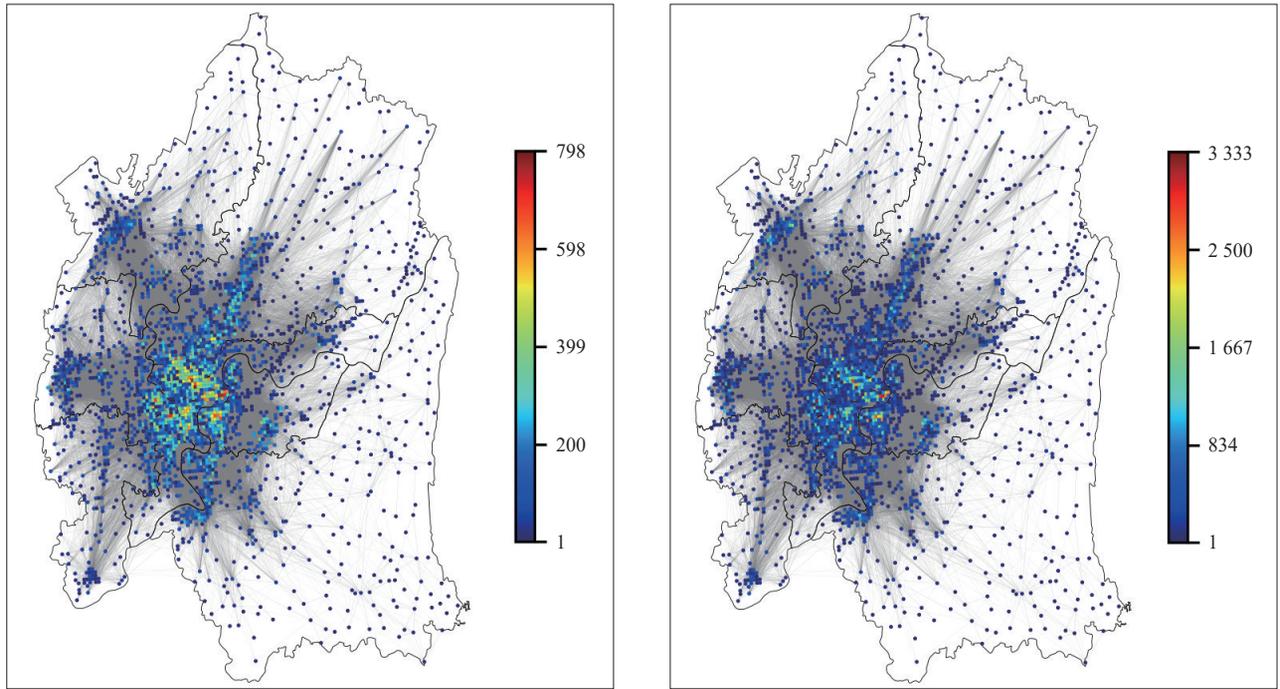


图6 节点度与节点强度的关系

Fig.6 Relationship between node degree and node strength

庆各市辖区的边界以及地理阻隔形成的自然界线具有较好的吻合度。由于重庆市的地貌以山地、丘陵为主，地理阻隔作为重庆市多中心组团式城市布局中的隔离系统，在主城区内各组团之间形成天然的界限。通过将社区划分结果与都市区城镇结构(见图9)对比可知，地理阻隔的确是阻隔组团之间就业流动的一个主要因素，中梁山、铜鼓岭山、明月山、长江、嘉陵江分割了组团之间的通勤联系。地理阻隔的存在使实际的通勤空间与组团布局具有相似性，但是各组团自给自足的前提是组团内部形成多元混合功能和均衡的职住比例。例如，铜鼓岭山与明月山之间的东部片区虽然集聚了一定规模的人口，但是以工业为主的各类产业仍处于发展阶段，并且明月山以东的郊区只能提供较少的就业岗位，反而南坪组团和李家沱-鱼洞组团表



a 节点度

b 节点强度

图7 中心节点空间分布

Fig.7 Spatial distribution of central nodes

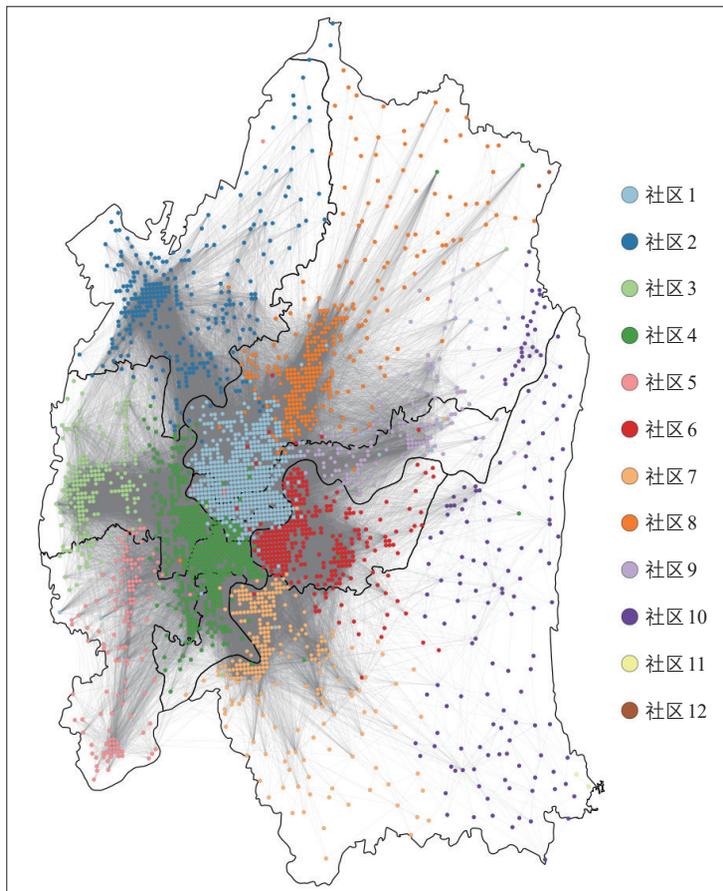


图8 社区发现结果

Fig.8 Findings of community detection

间的通勤流动。

根据社区发现结果，将节点划分至12个职住社区，统计各个职住社区内部和社区之间的通勤流量比例，结果如图10所示(社区11和12被视为异常值剔除)。每个职住社区的内部通勤比例均大于50%，说明职住关系在社区内部达到相对平衡的状态。其中，社区6的内部通勤比例最低，31%的就业人员的就业地分布在由渝中组团和观音桥-新牌坊组团组成的社区1。同样地，在其余几个内部通勤比例较低的社区中，外部通勤的主要流入地均集中在社区1，其次是社区4(沙坪坝、大杨石和大渡口组团)。这进一步证明就业岗位高度聚集在中心区域，但是就业人员的居住空间较为分散。内部通勤比例最高的是社区5(西彭组团)和社区10(郊区)，说明由于居住地与城市中心距离较远，交通可达性较差，因此就业中心的吸引力较小，就业人员更倾向于选择距离居住地比较近的就业岗位。

4 结论

“四山纵贯、两江环绕”的地形特点使重庆市主城区的城市空间形态保持着山城特色，以形成“一城五片、多中心组团式”的都市空间结构作为城市发展的主要策略。本

现了更强的就业吸引力，因此铜鼓岭山并没有影响东侧的鱼嘴、茶园等地与西侧区域之

文以手机信令数据为基础资料,对主城区的职住空间关系和通勤特征进行分析,得到主要研究结论如下。

1) 主城区内就业人员的居住地和就业地集中在中心城区,尤其在一环以内呈现较强的空间集聚现象,说明处于发展阶段的都市副中心和外围组团中心尚未形成体系。

2) 通勤出行以短距离为主,就业吸引力随距离衰减;与外围组团相比,中心区域的职住混合度较高,因此长距离通勤人数较少,反映了职住比例对职住平衡的影响。

3) 通勤流量网络的节点度和节点强度分布存在明显的不均匀性。节点度和节点强度之间存在相关性,少数节点同时具有频繁的通勤流动和广泛的通勤联系。承受了较大通勤交通压力的中心节点集中在中心区域,需要通过优化职住空间结构加以疏解。

4) 社区发现结果反映了地理阻隔对就业流动的影响,社区结构与组团结构存在相似性。尽管如此,仍然存在较多的跨组团通勤出行,部分相邻组团之间的职住联系较为紧密,并且外部通勤流量的流入地集中在中心区域。上述现象说明多数外围组团还处于发展阶段,没有在组团内部形成混合的、协调的居住和就业功能。建议以公共交通引导组团发展,一方面提高就业可达性,另一方面缓解大量过境交通造成的交通压力。

如何合理地调整组团内部单一的土地利用结构、完善就业与居住功能配置,同时通过公共交通引导组团中心的发展,实现相对均衡的职住关系和高效的通勤出行,仍然是后续规划建设过程中需要重视的问题和进一步研究的方向。此外,本文通过手机信令数据对职住关系与通勤特征进行了初步研究,但是仍然存在许多局限性。一方面,数据来源单一且精度不高,缺少诸如个人社会经济属性等数据,无法从微观角度对通勤流动的形成机制和影响因素进行量化分析;另一方面,分析方法和统计指标并不能完全反映通勤特征和网络特征,有待完善。

参考文献:

References:

[1] 修春亮, 孙平军, 王绮. 沈阳市居住就业结构的地理空间和流空间分析[J]. 地理学报, 2013, 68(8): 1110-1118.
Xiu Chunliang, Sun Pingjun, Wang Qi. Residence-Employment Structure Analysis on

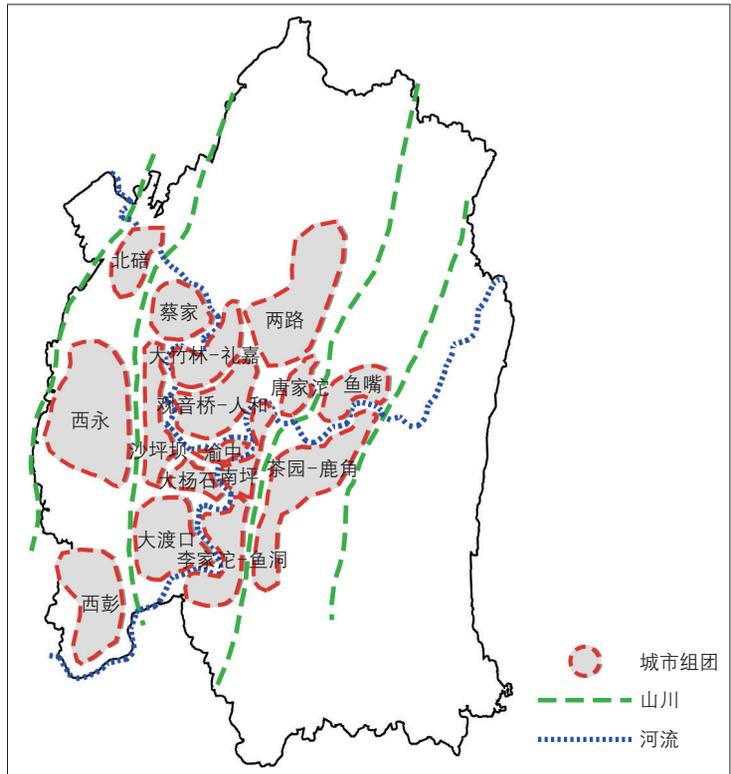


图9 都市区城镇结构示意图

Fig.9 Urban structure of the metropolitan area

资料来源: 根据《重庆市城市总体规划(2007—2020年)》绘制。

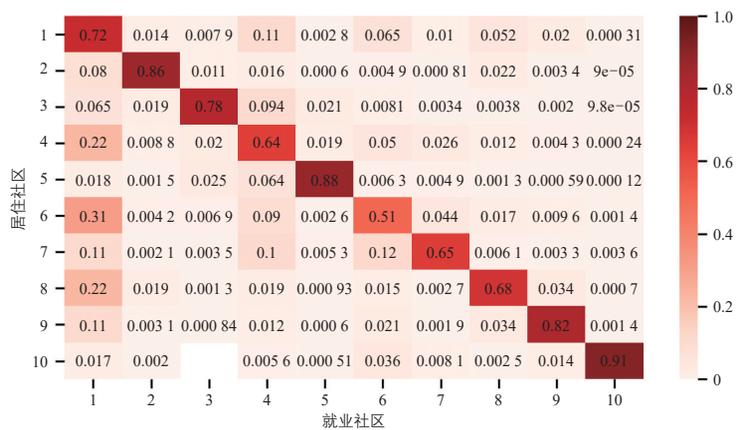


图10 通勤流量分布

Fig.10 Distribution of commuting traffic flow

Spaces of Geography and Flows in Shenyang City[J]. Acta Geographica Sinica, 2013, 68(8): 1110-1118.
[2] 刘望保, 闫小培, 陈忠暖. 西方国家关于城市通勤的研究回顾与展望[J]. 经济地理, 2009, 29(3): 402-408+430.
Liu Wangbao, Yan Xiaopei, Chen Zhongnuan. Review and Prospect of Research on Urban Commuting in West[J]. Economic Geography, 2009, 29(3): 402-408+430.
[3] 吴子啸, 付凌峰, 赵一新. 多源数据解析城市交通特征与规律[J]. 城市交通, 2017, 15

- (4): 56-62+90.
Wu Zixiao, Fu Lingfeng, ZhaoYixin. Analyzing Urban Transportation Characteristics with Multi-Dimensional Data Sources[J]. Urban Transport of China, 2017, 15(4): 56-62+90.
- [4] 丁亮, 钮心毅, 宋小冬. 基于移动定位大数据的城市空间研究进展[J]. 国际城市规划, 2015, 30(4): 53-58.
Ding Liang, Niu Xinyi, Song Xiaodong. Urban Spatial Studies with Big Data of Mobile Location: A Progress Review[J]. Urban Planning International, 2015, 30(4): 53-58.
- [5] 吴子啸. 基于手机数据的出行链推演算法[J]. 城市交通, 2019, 17(3): 11-18+83.
Wu Zixiao. Travel Chain Estimation Based on Cel Phone Data [J]. Urban Transport of China, 2019, 17(3): 11-18+83.
- [6] 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.
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.
- [7] 钮心毅, 丁亮, 宋小冬. 基于手机数据识别上海中心城的城市空间结构[J]. 城市规划学刊, 2014(6): 61-67.
Niu Xinyi, Ding Liang, Song Xiaodong. Understanding Urban Spatial Structure of Shanghai Central City Based on Mobile Phone Data [J]. Urban Planning Forum, 2014(6): 61-67.
- [8] 王德, 王灿, 谢栋灿, 等. 基于手机信令数据的上海市不同等级商业中心商圈的比较: 以南京东路、五角场、鞍山路为例[J]. 城市规划学刊, 2015(3): 50-60.
Wang De, Wang Can, Xie Dongcan, et al. Comparison of Retail Trade Areas of Retail Centers with Different Hierarchical Levels: A Case Study of East Nanjing Road, Wujiaochang, Anshan Road in Shanghai[J]. Urban Planning Forum, 2015(3): 50-60.
- [9] 刘耀林, 方飞国, 王一恒. 基于手机数据的城市内部就业人口流动特征及形成机制分析: 以武汉市为例[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2018, 43(12): 2212-2224.
Liu Yaolin, Fang Feiguo, Wang Yiheng. Characteristics and Formation Mechanism of Intra-Urban Employment Flows Based on Mobile Phone Data: Taking Wuhan City as an Example[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2018, 43(12): 2212-2224.
- [10] 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+126.
Niu Xinyi, Ding Liang, Song Xiaodong. Analyzing Suburban New Town Development in Shanghai from the Perspective of Job-Housing Spatial Relationship[J]. City Planning Review, 2017, 41(8): 47-53+126.
- [11] 田金玲, 王德, 谢栋灿, 等. 上海市典型就业区的通勤特征分析与模式总结: 张江、金桥和陆家嘴的案例比较[J]. 地理研究, 2017, 36(1): 134-148.
Tian Jinling, Wang De, Xie Dongcan, et al. Identifying the Commuting Features and Patterns of Typical Employment Areas in Shanghai Using Cellphone Signaling Data: A Case Study in Zhangjiang, Jinqiao and Lujiazui[J]. Geographical Research, 2017, 36(1): 134-148.
- [12] 焦龙, 刘岳峰, 司若辰. 距离约束在出租车客流网络结构中的作用研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2014, 50(5): 880-886.
Jiao Long, Liu Yuefeng, Si Ruochen. Role of Distance Constraint in the Structure of Taxi Passenger Flow Network[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2014, 50(5): 880-886.
- [13] 李峰清, 赵民. 关于多中心大城市住房发展的空间绩效: 对重庆市的研究与延伸讨论[J]. 城市规划学刊, 2011(3): 8-19.
Li Fengqing, Zhao Min. A Discussion on Housing Development in Multi-Center Cities: Phenomenon & Planning Implications of Chongqing[J]. Urban Planning Forum, 2011(3): 8-19.
- [14] 丁亮, 钮心毅, 宋小冬. 上海中心城就业中心体系测度: 基于手机信令数据的研究[J]. 地理学报, 2016, 71(3): 484-499.
Ding Liang, Niu Xinyi, Song Xiaodong. Measuring the Employment Center System in Shanghai Central City: A Study Using Mobile Phone Signaling Data[J]. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(3): 484-499.

(下转第119页)