

城市重点功能区出行及职住平衡特征研究* ——以北京市为例

Study on the Characteristics of Travel and Job-housing Balance in Urban Key Functional Areas: A Case Study of Beijing

陈艳艳 张野 王子帆 钱汉强 宋程程 CHEN Yanyan, ZHANG Ye, WANG Zifan, QIAN Hanqiang, SONG Chengcheng

摘要 针对大城市职住分离日益严重的问题,以北京市为例,基于大数据分析城市重点功能区的出行和职住平衡特征。首先,利用手机信令数据提取用户出行起讫点(OD),将获取的出行信息集计到各交通小区,从时间、距离和时耗方面分析各功能区的出行特征,并通过职住地识别算法获取用户居住/工作地,引入居住/工作独立性指数来衡量职住分离程度,结果显示各功能区的职住分离度均大于50%。其次,结合兴趣点(POI)数据对城市功能区基础配套设施的密度与出行特征进行横向对比,数据显示回龙观地区的交通配套设施较少,通勤出行距离和时间均最大。最后,针对以上问题提出具体改善建议,为调整城市空间结构、优化设施配置以更好满足通勤出行需求及减少城市碳排放量提供参考。

Abstract The issue of job-housing separation has become increasingly critical in large cities. This study takes Beijing as a case study and employs big data analysis to investigate the characteristics of travel patterns and job-housing balance in key urban functional areas. Firstly, mobile signaling data is utilized to extract user origin-destination (OD) information, allowing for the analysis of travel characteristics such as time, distance, and time consumption in each functional area. Subsequently, a house/job location identification algorithm is applied to determine users' residential and workplace locations, and the independence index is introduced to measure the degree of job/housing separation. The findings reveal that job-housing separation exceeds 50% in each functional area. By comparing the density of urban infrastructure supporting facilities and the travel characteristics of functional areas using Point of Interest (POI) data, we identify the Huilongguan area as having fewer transportation-supporting facilities, leading to longer commuting distances and time consumption. Finally, specific suggestions are provided to improve the urban spatial structure and facility configuration, in order to better cater to people's commuting needs. This study offers valuable insights for urban planners and policymakers to address the job-housing balance issue in key functional areas and enhance urban mobility.

关键词 城市功能区;职住平衡;出行特征;手机信令

Key words urban functional areas; job-housing balance; travel characteristics; mobile signaling data

文章编号 1673-8985 (2023) 06-0025-08 中图分类号 TU984 文献标志码 A

DOI 10.11982/j. supr. 20230603

作者简介

陈艳艳

北京工业大学

北京市交通工程重点实验室 教授,博士

张野

北京工业大学

北京市交通工程重点实验室 博士研究生

王子帆

北京工业大学

北京市交通工程重点实验室 硕士

钱汉强

北京工业大学

北京市交通工程重点实验室 博士研究生

宋程程 (通信作者)

交通运输部水运科学研究院

助理研究员,博士, songchengcheng@wti.ac.cn

随着经济不断发展,城市常住人口逐年增长。截至2019年底,北京市常住居民数达到2 154万人^[1],城市因此不断向外扩张,从而加剧了城市居民的职住分离情况。长时间的通勤不仅降低居民生活的舒适度,更不利于城市的交通状况。早晚通勤高峰的交通拥堵,既降

*基金项目:国家重点研发计划课题“基于移动互联网和广域大数据的城市群客运出行辨识枢纽群布局技术”(编号2018YFB1601302)资助。

低了出行效率,也导致交通碳排放量增加,加剧了城市环境污染。因此,挖掘城市内居民的出行规律、分析城市的职住平衡问题并合理调整城市职住地的空间布局逐渐成为学者研究的热点问题。职住平衡有助于提高城市发展的可持续性,减少能源消耗和碳排放,提升居民的生活质量,减少交通事故和通勤压力。

当前各大城市逐步转向精细化城市功能分区发展,城市通常存在典型的商业、工业、居住和混合功能区^[2]。这些功能区聚集了城市中大部分人口,维持城市运转。将研究聚焦在功能区有助于提供更精确的分析,了解各区域的职住平衡情况和出行模式,从而帮助规划和管理者更好地掌握每个区域的需求,以制定具有针对性的政策和规划,更好地满足各个区域的职住与出行需求,解决其职住平衡问题。

国内外许多学者对城市居民出行特征和职住平衡开展大量研究,且所利用的数据源也越来越丰富。传统的数据源通常来自居民出行调查问卷。针对城市职住平衡问题,Cervero^{[3][492]}针对旧金山地区展开研究,首先提出职住平衡的城市发展模式能减少交通出行。对于国内城市的职住平衡研究,Zhao等^[5]利用问卷调查数据分析了北京市在转型时期的职住平衡对城市通勤模式的影响,结果表明在控制其他因素的前提下,职住平衡与人们的通勤时间有着显著的统计相关性。晋泽倩等^[6]以出行问卷调查所获得的位置数据为基础,识别居民的出行停留点,从而挖掘北京市经济技术开发区企事业单位员工通勤出行的特征及规律。

随着信息技术的发展以及位置服务数据的多样化,越来越多的研究开始尝试利用多源数据分析城市的职住平衡与通勤出行之间的关系。张小佳等^[7]提出最小覆盖圆时空聚类算法用于识别GPS轨迹的停驻点,为研究职住与出行模式奠定了基础。李淑庆等^[8]基于公交IC卡与GPS数据,从公交乘客的视角出发,提取并分析重庆市居民的通勤特征参数。张天然等^[9]通过居民出行调查、人口普查、百度大数据等多源数据,对上海市新城等居民工作就业

地分布及通勤特征进行研究。Long等^{[10][20]}利用公交IC卡数据识别北京的职住分布和通勤模式,并以北京出行调查数据对研究结果进行验证。Li等^[11]利用公交刷卡和互联网定位数据分析城市地铁站点周边的职住与通勤出行关系;赵桐等^[12]结合微博大数据与POI数据识别流动人口的职住分布,并利用Getis-Ord Gi*的空间分析手段挖掘其空间聚集模式。

随着移动通信技术的进步以及智能手机的普及,手机信令数据以其样本量大、覆盖范围广、成本低、时效性强、连续性好等优点^[13-15],成为热门的研究数据来源,出现将手机信令数据与其他多源数据相结合分析的方法。邹伟等^[16]基于手机信令数据对张江科学城的职住进行识别并探讨其问题因素与应对策略。程小云等^[17]基于手机信令数据、轨道交通刷卡数据、轨道线网等多源数据,以空间交互视角开展西安市中心城区职住分布与轨道交通网络的影响关系及耦合效应分析。Wang等^[18]以手机信令数据识别职住人口并结合人口普查与统计数据,提出基于重力模型的通勤连接强度指数,探究区域间的实际通勤关系。周新刚等^[19]基于手机信令数据,针对职住关系测度及职住平衡能否缓解通勤交通压力,以深圳、上海两个城市为例,研究得出尺度效应对上述两个问题均会产生影响;甘田等^[20]利用手机信令数据提取重庆市的职住信息,以各个交通小区和小区之间的通勤流量构建网络,分析城市职住空间分布和通勤出行特征。杨郎等^[21]利用手机信令数据,分别从职住独立性、职住密度、通勤比例和距离4个方面研究广州市的职住空间特征。

综上所述,当前关于职住平衡与出行模式的研究主要以城市整体或公共交通枢纽为单位展开,但是以当前各城市逐步形成的功能分区为单位的研究还较为欠缺,且对于北京这样的千万级人口城市,职住空间的形成往往受到劳动力市场、房地产市场及政策引导等多种因素影响^[22],难以实现整体的职住平衡。因此本文在分析北京市整体职住分布的基础上,选取北京市重点功能区,基于手机信令数据采用

出行和居民职住地识别算法提取功能区内居民和工作者的出行职住信息,从出行OD、距离、时间和时耗的角度分析功能区的通勤出行特征,采用职住独立性来衡量功能区的职住平衡,并辅以城市POI数据来对比出行与职住特征和城市配套设施分布之间的关系。为调整城市空间结构和设施配置以实现区域职住平衡、更好地满足通勤出行需求提供参考。

1 研究数据

本文将以手机信令数据为基础,并结合POI数据进行后续通勤出行及职住平衡特征研究。

1.1 手机信令数据

本文所使用数据为北京市域范围内中国移动通信集团有限公司的手机信令数据,数据采集时间为2019年11月21日—2019年12月21日,总数据记录数约10亿条,覆盖约2 700万名手机用户,其中北京市用户约1 540万人,占北京市常住人口的71.5%。数据包含的主要字段内容和含义如表1所示。

通信运营商采集此种手机数据时采用的是CELL-ID定位法,即数据中的经纬度是用户使用手机进行通信业务或者连接互联网操作时所连基站的经纬度。以基站的位置代替手机用户的位置会存在一定的误差,当城市内部基站布设密度较高时,误差可减少至100—200 m,对城市区县级别的分析研究造成的影响较小。北京市各区内的基站数量、密度和空间核密度如图1、图2所示。可以看出,中心城6区的基站密度较高,其中西城区基站密度最

表1 手机信令数据主要字段
Tab.1 The main fields of mobile signaling data

序号	字段名称	描述
1	IMSI	用户编码
2	TIMESTAMP	时间戳
3	LAC	位置区编码
4	LONGITUDE	基站经度
5	LATITUDE	基站纬度
6	EVENTID	事件类型
7	NAME	基站名称(提供建筑物等信息)

资料来源:笔者根据采集数据整理。

大,达到71个/km²。郊区因面积大且人口密度较低,所以基站密度低,但对分析跨区出行的影响较小。

1.2 POI数据

POI数据包括购物场所、办公场所等地理实体的名称、类别和空间位置信息,具有定位精度高、信息量大、数据来源与覆盖面广等优势。以POI数据为基础,通过空间数据分析对城市重点功能区布局进行研究,对研究城市各区域间出行及职住平衡具有重大意义。本文采用北京市2019年的POI数据对城市功能区的配套设施展开分析。数据包括餐饮、住宅、生活服务、交通服务在内的13类POI数据,总计93.2万余条,各类数据数量及占比如表2所示。

2 研究方法

在对手机信令数据进行预处理基础上,提出居民出行OD以及职住识别算法,并基于识别结果,提出职住平衡度计算模型。

2.1 数据预处理

由于无线信号在强度、传输等方面存在不稳定性,通信系统中产生的手机信令数据存在无效数据、重复数据、乒乓数据等噪声数据。具体描述如下:

(1) 无效数据:数据中某一个或几个字段为空。这类数据无法准确记录研究所需的信息(如时空信息或用户信息)。

(2) 重复数据:数据库中各个字段均相同的完全重复数据。除此之外,某些信令事件会在短时间(数秒)内产生多条除Timestamp外其他字段均相同的数据。

(3) 乒乓数据:由乒乓切换产生的数据。切换是指手机在通信过程中为了保证通信的稳定性与连续性而将链路从信号较弱的基站转移至信号较强的基站的过程,乒乓切换是指手机在短时间内频繁在邻近的基站间来回切换的现象。

(4) 漂移数据:GSM通信系统中存在信

号漂移现象,即手机的通信链路会从邻近的基站切换至位置较远的基站,并在短时间后重新切换至邻近的基站。由这种信号漂移现象产生的数据即为漂移数据。

上述噪声数据不仅会影响研究结果的精度与准确性,而且会增加数据处理的工作量与复杂度,因此需要通过预处理的方法过滤噪声数据。对重复数据通过LAC与TIMESTAMP字段进行筛选,保留其中一条数据;对于乒乓数据与漂移数据,则需根据数据的时间与位置信息,对时间阈值 Δt 与距离阈值 Δd 进行判别,对不符合相应判别准则的数据进行剔除。

2.2 OD提取算法

居民的出行由移动过程和两端的停留点组成^{[10]26-27},利用手机数据的定位点在二维平面上抽象表示一次完整的出行过程(见图3)。出行OD算法的关键在于计算居民某一段时间出行的所有起讫点,也就是出行停留点。移动通信数据显示,人们会在某些地点停留较长时间,如工作单位、家、购物商场、枢纽、学校等,这些点成为停留点。通过确定手机用户的出行停留点,并将停留点匹配至具体的交通小区,便可得到用户的出行OD和出行特征。

本文采用“时间—空间”双层聚类算法识别用户出行停留点。该算法分为两个阶段:第一阶段采用空间聚类方法,使用DBSCAN算法;第二阶段在第一阶段结果的基础上,进

表2 POI数据类型分布

Tab.2 The distribution of POI

POI类别	数量/条	占比/%
餐饮服务类	104 392	11.2
风景名胜类	7 669	0.8
公共设施类	19 435	2.1
公司企业类	134 487	14.4
购物场所类	206 535	22.1
交通设施类	72 247	7.7
金融保险类	17 526	1.9
科教文化类	54 055	5.8
商务住宅类	40 864	4.4
生活服务类	140 879	15.1
体育休闲类	28 965	3.1
医疗保健类	25 740	2.8
政务机构及社会团体	53 579	5.7
住宿服务类	26 322	2.8

资料来源:笔者根据采集数据整理。

行时间层聚类,最终精准识别出用户停留点,进而得到用户的出行OD。具体步骤如下(见图4):(1)提取特定区域相关用户所有轨迹数据;(2)遍历各用户的所有轨迹数据并作为数据输入;(3)确定DBSCAN算法参数,停留点最小点数MinP,停留点判别最小距离MinR;(4)DBSCAN模型计算输出各用户的

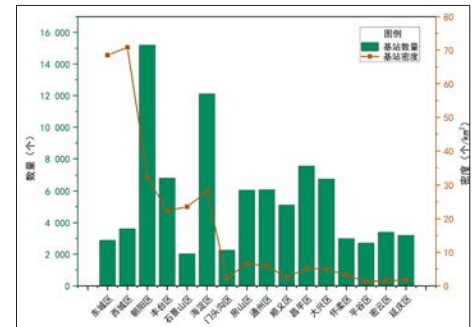


图1 北京市各行政区基站数量和密度
Fig.1 The number and density of base stations in each administrative region of Beijing

资料来源:笔者自绘。

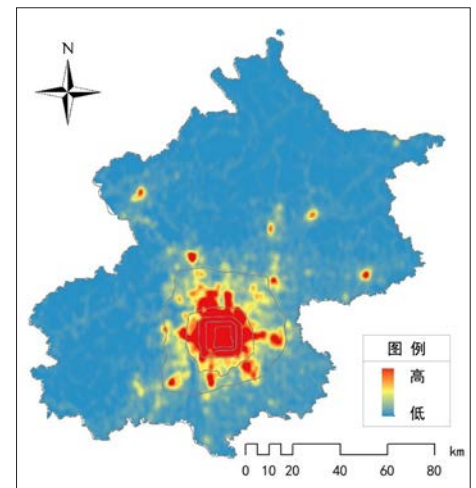


图2 北京市基站空间核密度分析图
Fig.2 The spatial kernel density analysis of base station in Beijing

资料来源:笔者自绘。

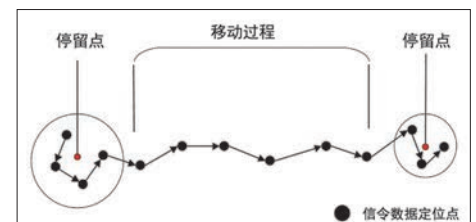


图3 出行过程解读
Fig.3 The interpretation of travel process

资料来源:笔者自绘。

停留点; (5) 将停留点按时间序列进行排序, 并计算各簇的停留时长; (6) 判定各簇的停留时长是否大于时间阈值; (7) 识别出停留点, 输出停留点集合, 并连接出行OD。

在本算法中, 需要对DBSCAN算法中的最小点数MinP和最小距离MinR, 以及时间聚类中时间阈值进行调参并校验。参照北京市综合交通调查中的出行特征^[23], 确定本文中MinP为2, MinR为500 m, 时间阈值为30 min。

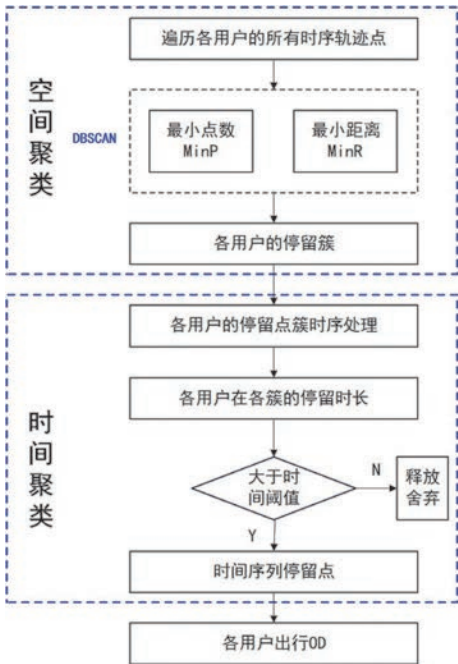


图4 时空聚类流程图
Fig.4 The flow chart of spatio-temporal clustering
资料来源: 笔者自绘。

2.3 职住识别算法

本文所讨论的工作范畴为有较固定的地点且工作时间为白天的工作, 因当前这类工作占主要部分, 且这类工作者每天的上下班构成城市中大部分的通勤出行。在工作日白天, 工作者去往工作地点, 且在工作时间内基本停留在一处; 在工作日夜间, 工作者基本居家休息。基于以上特点, 时间阈值法在此类研究中较为常用, 将居民每天白天(夜间)停留时间超过阈值时间且一个月内出现次数大于阈值次数的停留点作为居民的工作(居住)地, 具体识别规则如下:

- (1) 白天时段规定为8:00—20:00, 夜间时段规定为20:00—次日8:00, 各为12 h。
- (2) 在白天时段内, 用户在停留点A停留时间超过 x_1 个小时, 一个月的周期内, 停留点符合此规则的天数超过 y_1 天即识别A点为用户的工作地。
- (3) 在夜间时段内, 用户在停留点B停留时间超过 x_2 个小时, 一个月的周期内, 停留点符合此规则的天数超过 y_2 天即识别B点为用户的居住地。

本文在对不同停留天数及停留时长的累计频率进行分析后, 确定 x_1 , x_2 分别为6.8 h和7.7 h, y_1 , y_2 均为12 d。

2.4 职住平衡度模型

传统研究中大多利用职住比来测度职住

平衡, 即区域内的工作人口与居住人口的比值, 通常比值在0.8—1.2则表明该区域的职住人口较平衡^{[3]494}。但此方法更多的是从数量上来衡量区域的职住平衡, 具有一定局限性。即便某区域的职住人口大致相同, 并不一定表示区内的居住人口在该区域就业, 即可能存在大部分的跨区上班人口, 所以该指标不能实质性地反映职住平衡状况。本文采用自足度指标来衡量区域的职住分布情况。

自足度通常用“独立指数”来测量, 即某区域内居住人口本地就业或就业者中本地居住者的占比, 本文分为居住独立指数和就业独立指数, 如公式(1)所示, 二者比值越高, 则表明该区域的自足性越高。独立指数更适合进行深入的职住关系研究, 尤其是在区域层面, 该方法可以较好地反映某区域的职住一体化水平。

$$\delta_r = \frac{w r_{in}}{w_{all}}, \delta_w = \frac{r w_{in}}{r_{all}} \quad (1)$$

式中: $w r_{in}$ 为就业者中本地居住的人数; $r w_{in}$ 为居住者中本地就业的人数; w_{all} 为该区域的工作人口总数; r_{all} 为该区域的居住人口总数。

3 实例分析

基于手机信令数据分析北京市居住人口和工作人口, 并与北京市统计年报数据常住人口数进行标定扩样得到, 北京市居住人口

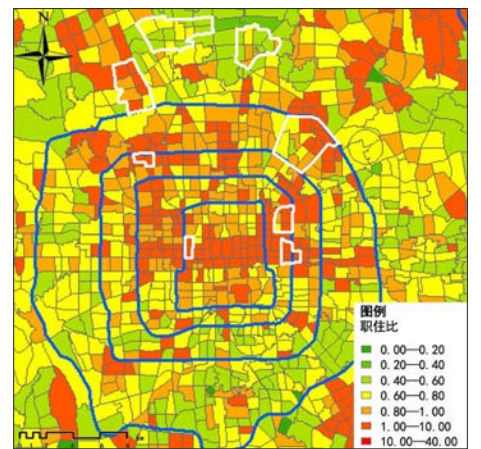
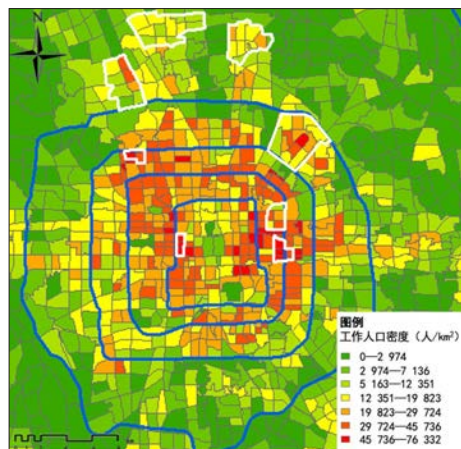
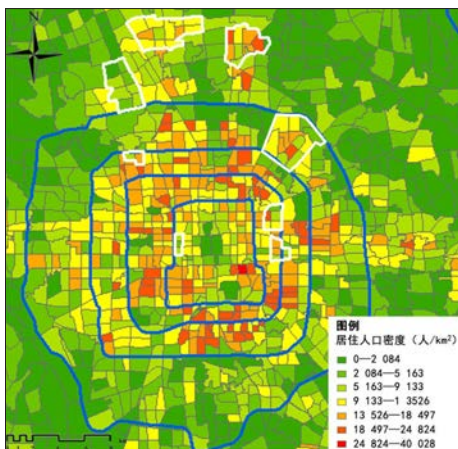


图5 北京市职住空间分布图
Fig.5 The spatial distribution of work and residence in Beijing

资料来源: 笔者自绘。

约2 150万人,工作人口约1 240万人,北京市居住人口密度、工作人口密度及职住比分布如图5所示。

可以发现,部分区域存在职住人口数量两极分化、职住比严重失衡的情况。为保证研究准确性和代表性,笔者结合区域用地规划及相关研究^[24-26],最终选取8个重点区域,分别为回龙观、国贸、中关村、三里屯、天通苑、金融街、上地、望京。表3中显示8个重点区域的职住比,结合区域功能定位与区域独立职住情况,笔者将其分为典型居住区、商务就业区、高新就业区、混合区4种类型。

3.1 功能区基本情况

首先,基于各功能区的实际地理位置,确定其所包含的交通小区及研究范围,各个功能区的区位如图6所示。其次,根据区域类型、位置、职住情况结合后续独立指数分析,从中选取4个区域作为本文的典型案例。在典型居住区中,笔者选取职住比与独立指数更低且人口规模更大的回龙观区域;在商务就业区中,国贸区域相比金融街区域职住比更低,但二者独立指数相当,且国贸区域的人口规模更大,因此选取国贸区域;在高新就业区中,

笔者选取人口规模更大且独立指数更低的中关村区域;在混合区中,望京区域相比三里屯区域更接近职住平衡,为发现研究问题故选取三里屯区域。

各功能区的基本信息如表4所示。可以看出,回龙观区域覆盖面积最大,位于北京市五环外,单位面积居住人口和工作岗位相差较大,为典型的居住区;国贸、中关村和三里屯位于北京市中央城区,其中国贸和中观村区域覆盖面积较小,但拥有较多的工作岗位,为典型的工作区。三里屯区域为北京的娱乐商业区域,因此工作岗位数较居住区相比较多,居住人口较少。

3.2 出行特征

3.2.1 出行OD

通过出行OD识别算法,得到各功能区的出行OD分布(见图7)。对比4个功能区可以看

出,国贸地区出行辐射范围最大,主要在六环以内,并且沿东西方向有着明显的出行通道,正好与北京轨交6号线的走向契合。中关村区域的出行辐射范围最小,主要在周边区域,其中强度较大的出行方向为东北方向的互联网公司科技园区,多为上班族的通勤出行。回龙

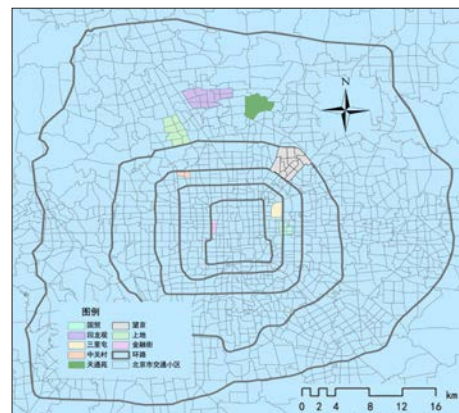


图6 功能区区位
Fig.6 The location of functional areas
资料来源:笔者自绘。

表3 研究区域
Tab.3 Study area

功能区	研究对象	职住比
典型居住区	回龙观	0.46
	天通苑	0.67
商务就业区	国贸	4.13
	金融街	7.21
高新就业区	中关村	2.49
	上地	2.46
混合区	三里屯	1.75
	望京	1.47

资料来源:笔者根据调研信息及数据整理。

表4 功能区基本信息

基本信息	回龙观	国贸	中关村	三里屯
面积/km ²	12.68	2.45	1.39	3.12
居住人口/人	215 329	43 883	28 625	22 021
单位面积居住人口/人	16 982	17 911	20 594	7 058
工作岗位/个	99 118	181 299	71 206	38 502
单位面积工作岗位/个	7 817	74 000	51 227	12 340

资料来源:笔者根据数据整理。

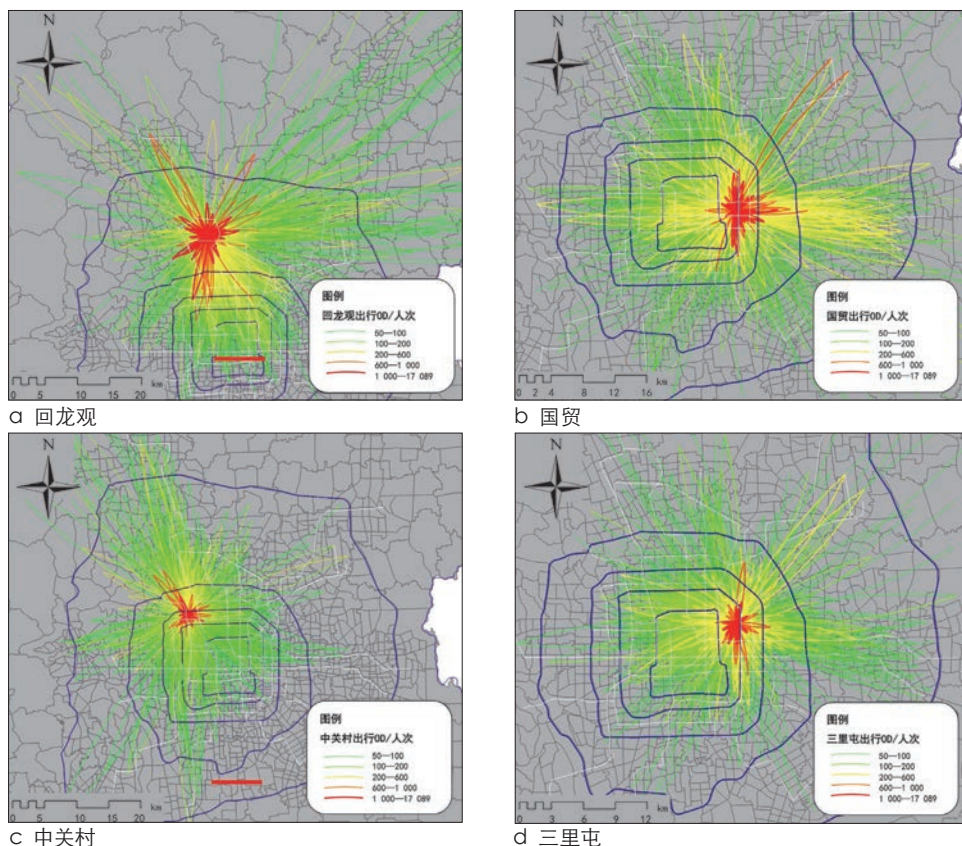


图7 功能区出行OD分布
Fig.7 OD distribution of functional areas

资料来源:笔者自绘。

观地区与海淀区中关村科技园区出行联系强度较高,反映出中关村附近的高新产业就业者部分居住在回龙观居住区。

3.2.2 出行时间

根据识别得到的用户出行信息,得出各功能区通勤出行时间在全天的分布情况(见图8)。可以看出,回龙观区域属于典型的居住区,早上出发集中在6:00—7:00和9:00—10:00,晚上到达集中在18:00—20:00和21:00—22:00;国贸区域属于典型的工作区,早上到达高度集中在9:00—10:00,晚上离开集中在17:00—19:00间;中关村区域属于典型的工作区,早上到达高度集中在9:00—10:00,晚上离开集中在18:00—19:00间;三里屯区域功能较混合,早上到达集中在9:00—10:00,大部分为三里屯区域的就业者,同时,因该区域夜间休闲娱乐出行较多,造成晚间的出发和到达较为分散。

3.2.3 出行时耗

根据识别得到的用户出行信息,得出各个功能区通勤出行时耗的分布情况(见图9)。回龙观区域平均出行时耗为50.46 min;国贸区域平均出行时耗为46.06 min;中关村区域平均出行时耗为46.26 min;三里屯区域平均出行时耗为44.33 min。

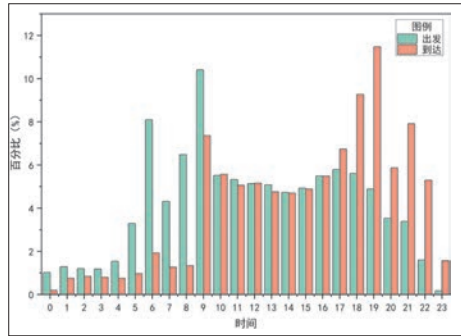
3.2.4 出行距离

根据识别得到的用户出行信息,得出各功能区通勤出行距离的分布情况(见图10)。考虑到根据定位点计算的距离为欧式距离,实际道路距离应大于直线距离,参考《城市道路交通规划设计规范GB50220-95》中棋盘式路网形态的综合非直线数取值,本文取北京市的道路非直线系数为1.3。回龙观区域平均出行距离为12.14 km;国贸区域平均出行距离为11.54 km;中关村区域平均出行距离为11.21 km;三里屯区域平均出行距离为10.04 km。

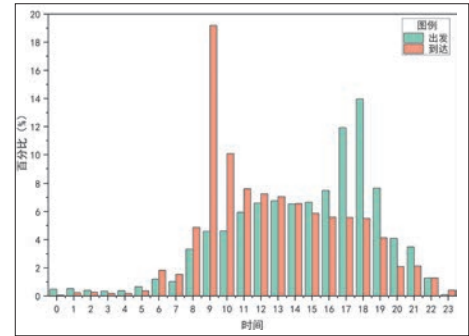
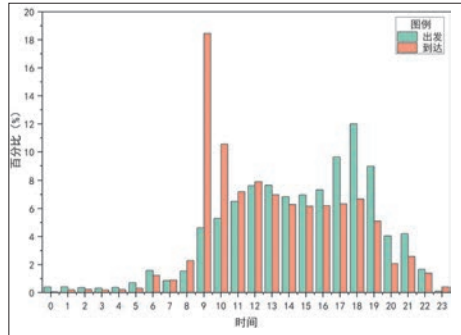
3.3 职住平衡特征

根据职住地识别算法,得到手机用户的居住和工作所在地,集合所有用户信息,计算

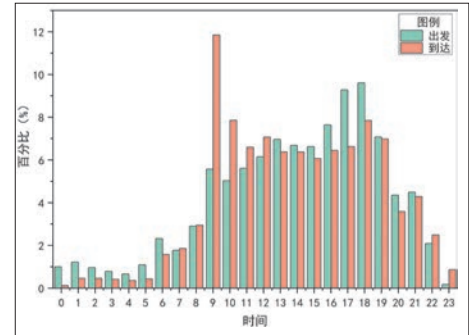
各功能区的工作/居住独立指数(见图11)。国贸地区的工作独立指数最高,而居住独立指数极低,说明该区域的工作人员大部分住在区外,职住平衡度较低,印证了该地区为典型的工作区,区内居住人口大部分为白领或高端商务人士,区内工作占比较高;中关村地区也存在同样的问题,工作人口职住分离问题严重。回龙观地区的居住独立指数较高,为典型的居住区,但仍然存在较为严重的职住分离情况;



a 回龙观



b 国贸



c 中关村

图8 功能区出行时间分布
Fig.8 Travel time distribution of functional areas

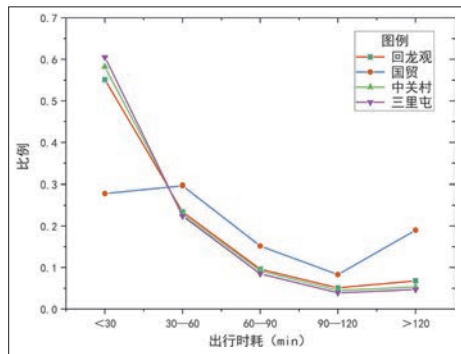


图9 功能区出行时耗分布
Fig.9 Travel time consumption distribution of functional areas

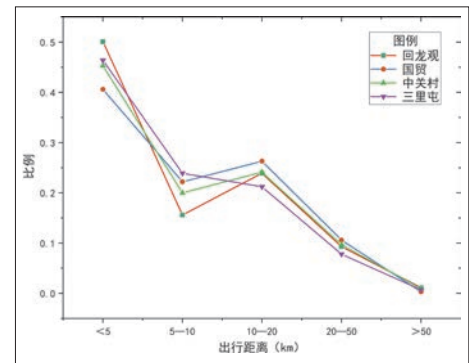


图10 功能区出行距离分布
Fig.10 Travel distance distribution of functional areas

资料来源:笔者自绘。

资料来源:笔者自绘。

资料来源:笔者自绘。

区域	工作独立指数	居住独立指数
回龙观	22.67%	33.34%
国贸	38.80%	5.65%
中关村	28.22%	5.25%
三里屯	34.37%	13.44%

图11 功能区工作/居住独立指数
Fig.11 Residential/work independence index of functional areas

资料来源:笔者自绘。

区域	回龙观	国贸	中关村	三里屯	
					五环和六环之间
交通类	公交站密度	54.96	147.92	112.14	72.90
	公交线路密度	7.64	116.67	62.14	35.16
	地铁站密度	0.24	1.25	0.71	0.65
	地铁线路密度	0.16	1.25	0.71	0.32
	停车场密度	1.10	18.75	27.14	8.06
生活类	餐饮密度	16.85	72.50	65.00	76.77
	超市商超密度	12.91	37.50	86.43	49.03
	学校密度	7.32	3.33	13.57	3.87
	药店密度	3.62	1.67	2.86	1.29
	医疗密度	5.83	5.83	12.86	9.03
通勤	平均通勤距离/km	9.34	8.88	8.62	7.72
	平均通勤时间/min	50.46	46.06	46.26	44.33

图12 功能区通勤出行与配套设施特征
Fig.12 Characteristics of commuting and ancillary facility of functional areas

资料来源:笔者自绘。

生活类设施外,其余各类公共设施密度较低,区域通勤距离和时间相对较长;国贸区域作为北京的商务中心区,交通类设施最为完善,便于就业人群的通勤出行;中关村区域作为高新区域,占地面积虽小,但区域内各类设施密度都相对较高;三里屯区域作为混合区,生活类设施完善,其中餐饮密度最高,区域通勤距离和时间相对较短。

4 结语

本文基于手机信令数据挖掘北京市重点功能区的职住分布及出行特征,并结合POI数据探究重点功能区的配套设施与职住关系的匹配情况,得到以下结论。

(1) 通过对比各重点功能区职住出行特征的指标数据可发现,北京市各功能区职住分离情况较为严重。在空间布局上,核心区 and 中心地区承担了北京市重要的就业职能,以国贸区域为代表的典型工作区的工作人口远大于居住人口,且其工作人口的居住地分散广泛,

大部分远离区域中心,使得居住—就业空间错位现象越发明显;而城市边缘区域则承担了北京市主要的居住功能,以回龙观区域为代表的典型居住区的居住人口远大于工作人口,且其居住人口的工作地远离区域中心,对居住者和就业者的通勤时间影响显著。

(2) 各重点功能区内部工作/居住独立指数不高,理想中功能区内部的职住平衡基本很难达到,应通过政策引导加强不同功能区域间的相互联系,构建区域间通勤走廊,缓解北京市向心通勤带来的交通拥堵,同时优化出行环境,降低碳排放量。

(3) 重点改善区域交通基础设施,提高区域内公共交通覆盖率,提升区域内公共交通的服务能力与服务水平,将有助于提高通勤效率、优化出行结构,从而促进绿色出行。

由于本文尚未充分讨论北京市不同重点功能区之间的相互联系,以及区域配套设施与职住平衡和出行模式之间的关系,这些内容还需要在今后研究中进一步加以探讨。

参考文献 References

[1] 国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2020.
National Bureau of Statistics. 2020 China statistical yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2020.

[2] 肖迪, 张小咏, 胡杨. 基于手机大数据的城市功能区识别方法[J]. 系统仿真学报, 2019, 31(11): 2281-2288.
XIAO Di, ZHANG Xiaoyong, HU Yang. Urban functional area identification method based on mobile big data[J]. Journal of System Simulation, 2019, 31(11): 2281-2288.

[3] CERVERO R. Jobs-housing balance revisited: trends and impacts in the San Francisco Bay Area[J]. Journal of the American Planning Association, 1996, 62(4): 492-511.

[4] CERVERO R, DUNCAN M. Which reduces vehicle travel more: jobs-housing balance or retail-housing mixing?[J]. Journal of the American Planning Association, 2006, 72(4): 475-490.

[5] ZHAO P J, LÜ B, ROO G D. Impact of the jobs-housing balance on urban commuting in Beijing in the transformation era[J]. Journal of Transport Geography, 2011, 19(1): 59-69.

[6] 晋泽倩, 陈艳艳, 李臣. 城市企事业单位出行链提取及出行特征分析[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(6): 2531-2538.
JIN Zeqian, CHEN Yanyan, LI Chen. Travel chain extraction and travel characteristics analysis of urban enterprises and institutions[J]. Science Technology and Engineering, 2022, 22(6): 2531-2538.

[7] 张小佳, 孙然然, 李晓璐, 等. 基于最小覆盖圆时空聚类算法的出行轨迹停驻点识别[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(28): 11782-11788.
ZHANG Xiaojia, SUN Ranran, LI Xiaolu, et al. Travel trajectory stop point recognition based on minimum covered circle temporal-spatial clustering algorithm[J]. Science Technology and Engineering, 2020, 20(28): 11782-11788.

[8] 李淑庆, 刘耀鸿, 邱豪基. 基于IC卡与GPS数据的公交通勤出行特征分析[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2021, 40(10): 171-177.
LI Shuqing, LIU Yaohong, QIU Haoji. Commuting characteristics of public transport based on IC card and GPS data[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science), 2021, 40(10): 171-177.

[9] 张天然, 王波, 訾海波, 等. 上海五个新城职住空间特征对比研究[J]. 上海城市规划, 2021(4): 44-52.
ZHANG Tianran, WANG Bo, ZI Haibo, et al. A comparative study on the spatial characteristics of job-housing in five new towns in Shanghai[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2021(4): 44-52.

[10] LONG Y, THILL J C. Combining smart card data

- and household travel survey to analyze jobs-housing relationships in Beijing[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2015, 53: 19-35.
- [11] LI T F, CHEN Y Y, WANG Z, et al. Analysis of jobs-housing relationship and commuting characteristics around urban rail transit stations[J]. *IEEE Access*, 2019, 7: 175083-175092.
- [12] 赵桐, 李泽峰, 宋柳依, 等. 基于微博大数据的北京市流动人口情绪与职住分布的关系研究[J]. *地球信息科学学报*, 2022, 24 (10): 1898-1910.
ZHAO Tong, LI Zefeng, SONG Liuyi, et al. Research on the relationship between floating population's sentiments and distribution of working and living in Beijing based on microblog data[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2022, 24(10): 1898-1910.
- [13] 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.
- [14] 钮心毅, 丁亮. 利用手机数据分析上海市域的职住空间关系——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.
- [15] 姚海芳, 路紫, 刘劲松. 基于手机信令数据的石家庄机场腹地测算[J]. *科学技术与工程*, 2019, 19 (2): 248-255.
YAO Haifang, LU Zi, LIU Jinsong. Calculation of Shijiazhuang airport hinterland based on mobile phone signaling data[J]. *Science Technology and Engineering*, 2019, 19(2): 248-255.
- [16] 邹伟, 陈鑫, 秦战. 手机信令数据辅助下的张江科学城职住分析及对策[J]. *上海城市规划*, 2019 (1): 78-82.
ZOU Wei, CHEN Xin, QIN Zhan. Analysis and countermeasure of jobs-housing relationship on Zhangjiang Science City under mobile phone data[J]. *Shanghai Urban Planning Review*, 2019(1): 78-82.
- [17] 程小云, 张学宇, 施澄, 等. 职住分布与轨道交通网络的耦合效应分析[J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2022, 54 (9): 35-43.
CHENG Xiaoyun, ZHANG Xueyu, SHI Cheng, et al. Coupling effects analysis of jobs-housing distribution and rail transit network[J]. *Journal of Harbin Institute of Technology*, 2022, 54(9): 35-43.
- [18] WANG J, ZHOU C J, RONG J, et al. Community-detection-based spatial range identification for assessing bilateral jobs-housing balance: the case of Beijing[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2022, 87: 104179.
- [19] 周新刚, 孙晨晨, 钮心毅. 基于手机大数据的职住关系空间尺度问题探讨——以上海市和深圳市为例[J]. *国际城市规划*, 2021, 36 (5): 78-85.
ZHOU Xin'gang, SUN Chenchen, NIU Xinyi. Spatial scale problem of jobs-housing relationship based on cellphone data: case studies of Shanghai and Shenzhen[J]. *Urban Planning International*, 2021, 36(5): 78-85.
- [20] 杨朗, 周丽娜, 张晓明. 基于手机信令数据的广州市职住空间特征及其发展模式探究[J]. *城市观察*, 2019 (3): 87-96.
YANG Lang, ZHOU Li'na, ZHANG Xiaoming. Research and evaluation of jobs-housing space characteristics based on mobile phone signaling data: a case study of Guangzhou[J]. *Urban Insight*, 2019(3): 87-96.
- [21] 甘田, 刘鼎. 基于手机数据的职住空间关系研究——以重庆市主城区为例[J]. *城市交通*, 2020, 18 (5): 36-44.
GAN Tian, LIU Ding. Job-housing spatial distribution based on cell phone data: taking the main urban area of Chongqing as an example[J]. *Urban Transport of China*, 2020, 18(5): 36-44.
- [22] 卢有朋. 基于职住平衡的低碳城市组团空间结构模式与政策引导[C]//2012城市发展与规划大会论文集. 2012: 6.
LU Youpeng. Low-carbon city tour's spatial structure and policy guidance based on the job-house balance[C]//Proceedings of the 2012 Urban Development and Planning Conference. 2012: 6.
- [23] 陈艳艳, 张野, 孙浩冬. 基于手机信令数据的旅游客流特征分析[J]. *北京工业大学学报*, 2022, 48 (8): 842-850.
CHEN Yanyan, ZHANG Ye, SUN Haodong. Analysis of tourist flow characteristics based on mobile phone signaling data[J]. *Journal of Beijing University of Technology*, 2022, 48(8): 842-850.
- [24] 邱红, 王良, 杨明, 等. 基于四次经济普查数据的北京就业空间演变特征研究[J]. *北京规划建设*, 2021 (6): 56-61.
QIU Hong, WANG Liang, YANG Ming, et al. Research on the spatial evolution characteristics of employment in Beijing based on the data of the fourth economic census[J]. *Beijing Planning Review*, 2021(6): 56-61.
- [25] 杨明, 王吉力, 伍毅敏, 等. 边缘城镇崛起下的特大城市职住梯度平衡研究——以北京为例[J]. *城市发展研究*, 2019, 26 (10): 12-20.
YANG Ming, WANG Jili, WU Yimin, et al. Study on the gradient balance of jobs-housing in mega city under the rise of edgencies: take Beijing as an example[J]. *Urban Development Studies*, 2019, 26(10): 12-20.
- [26] 张艳, 李春江, 黄建毅, 等. 基于多源数据融合的北京市职住空间特征研究[J]. *城市发展研究*, 2019, 26 (12): 37-45.
ZHANG Yan, LI Chunjiang, HUANG Jianyi, et al. Spatial characteristics of jobs-housing relationship of Beijing city based on multi-source data integration[J]. *Urban Development Studies*, 2019, 26(12): 37-45.