

基于多源大数据的轨道交通线网与上海城市中心体系匹配度测度研究*

Measuring the Matching Degree between Rail Transit Network and Shanghai Urban Polycentric System Based on Multi-source Big Data

谢昱梓 钮心毅 XIE Yuzi, NIU Xinyi

摘要 基于相关研究,提出一种定量化测度轨道交通(以下简称“轨交”)线网与城市中心体系匹配程度的方法。以功能联系为基础,使用多源大数据量化分析轨交线网与上海城市中心体系匹配程度。从轨交刷卡数据中依据乘客使用轨交出行时空规律,获取轨交通勤出行、轨交游憩出行的功能联系,用于表征轨交功能联系下的就业中心体系、公共活动中心体系。从手机信令数据中获取用户的通勤出行、游憩出行的功能联系,用于表征全方式出行功能联系下的就业中心体系、公共活动中心体系。随后分别使用规模等级一致性、来源范围一致性指标,量化分析轨交线网与就业中心体系、公共活动中心体系的匹配程度。研究结论认为除了轨交线网与中心体系的空间关系之外,就业中心的产业特征、公共活动中心的职能也影响了轨交线网与城市中心体系的匹配程度。

Abstract This study presents a method for quantitatively measuring the degree of matching between rail transit network and urban center system. Based on functional linkages, the degree of matching between rail transit network and Shanghai urban polycentric system is quantitatively analyzed using multi-source big data. Firstly, according to the spatial-temporal regular pattern of rail transit passengers using transit smart card data, the functional linkages of commuting and recreation trips by rail transit are obtained, which is used to indicate the employment center system and the public activity center system in the perspective of rail transit functional linkages. Using cellphone signaling data, the functional linkages of commuting and recreation for full travel mode are obtained, which is used to indicate the employment center system and the public activity center system in the perspective of functional linkages for full travel mode. Then the indicators of size rank consistency and source range consistency are used to quantify the matching degree between the rail network and the employment polycentric system and the public activity polycentric system. It is found that in addition to the spatial relationship between the rail transit network and the center system, the industrial characteristics of employment center and the functions of public activity center also affect the matching degree between the rail transit network and urban central system.

关键词 城市中心体系;轨交线网;功能联系;轨交刷卡数据;手机信令数据

Key words urban center system; rail transit network; functional linkage; transit smart card data; cellphone signaling data

文章编号 1673-8985 (2019) 06-0001-07 中图分类号 TU981 文献标志码 A

DOI 10.11982/j.supr.20190601

作者简介

谢昱梓

同济大学建筑与城市规划学院
硕士研究生

钮心毅 (通信作者)

同济大学建筑与城市规划学院
上海市城市更新及其空间优化技术重点实验室
教授,博士生导师

0 引言

超大型城市在发展过程中逐步形成城市中心体系。轨交线网与城市中心体系的耦合和互动是城市交通与用地一体化发展长期关注的议题。随着上海多中心城市空间结构的不断发展,发展大容量、高速度、低耗能的轨交成为必然选择。上海轨交网络在外环以内已经实现网络化运营。轨交在承载上海城市功能流动中发挥了至关重要的作用。在上海轨交运营里程不断增

长、城市多中心格局不断发展的背景下,协调轨交线网规划和城市中心体系规划具有重要的现实意义。轨交与城市中心体系互动、轨交支撑城市多中心空间结构等议题已有较多研究。比如,从轨交站点、线路出发,通过对站点数量、轨交线路附近服务人口数量等进行测算^[1];或是从城市中心出发,计算中心附近某一范围内的轨交站点数量等指标来衡量轨交与城市中心体系之间的匹配程度^[2]等。

*基金项目:国家自然科学基金项目“多源数据支持下的都市圈空间结构及规划策略研究”(编号51878457)。

近年来,城市空间结构研究中出现了用功能联系表征空间结构的新研究范式。很多学者从功能联系视角研究城市内部空间结构,并取得了一定进展^[3-4],他们使用交通调查数据来表征功能联系,或是通过问卷调查获得功能联系数据^[5-6]。随着手机信令数据等大数据出现,从中提取的功能联系特征也能用于城市空间结构研究。其中,根据手机信令数据的时空特征,从中分离出通勤等功能联系,用于研究城市就业中心体系^{[7]487}、公共活动中心体系^{[8]65, [9]}。此外,随着各个城市轨交系统普遍使用智能公交卡,轨交刷卡数据也能在城市空间结构研究中发挥作用。从轨交刷卡数据中提取出乘客使用轨交出行的流向、流量,也能用于功能联系视角下城市中心体系研究^[10-13]。

为了整体地认识轨交线网与上海城市中心体系的匹配程度,以下将使用两种大数据认识不同类型的功能联系。使用轨交刷卡数据,研究轨交出行功能联系视角下的城市中心体系;同时使用手机信令数据表征全方式出行联系下的城市中心体系;将两者进行比较,量化分析轨交线网与上海城市中心体系匹配程度,进一步探讨两者匹配程度的影响因素。

1 城市中心体系与轨道交通匹配

1.1 全方式出行功能联系和轨交出行功能联系

按照城市中心承担的主要职能,一般可以将城市中心体系分为就业中心体系和公共活动中心体系两大部分。在功能联系视角下,就业中心是由“居住—工作”功能联系定义,公共活动中心是由“居住—游憩”功能联系定义。

手机信令数据的用户轨迹表示了包含所有交通出行方式的全方式出行轨迹,能从信令数据计算出用户“居住—工作”“居住—游憩”功能联系,测度出全方式出行功能联系视角下的中心体系。轨交刷卡数据的用户轨迹仅表示了轨交出行时空轨迹。从轨交刷卡数据能计算出轨交乘客的“居住—工作”“居住—游憩”功能联系,并测度出轨交出行功能联系视角下的中心体系。这也是整个轨交线网承载的功能流动的表现。

因此,可以将全方式出行功能联系视角下的城市中心体系作为固定比较对象。将轨交出行功能联系视角下城市中心体系与其对比,依据两者一致性程度判断轨交网络与城市中心体系的匹配程度。轨交网络与城市中心体系的匹配程度可以表示为轨交出行表征的功能联系与全方式出行表征的功能联系之间的匹配程度。

1.2 就业中心和公共活动中心及其范围界定

本文以上海中心城区内有轨交服务的就业中心、公共活动中心为研究对象。就业中心包括两类。第一类为有轨交服务的城市主、副中心,及地区级公共活动中心,如南京东路市级商业街、徐家汇市级副中心等。这一类属于服务业就业中心。第二类是有轨交服务的产业园区,如漕河泾开发区、彭浦工业区等。这一类属于制造业就业中心,部分已经转型为生产性服务业就业中心。以上两类就业中心合计41个。本文中的公共活动中心包括有轨交服务的城市主、副中心,以及地区级公共活动中心共31个。如就业中心、公共活动中心的规划边界直线距离400 m以内存在轨交站点,则视为有轨交服务。

1.3 规模等级一致性和来源范围一致性指标

采用规模等级一致性、来源范围一致性两个指标测度轨交网络与中心体系的匹配程度。规模等级一致性是全方式出行表征中心规模等级、轨交出行表征中心规模等级的相关性。中心规模等级以在该中心工作或游憩的人数总量、密度等表示,通过计算相关性进行量化判断。相关性越高,说明两个体系的规模等级一致性越高,轨交线网与就业中心匹配度越高。单个中心的残差值可用于量化表示该中心自身的等级匹配度。

来源范围一致性是测度在轨交出行、全方式出行视角下,分别同一个中心联系范围的一致性。计算公式为:

$$\text{来源范围一致性} = \frac{\text{中心核心腹地内的轨交通勤者或游憩者数量}}{\text{该中心所有轨交通勤者或游憩者数量}} \quad (1)$$

其中,中心核心腹地是该中心就业者或游憩者由近及远的前80%的居住地范围,由手机

信令数据测度得到,表达了该中心全方式出行的主要来源范围。来源范围一致性指标测度了轨交对单个中心的支持程度。该指标的数值范围是0—1,值越大表示来源范围一致性越好,该中心的轨交匹配程度越好。

2 数据和数据处理

2.1 轨交刷卡数据

本文使用2016年9月的上海轨交刷卡数据,为持有公共交通卡乘客的轨交全样本数据,不包括单独购票的单程票、一日票、多日票在内,总刷卡次数为2.679亿次,平均每天约893万人次。2016年9月的上海轨交刷卡数据包括了轨交全网14条线路(不含金山铁路支线和磁浮线),共348个站点。经过识别用户完整合理出行记录,清洗虚拟换乘数据等预处理过程之后,最终得到2016年9月共有129 231 515次轨交出行记录,平均每天约430万次。

2.2 手机信令数据

本文使用2015年11月连续10个工作日、6个休息日的上海联通手机信令数据。选用该数据集是因为其时间与前述轨交刷卡数据的时间较为接近,反映人群活动规律可以相互比较。采用丁亮等^{[7]486, [8]64}使用的方法识别手机用户居住地、工作地、游憩地。研究共识别出上海中心城区内80.5万个既有居住地、工作地,并且居住地和work地位置不同的手机用户;还识别出休息日588.1万人次的常住用户游憩出行。

2.3 轨交通勤识别

根据通勤的一般规律,参考相关研究^[13-14],根据上班时间、下班时间进站站点在1个月中的重复率,识别轨交乘客的居住地站点和工作地站点。

工作日6:00—9:00,某乘客首次进站站点在1个月中重复大于等于12次,将其识别为该乘客的居住地站点。

$$\text{IF } F(\text{Mode}\{M_1, M_2 \dots M_{21}\}) \geq 12 \\ \text{then } M_{\text{home}} = \text{Mode}\{M_1, M_2 \dots M_{21}\} \quad (2)$$

其中, F 为频数, $Mode$ 为众数, $Mn(n \in \{1, 2, \dots, 21\})$ 为该乘客在21个工作日6:00—9:00点首次进站站点。

将某乘客在工作日16:00—19:00进站次数重复最多且超过12次的站点识别为其工作地站点。

$$\begin{aligned} & \text{IF } F(\text{Mode}\{N_1, N_2 \dots N_n\}) \geq 12 \\ & \text{then } N_{job} = \text{Mode}\{N_1, N_2, N_3 \dots N_{21}\} \end{aligned} \quad (3)$$

其中, F 为频数, $Mode$ 为众数, $Nn(n \in \{1, 2, \dots, 21\})$ 为该乘客在21个工作日的16:00—19:00进站站点。

在识别乘客的居住地站点时,若乘客在1个月内工作日6:00—9:00的首次进站站点不是唯一的,且进站频数前2位的站点互为同一线路上的相邻站点,则将进站频数最高的那个站点设为其可能居住地站点,其进站频数等于该2个站点的进站频数之和。再将更新之后的进站频数与设定的阈值进行比较,来判定是否能识别出该乘客的居住地站点。工作地识别同样使用上述规则。

最终识别出1 090 909张轨交卡对应的居住地站点, 1 090 401张轨交卡对应的工作地站点, 1 081 740张轨交卡同时对应的居住地站点和工作地站点,由此建立起了轨交出行表征的“居住—工作”功能联系。按轨交站点计算,共58 863对通勤联系,其中通勤流量大于600人/d的通勤联系如图1所示。总体而言,轨交通勤的主流是向心流。强轨交通勤联系主要有两种:一类是外环外站点(佘山、泗泾、徐泾东、唐镇等站)前往中环附近就业中心的通勤联系;另一类是各个区域前往内环内就业中心的通勤联系。漕河泾是具有最强轨交通勤联系的就业中心。每天通勤人数大于1 000人的通勤联系有12条,其中8条都是前往漕河泾。

2.4 轨交游憩活动识别

游憩活动是指在休息日居住地、工作地以外“第三场所”的“非职、非住”行为,包含狭义的购物等游憩行为在内,也可能包含符合这一规则的其他行为。对于识别出居住地、工作地站点的

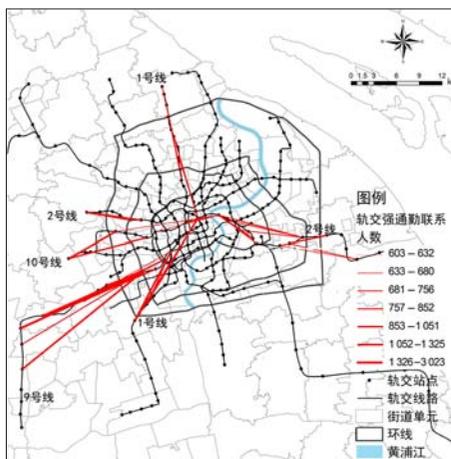


图1 轨交的强通勤联系(单位:人)
资料来源:笔者自绘。

轨交乘客,在休息日9:00—21:00,在非居住地、非工作地的出站站点识别为游憩地站点。

$$\begin{aligned} P_{play} &= \{P_1, P_2 \dots P_n\}, P_n \neq M_{home} \\ &\text{and } P_n \neq N_{job} \end{aligned} \quad (4)$$

其中 M_{home} 和 N_{job} 是轨交通勤者的居住地站点和工作地站点, P_n 为常规游憩时间的出站站点。

最终从1 081 740个轨交通勤者中识别出了677 529人在休息日发生过游憩行为,共发生了2 026 844人次轨交游憩出行,平均每个休息日发生22.5万次轨交游憩出行。按轨交站点计算,共72 385对游憩联系,将流量大于1 000人次的游憩联系定义为轨交强游憩联系(见图2)。其中,游憩人次大于2 000人次的游憩联系有7条,分别是佘山—泗泾、九亭—七宝、泗泾—七宝、广兰路—金科路、佘山—七宝、芳华路—龙阳路、淞虹路—中山公园。总体上看,内环内不存在强轨交游憩联系,而部分中环之外地区的轨交线网密度虽然相对较低,但是人们更加依赖轨交进行游憩活动。

3 就业中心体系与轨交匹配度测算

3.1 就业中心规模等级一致性

将手机信令数据识别出的就业者按照基站空间位置汇总到对应就业中心,得到每个中心的就业者数量,用就业密度表示全方式通勤视角下就业中心等级。将轨交刷卡数据识别出的

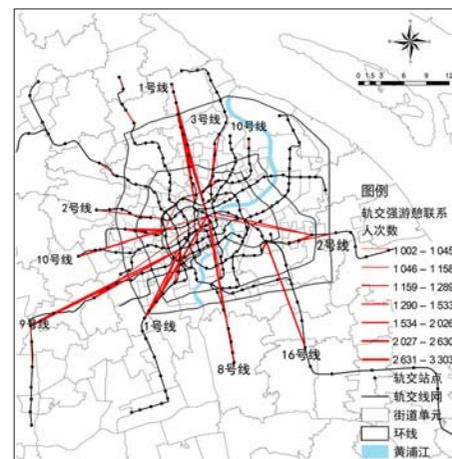


图2 轨交的强游憩联系(单位:人次)
资料来源:笔者自绘。

就业者按照轨交站点空间位置汇总到其对应的就业中心,得到每个中心轨交通勤就业者数量,并采用“单站就业量”评估各就业中心在轨交通勤视角下的规模等级(见表1)。

$$\text{单站就业量} = \frac{\text{就业中心轨道交通通勤者总量}}{\text{该就业中心对应的轨交站点数量}} \quad (5)$$

通过梳理可知,全方式通勤联系视角下大规模等级就业中心集中在内环内,轨交通勤视角下高等级就业中心分布较为离散。漕河泾开发区、张江科学城均为中环附近、中环之外的高等级就业中心。轨交通勤视角下,就业中心体系“多中心”趋势更为明显。

将信令数据测度下的就业密度和轨交刷卡数据测度下的单站就业量标准化后进行回归分析,结果显示两者呈弱的线性正相关关系, R^2 为0.420,在0.01水平(双侧)上显著相关,回归模型残差呈正态分布,不存在明显的空间自相关关系。回归分析结果表明,在规模等级一致性测度下,上海轨交线网与就业中心体系总体匹配较好(见图3)。

但仍有部分就业中心偏离趋势线较远,轨交匹配程度差异较大。例如,张江科学城、人民广场、陆家嘴是负残差绝对值的前3,表示这3个就业中心在轨交通勤视角下的等级要远高于其在全方式通勤视角下的等级。这3个就业中心都以高端生产性服务业为主,对就业者专业技术要求较高。由于具有专业技术就业者的选择余

表1 两种视角下的规模等级位序排前10的就业中心

位序	轨交出行视角下的规模等级 (单站就业量)	全方式出行视角下的规模等级 (就业密度)
1	中央商务区陆家嘴部分 (内环内)	长寿地区中心 (内环内)
2	南京东路市级商业街 (内环内)	南京东路市级商业街 (内环内)
3	徐家汇市级副中心 (内环内)	大宁地区中心 (内环附近)
4	南京西路市级商业街 (内环内)	徐家汇市级副中心 (内环内)
5	人民广场市政文化中心 (内环内)	不夜城市级商业中心 (内环内)
6	张江科学城 (中环附近)	南京西路市级商业街 (内环内)
7	张杨路市级商业街 (内环内)	张杨路市级商业街 (内环内)
8	漕河泾开发区 (中环附近)	中央商务区陆家嘴部分 (内环内)
9	中山公园地区中心 (内环内)	老西门地区中心 (内环内)
10	淮海中路市级商业街 (内环内)	四川北路市级商业街 (内环内)

资料来源:笔者自制。

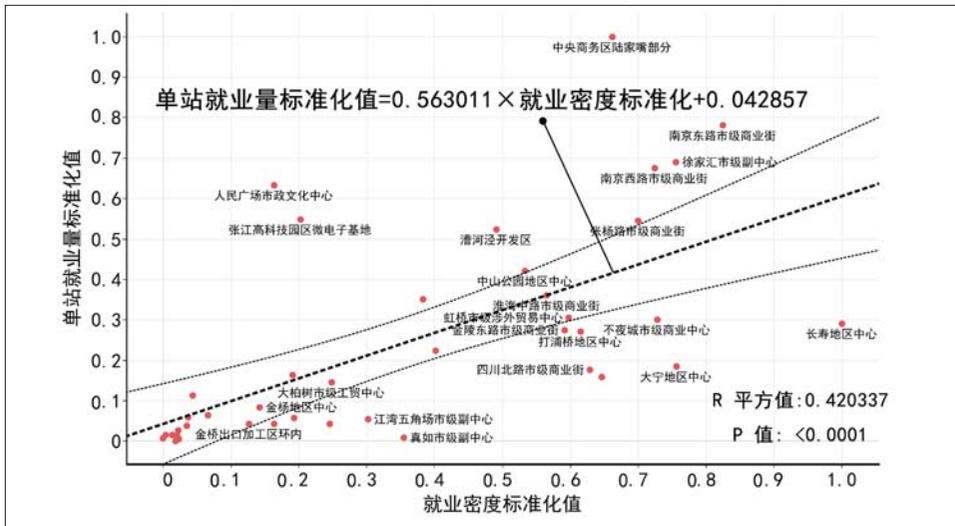


图3 就业密度和单站就业量的相关性
资料来源:笔者自绘。

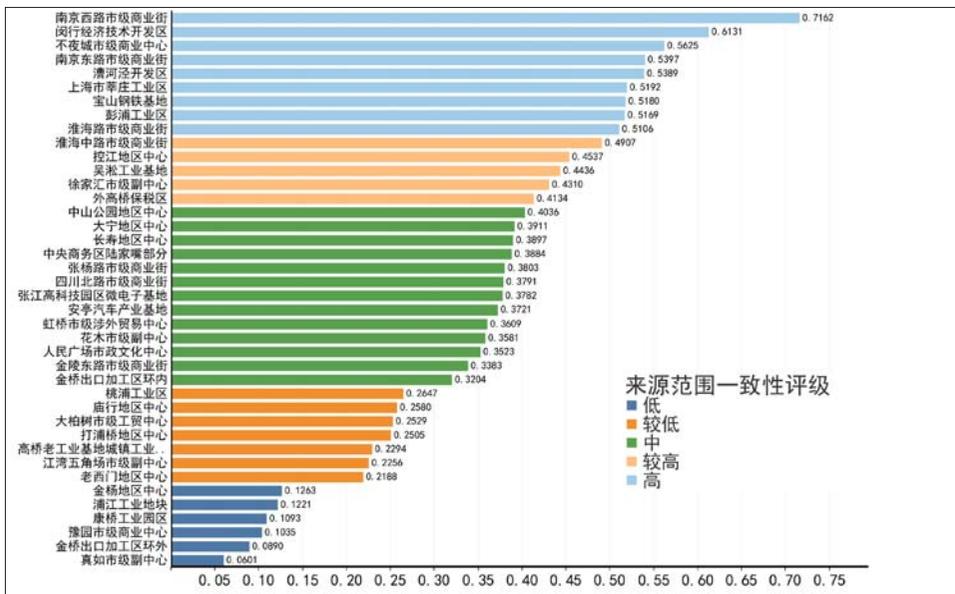


图4 就业中心来源范围一致性
资料来源:笔者自绘。

地较少,形成这3个中心的就业者通勤距离相对较长,更倾向于选择轨道交通。长寿地区中心、大宁地区中心、老西门地区中心是正残差绝对值排前3的就业中心,表示这3个就业中心在轨道交通视角下的等级要远低于其在全方式通勤视角下的等级。这3个就业中心都属于等级较低的就业中心,且产业多为生活性服务业,就业者多为就近就业,使用轨道交通的就业者相对较少。这说明在规模等级一致性测度下,产业类型也会影响轨交线网与就业中心匹配程度。

3.2 就业中心来源范围一致性

采用公式(1)计算各个就业中心来源一致性,采用自然间断点分类法,按数值高低分为“高”“较高”“中”“较低”“低”5类(见图4)。属于“高”类的就业中心有:南京东路市级商业街、南京西路市级商业街、闵行经济技术开发区等;属于“较高”类的就业中心有:淮海中路市级商业街、控江地区中心、吴淞工业基地等;属于“中”类的就业中心有:张江科学城、金桥工业区、安亭汽车产业基地等;属于“较低”类的就业中心有:桃浦工业区、江湾—五角场市级副中心等;属于“低”类的就业中心有:真如市级副中心、康桥工业园区等。从来源范围一致性的空间分布上可知,浦西各就业中心与轨交的匹配程度优于浦东,内环内各就业中心的匹配程度普遍好于内环外。来源范围一致性高低与就业中心产业类型无关。

来源一致性与各就业中心核心腹地范围内轨交线网布局直接相关(见图5)。以高端生产性服务业为主的就业中心中,南京东路、南京西路与轨交匹配较好,陆家嘴、张江科学城与轨交匹配较差。外环附近单条轨交线路服务的就业中心如外高桥保税区、吴淞工业基地、莘庄工业区等与轨交匹配情况差异较大。因为这些就业中心的就业者以就近居住为主,其附近的轨交线路主要满足的不是其通勤需求,而是附近居民前往市中心的其他出行需求。已转型的就业中心中,漕河泾和彭浦已经形成了依靠轨交的“郊区大型居住区—就业中心”的通勤模式,因此其来源范围一致性较高。

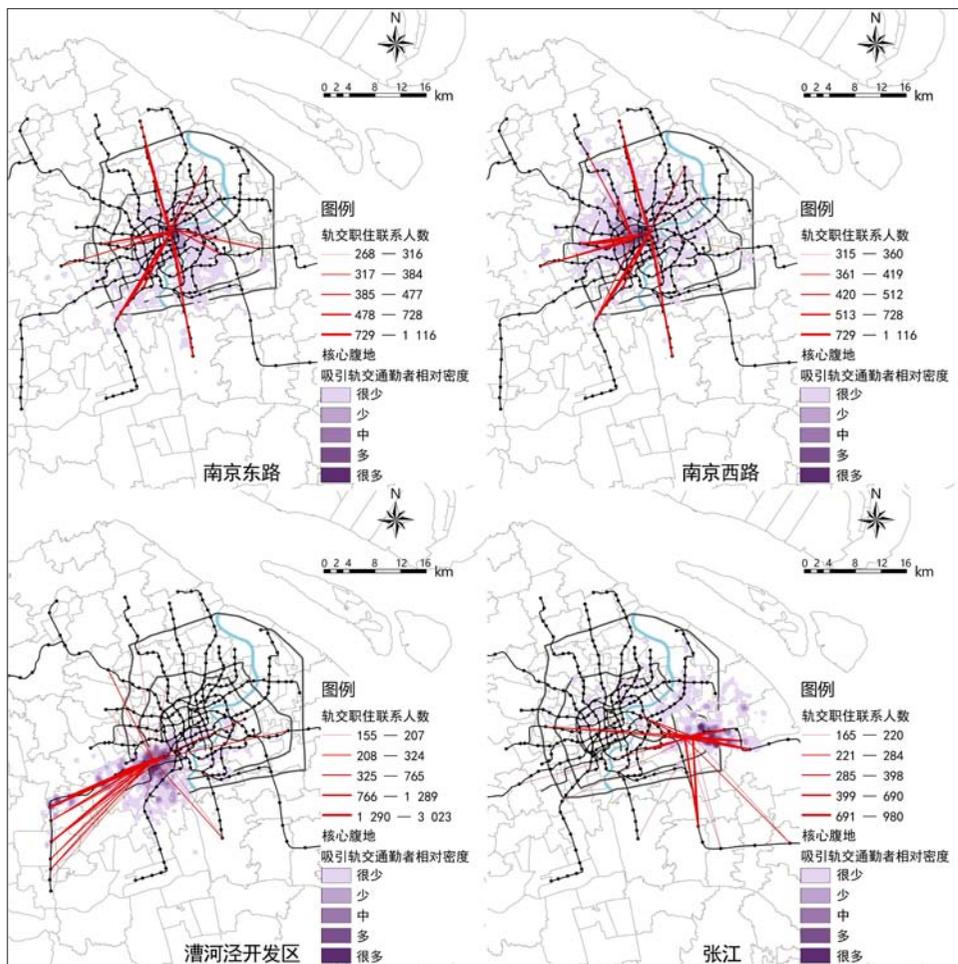


图5 典型就业心核心腹地与强轨道交通通勤联系 (单位:人)
资料来源:笔者自绘。

表2 两种视角下的规模等级位序排前10的公共活动中心

位序	轨交出行视角下的规模等级 (单站游憩量)	全方式出行视角下的规模等级 (游憩密度)
1	南京东路市级商业街 (内环内)	南方商城商业中心 (中环外)
2	人民广场市政文化中心 (内环内)	徐家汇市级副中心 (内环内)
3	徐家汇市级副中心 (内环内)	环球港 (内环附近)
4	南京西路市级商业街 (内环内)	虹口足球场 (内环内)
5	中山公园地区中心 (内环内)	南京东路市级商业街 (内环内)
6	不夜城市级商业中心 (内环内)	淮海中路市级商业街 (内环内)
7	中央商务区陆家嘴部分 (内环内)	中山公园地区中心 (内环内)
8	虹口足球场 (内环内)	江湾五角场市级副中心 (中环附近)
9	打浦桥地区中心 (内环内)	龙阳路 (内环附近)
10	淮海中路市级商业街 (内环内)	金陵东路市级商业街 (内环内)

资料来源:笔者自制。

4 公共活动中心与轨交的匹配度测度

4.1 公共活动中心规模等级一致性

手机信令数据测度的游憩活动强度表征了公共活动中心在全方式出行游憩联系视角下的规模等级。将轨交刷卡数据识别

出的游憩者按照轨交站点的空间位置汇总到其对应公共活动中心,得到每个中心轨交游憩者数量,采用“单站游憩量”评估各公共活动中心在轨交游憩视角下的规模等级(见表2)。

$$\text{单站游憩量} = \frac{\text{公共活动中心轨交游憩者总量}}{\text{该公共活动中心对应的轨交站点数量}} \quad (6)$$

与就业中心体系的研究方法类似,将手机信令数据测度下的游憩密度和轨交刷卡数据测度下的单站游憩量标准化后进行回归分析。结果表明两者不相关,回归模型的R²仅为0.165,未通过显著性检验(见图6)。这表明轨交线网与上海公共活动中心体系的匹配程度要低于就业中心体系的匹配程度。

4.2 公共活动中心来源范围一致性

采用公式(1)计算各个公共活动中心的来源一致性。采用自然间断点分类法,将各公共活动中心根据来源范围一致性分为“高”“较高”“中”“较低”“低”5类(见图7)。“高”类公共活动中心有:南京东路市级商业街、陆家嘴、南京西路市级商业街等;“较高”类公共活动中心有:淮海路市级商业街、淮海中路市级商业街、老西门地区中心等;“中”类公共活动中心有:真北商业中心、金杨地区中心等;“较低”类公共活动中心有:江湾五角场市级副中心、大宁地区中心、曹家渡商业中心等;“低”类公共活动中心有:长寿地区中心、世博商业中心、四川北路市级商业街等(见图8)。

同样,各个活动中心的来源范围一致性与各中心核心腹地范围内轨交线网布局直接相关(见图8)。各公共活动中心的来源范围一致性数值普遍高于各就业中心。这是由于游憩活动具有一定“弹性”,易于根据出行时间、业态等调整,就近趋势明显。相比之下,就业活动更具“刚性”,无法轻易调整。除此之外,公共活动中心本身职能也会影响来源范围一致性。例如,具有面向全市人群的特殊性服务,又具有面向周边区域人群的生活服务的复合型公共活动中心(如世博源、四川北路)来源范围一致性均较低。

5 结论与讨论

5.1 结论

在就业中心体系方面,采用规模等级一致性测度可知,轨交线网与上海就业中心体系总

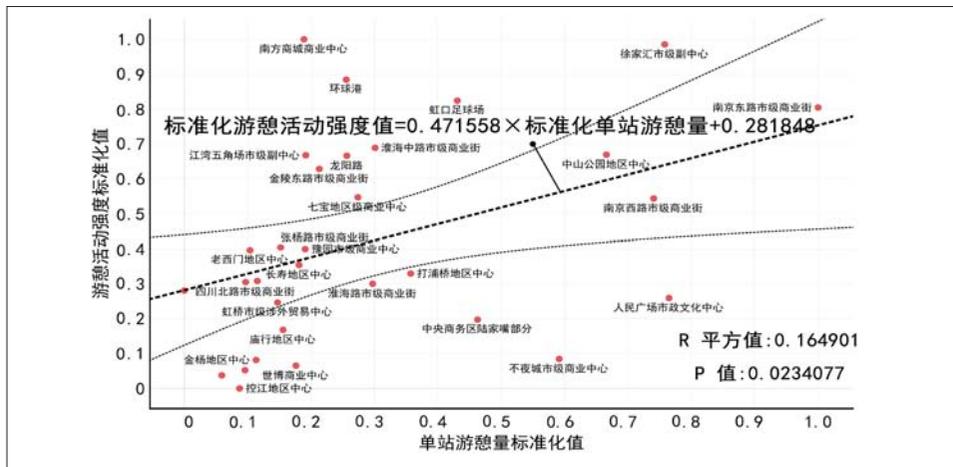


图6 游憩活动密度和单站游憩量的相关性
资料来源:笔者自绘。

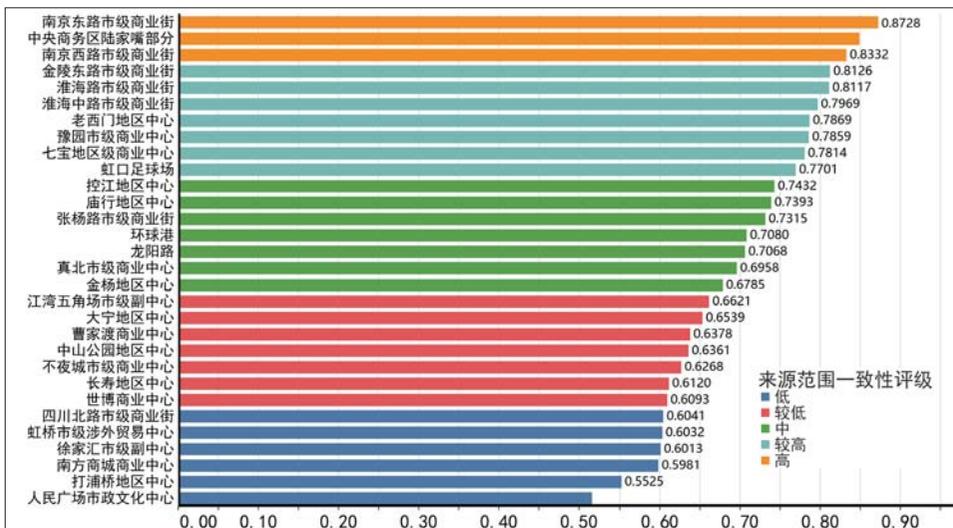


图7 公共活动中心来源范围一致性
资料来源:笔者自绘。

体上匹配程度较好。其中,轨交线网与中环附近就业中心较好的匹配度提升了这些就业中心的规模等级。规模等级一致性指标表明轨交线网较好地支持了上海就业中心体系“多中心化”。此外,就业中心产业类型会影响到规模等级一致性指标的结果。

在来源范围一致性测度下,轨交线网与浦西各就业中心的匹配程度优于浦东,与内环内各就业中心的匹配程度好于内环外。影响轨交线网与就业中心来源范围一致性指标的主要因素是线网结构与该中心的空间关系。就业中心的来源范围一致性与就业中心的产业类型无关。

公共活动中心体系方面,采用规模等级一

致性测度,轨交线网与上海公共活动中心体系总体上匹配程度较差。这与轨交承载的游憩功能较少,以及游憩出行具有“弹性”有关。规模等级一致性指标表明轨交线网与内环内公共活动中心的匹配度相对较好,轨交线网支持的游憩功能联系呈现更加“单中心化”趋势。

在来源范围一致性测度下,轨交线网与公共活动中心的匹配程度普遍好于与就业中心的匹配程度。这也与游憩出行具有“弹性”,容易调整有关。影响轨交线网与公共活动中心来源范围一致性指标的主要因素也是线网结构与该中心的空间关系。公共活动中心的职能也会影响该中心的来源范围一致性。

5.2 讨论

由于轨交刷卡数据不包括单独购票的月票、一日票、多日票数据,本文仅针对使用公交卡轨交出行乘客。一般来讲,使用公交卡轨交出行乘客很大概率是上海常住居民。因此,本文实际上针对常住居民轨交出行表征的轨交线网与城市中心体系匹配,还没有考虑轨交承载的外来访客出行流动。类似南京东路、豫园等外地访客较高的公共活动中心研究结论可能会受到影响。当前,随着区域一体化趋势加快,城际之间出行联系日益增强,轨交在承载城市功能流动,特别是游憩功能方面必然要考虑访客的影响。目前上海城市中心体系规划主要考虑常住居民,但未来城市中心体系规划特别是公共活动中心体系规划有必要将访客纳入考虑范围^[15],包含访客出行的轨交线网与城市中心体系匹配情况值得进一步研究。

居住、工作出行具有明确的规律性,通过多日活动规律从手机信令数据、轨交刷卡数据识别居住地、工作地已成为常规方法。游憩活动却不同,每个休息日游憩出行不具有明确的规律性。因此,无论是基于手机信令数据、还是轨交刷卡数据识别的游憩出行更多的是一种有依据的推测。本文在已经识别出居住地和在工作地站点用户的基础上,以休息日、出站站点非居住地及工作地等条件作为约束,尽可能减少识别结果与真实情况的偏差。结果表明,尽管个体在休息日的游憩活动可能是不规律的,但整体层面上,轨交刷卡数据识别的轨交游憩出行、手机信令数据识别的全方式游憩出行空间分布特征符合一般认知。这表明本文对游憩出行识别的方法是可靠的。

5.3 规划展望

通过乘客使用轨交的时空规律,本文从轨交出行中分离出轨道交通出行、轨交游憩出行,用于评估就业中心体系、公共活动中心体系。本文认为轨交规划要更加重视轨交对就业中心体系的支撑作用,要重视轨交线网与就业中心的匹配程度。除了关注轨交线网结构与中心体系的空间关系,也要关注就业中心的产业类型影响。对于公共活动中心,要关注轨交线网结构与中心体系的空间关系。尤其要改善中环及附近

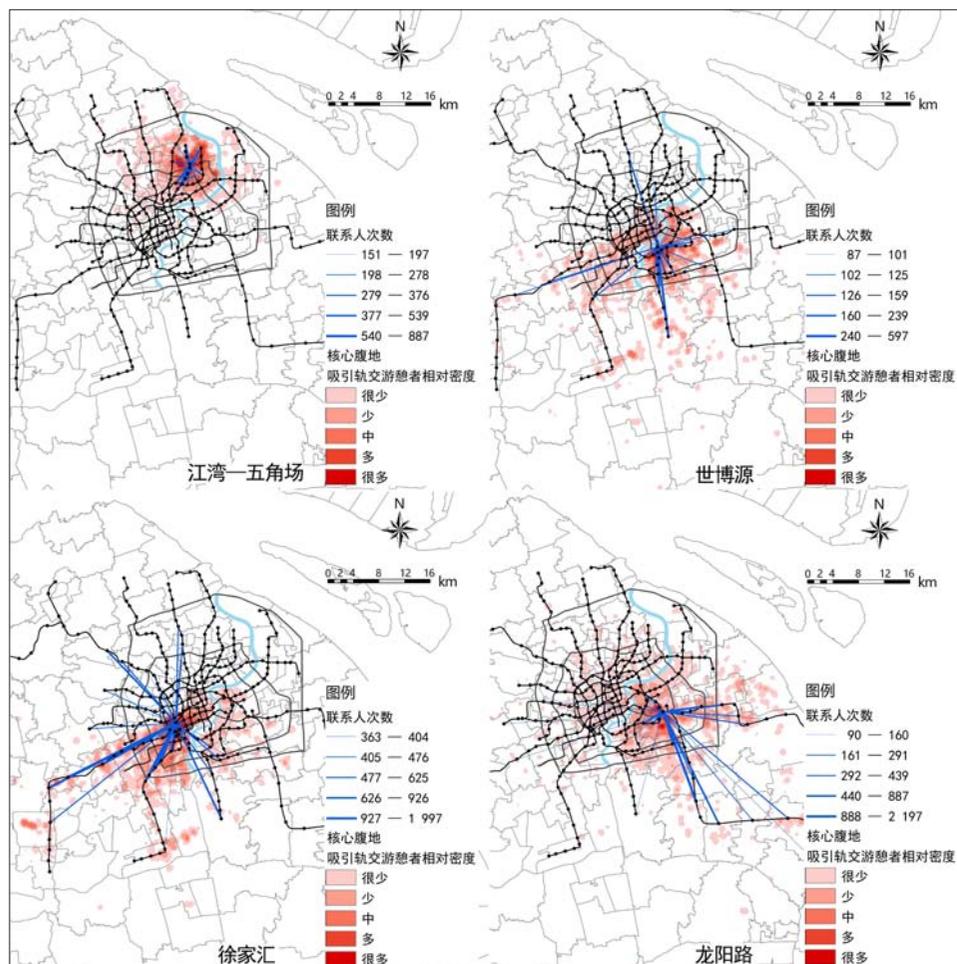


图8 典型公共活动中心核心腹地与强轨交出游憩联系 (单位:人次)
资料来源:笔者自绘。

的轨交线网与公共活动中心相匹配。研究同时提供了一种量化测度轨交线网与城市中心体系匹配程度的方法,规模等级一致性和来源范围一致性指标可以成为评估轨交线网与城市中心体系一体化耦合水平的监测指标。

参考文献 References

[1] 潘海啸,任春洋. 轨道交通与城市公共活动中心体系的空间耦合关系——以上海市为例[J]. 城市规划学刊, 2005 (4) :76-82.
PAN Haixiao, REN Chunyang. Study on spatial coupling between the metro and urban activity center: case study in Shanghai[J]. Urban Planning Forum, 2005(4): 76-82.

[2] 王德,千迪,朱查松,等. 上海市郊区空间规划与轨道交通规划的协调性研究[J]. 城市规划学刊, 2012 (1) :17-22.
WANG De, GAN Di, ZHU Chasong, et al. A research

on the relationship between suburban spatial planning and railway traffic planning in Shanghai[J]. Urban Planning Forum, 2012(1): 17-22.

[3] BURGER M, MEIJERS E. Form follows function? Linking morphological and functional polycentricity[J]. Urban Studies, 2012, 49(5): 1127-1149.

[4] VASANEN A. Functional polycentricity: examining metropolitan spatial structure through the connectivity of urban sub-centers[J]. Urban Studies, 2012, (16): 3627-3644.

[5] 孙斌栋,涂婷,石巍,等. 特大城市多中心空间结构的交通绩效检验——上海案例研究[J]. 城市规划学刊, 2013 (2) :63-69.
SUN Bindong, TU Ting, SHI Wei, et al. Test on the performance of polycentric structure as measure of congestion reduction on megacities: the case study of Shanghai[J]. Urban Planning Forum, 2013(2): 63-69.

[6] 魏旭红,孙斌栋. 我国大都市区就业次中心的形成机制:上海研究及与北京比较[J]. 城市规划学刊, 2014 (5) :65-71.
WEI Xuhong, SUN Bindong, Formation mechanism

of employment subcenters in metropolitan area: the case of Shanghai in comparison to Beijing[J]. Urban Planning Forum, 2014(5): 65-71.

[7] 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. Understanding urban spatial structure of Shanghai central city based on mobile phone data[J]. ACTA Geographica Sinica, 2016, 71(3):484-499.

[8] 丁亮,钮心毅,宋小冬. 上海中心城区商业中心空间特征研究[J]. 城市规划学刊, 2017 (1) :63-70.
DING Liang, NIU Xinyi, SONG Xiaodong. A study on spatial characteristics of commercial centers in Shanghai central city[J]. Urban Planning Forum, 2017(2): 63-70.

[9] 晏龙旭,张尚武,王德,等. 上海城市生活中心体系的识别与评估[J]. 城市规划学刊, 2016 (6) :65-71.
YAN Longxu, ZHANG Shangwu, WANG De, et al. Identification and evaluation of living centers system in Shanghai[J]. Urban Planning Forum, 2016(6): 65-71.

[10] ROTH C, KANG S, BATTY M, et al. Structure of urban movements: polycentric activity and entangled hierarchical flows[J]. PLoS One, 2011, 6(1): 1-8.

[11] ZHONG C, ARISONA S, HUANG X, et al. Detecting the dynamics of urban structure through spatial network analysis[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2014(11): 2178-2199.

[12] 许园园,塔娜,李响. 基于地铁刷卡数据的城市通勤与就业中心吸引范围研究[J]. 人文地理, 2017, 32 (3) :93-101.
XU Yuanyuan, TA Na, LI Xiang. Analysis of commuting behavior and employment center using subway smart card data[J]. Human Geography, 2017, 32(3): 93-101.

[13] 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) :1339-1352.
LONG Ying, ZHANG Yu, CUI Chengyin. Identifying commuting pattern of Beijing using bus smart card data[J]. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(10): 1339-1352.

[14] 许志榕. 上海市职住关系和通勤特征分析研究——基于轨道交通客流数据视角[J]. 上海城市规划, 2016 (2) :114-121.
XU Zhirong. Study on job-housing relationship and characteristic of commuting in Shanghai: based on the perspective of rail transit passenger flow data[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2016(2): 114-121.

[15] 钮心毅,康宁,李萌. 都市圈视角下的上海城市公共中心体系重构探讨[J]. 城市规划学刊. 2019 (3) :42-49.
NIU Xinyi, KANG Ning, LI Meng. Reconstruction of Shanghai city public center system from the perspective of metropolitan area[J]. Urban Planning Forum, 2019(3): 42-49.