

融合手机信令数据与共享单车数据的轨道站点辐射范围分析研究*

Converging Mobile Phone Signaling Data with Shared Bicycle Data on Urban Transit Stations Catchments Analysis

万涛 李乐园 马山 施澄 WAN Tao, LI Leyuan, MA Shan, SHI Cheng

摘要 骑行接驳是解决轨道交通站点“最后一公里”问题最有效的方法,共享单车对于轨道站点接驳具有重要作用,它的出现大幅度提升了轨道交通的服务能力和出行品质。传统问询调查缺乏对慢行接驳的有效采样,而模型推断又缺乏实证数据验证,新型信息化数据有助于解决该问题。以天津市为例,融合手机信令数据与共享单车数据,有效识别接驳各轨道交通站点的共享单车骑行记录,实现对轨道交通站点的共享单车辐射范围的准确分析。在此基础上,归纳轨道交通站点共享单车辐射范围的4种基本空间形态类型,并揭示不同类型与所处区位、道路密度、周边城市开发情况的相关性。针对不同的接驳形态类型与站点特征,提出有针对性的城市用地开发策略和交通接驳设施优化方案。

Abstract Bicycling is the most effective way to solve the last mile problem around rail transit site. The shared bicycle plays an important role in track situation connection, which greatly improves the service capacity and travel quality of the rail transit. The traditional inquiry survey lacks effective sampling rate, and the transport model inference lacks empirical data verification. New information data can help solve this problem. Taking Tianjin as an example, this paper combines mobile phone signaling data and shared bicycle data, effectively identifies the riding records of each rail transit station, and accurately analyzes the shared bicycle radiation range of rail transit stations. This paper summarizes the four basic types of spatial patterns of shared bicycle radiation range at rail transit stations, and reveals the reasons for the types related to location, road density, and development of surrounding cities. According to different types of connection types and different site characteristics, this paper proposes targeted urban land development strategies and transportation interchange facilities optimization programs.

关键词 共享单车;手机信令数据;数据融合;轨道交通

Key words shared bicycle; mobile phone signaling data; data fusion; rail transit

文章编号 1673-8985 (2019) 06-0017-06 中图分类号 TU981 文献标志码 A

DOI 10.11982/j. sup. 20190603

作者简介

万涛

天津市城市规划设计研究院

高级工程师,硕士

李乐园

天津市城市规划设计研究院

高级工程师,硕士

马山

天津市城市规划设计研究院

工程师,硕士

施澄 (通信作者)

同济大学建筑与城市规划学院

助理研究员,博士

0 引言

以地铁为代表的轨道交通是城市中具有高速、大容量和封闭性特点的运输工具,在改善城市交通结构、优化城市结构、促进用地开发等方面具有多重作用。轨道交通出行无法满足“门到门”的要求,轨道交通站点是进出轨

道交通系统的转换门户,对周边地区的辐射是发挥其作用的关键所在。站点辐射范围是轨道交通服务能力最直接的体现,研究轨道交通站点的辐射范围具有很重要的意义。

国内外针对轨道辐射范围的相关成果可分为3种主要类型。第一种类型是以轨道交通

* 基金项目:本文获国家自然科学基金青年项目“交通可达性对公平城市的影响与调控机制研究:基于上海和伦敦的实证比较”(编号51808392)课题、国家自然科学基金青年项目“公共自行车在中国城市的交通体系中的作用及其用户效用研究”(编号51608473)及同济大学高密度人居环境生态与节能教育部重点实验室(同济大学)开放课题(编号2019020206)联合资助。

站点为核心的影响圈层的划分。卡尔索普在20世纪90年代最早提出了轨道交通站点的直接影响区和间接影响区（或次级区域）的概念，直接影响区为站点周边半径在1/4—1/2英里，即400—800 m以内的区域；次级区域圈层的覆盖半径扩大至1英里，即1.6 km左右，步行尺度是划分直接影响圈层的主要因素^[1]。该划分标准的影响较大，站点周边半英里范围成为TOD研究与实践中界定轨道交通车站直接影响区被接受最广的标准并扩散到其他领域，我国学者根据国内城市情况进行修正，提出确定轨道站点步行尺度需综合考虑步行环境、用地功能等因素^[1]。Erick Guerra, Robert Cervero等从预测站点客流角度出发，使用多个美国城市的轨道客流与站点周边人口、就业岗位数据检验了半英里直接影响区的设定^[2]，指出半英里范围内的人口和1/4英里范围内的就业岗位数量是解释轨道交通站点客流的强相关指标。第二种类型研究是在一定的时间阈值内考虑不同接驳方式在速度差异条件下的覆盖范围。与第一种类型的研究相比，这一类型的研究较好地考虑了不同接驳方式的速度差异，对合理配置站点周边的接驳设施、研究轨道站点间接影响区等方面更具指导作用。叶益芳基于自行车合理旅行速度的假定，通过站点问询调查数据确定轨道交通站点自行车接驳的合理范围，并用于自行车接驳设施规划^[3]；刘祥峰以深圳市轨道交通7号线为例，构建了一种以轨道交通全程旅行时间最短为约束、考虑多种接驳方式的轨道交通站点辐射范围计算模型，并将其应用于规划接驳设施规模的估算^[4]。第三类研究使用站点周边GIS网络形态对各种接驳方式辐射范围的影响，与前两类研究相比，较好地考虑了轨道站点周边实际网络形态对辐射范围的影响。如武倩楠等提出了一种考虑多种方式接驳的轨道交通站点影响区计算模型，理论计算结果表明，在多种方式作用下轨道交通的影响范围并非圆形^[5]；如李俊芳等人使用google地图导航功能产生的实际道路网络出行时间与距离标定了一种车站客流吸

引范围重叠区域划分模型，并用于站点客流预测^[6]。

总体而言，轨道交通站点辐射范围的研究已较为丰富，并成为用地开发、接驳设施规划设计、站点客流预测等多种类型研究或应用的重要基础。但相关研究以理论模型推算居多，缺乏与实际数据的比较和验证，部分研究使用了乘客问卷调查的数据对理论模型进行了标定，但由于问卷调查数据数量偏少，且地理位置标记仅能达到TAZ层面（城市交通分析区，一般为0.5—1 km），因此实际效果并不理想^[6]。

随着移动通讯设备和新型交通工具的普及，出现了一批覆盖人群广、采样间隔密、定位精度高的新型数据。张伟伟等借助乘客进出地铁站手机信号需要切换位置区的原理，获取乘客乘坐地铁出行的完整出行链，实现典型站点的辐射范围的可视化，但提出算法对地铁进站量的有效识别率并不高^[7]。共享单车出现后，在解决轨道交通出行“最后一公里”方面发挥了重要作用，共享单车搜集并存储单车的“租—还”过程中的订单信息、行驶轨迹信息和用户信息，已被应用于共享单车在轨道影响区范围内的时空分布特征和单车淤积区域的分析^[8]。但相关研究仅通过共享单车的停放位置与轨道交通站点的距离关系来推断共享单车用户是否乘坐轨道，除轨道交通站点外，轨道周边建筑也会产生共享单车骑行量，仅依靠骑行的起终点位置与站点的空间关系并不能有效识别接驳轨道交通的骑行。

本文提出了一种融合手机信令数据与共享单车数据的算法流程，通过将数据中包含的手机号码按照相同机密规则加密的方式，实现两类不同数据的关联与融合分析。通过该算法流程，可以准确标记使用共享单车接驳轨道交通的骑行及其接驳站点，并在此基础上进行共享单车的轨道交通站点辐射范围分析。

1 数据来源与技术方法

1.1 研究区域与范围

本文主要采用2017年9月天津地区的手机信令数据、共享单车数据研究轨道交通站点的辐射范围。截至2017年9月，天津轨道交通共包括M1线、M2线、M3线、M6线北段和M9线5条运营线路，合计163 km，站点数为105个，其中两线换乘站6个，三线换乘站1个。全网日均客流量为98万人次/d，出行量约70万人次，换乘系数为1.4。

1.2 手机信令数据

手机在开机状态下或使用过程中会与所在位置周边的基站交互产生包含基站信息和时间戳的记录，即手机信令数据。通过将基站编号与其位置信息关联，可对用户进行定位。本文主要使用2017年9月全月天津移动的手机信令数据开展研究。日均活跃用户人数为900万人，占天津市当年统计常住人口的60%左右。信令数据在使用前已进行轻度清洗，对连续在同一位置产生的信令记录进行合并，最终的结果主要包含用户唯一识别码、基站编号、开始时间、结束时间4个字段。日均信令记录数为14亿条，人均日记录数为150条左右，在信令记录产生较多的活跃时段（6:00—22:00），记录平均时间间隔为4 min。天津市市域范围共包含有效基站7万个，基站间隔在50—300 m之间。

通过对轨道交通站点的专用基站进行标记，可以识别轨道交通乘客及其上下车站点。本文通过基站侦测软件，以路测方式对轨道交通系统相关的基站信息进行了搜集整理，形成轨道交通基站表，主要字段包括基站编号、所属线路、所属站点、位置等。

1.3 共享单车数据

共享单车数据集由在天津市内开展运营业务的某企业提供，时间为2017年9月某工作日。该日记录数为129.8万条，其中活跃车辆数为21.0万个，活跃用户数为53.3万，人均骑行2.44次，车均使用次数为6.24次。数据集中一条记录为一次从开锁到开锁的完整骑行信

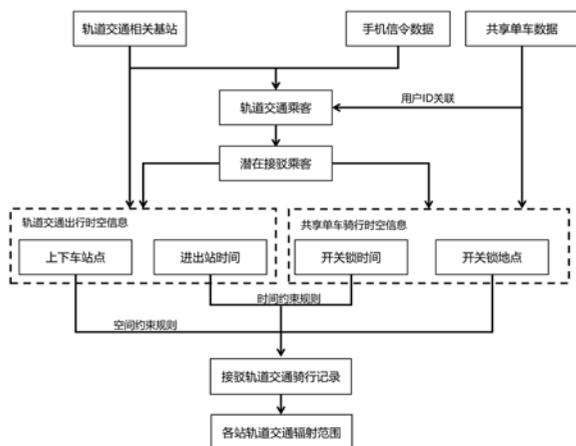


图1 轨道交通站点辐射范围提取流程图
资料来源:笔者自绘。

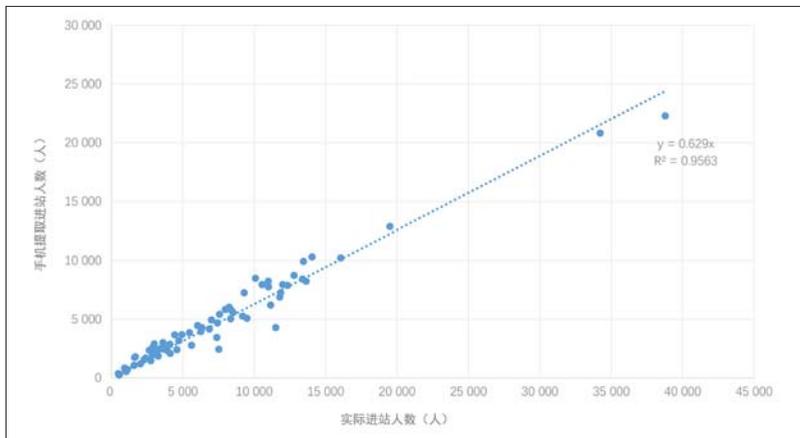


图2 天津市轨道交通站点实际进站量与手机提取进站量对比图
资料来源:笔者自绘。

息,主要包括用户编号、车辆编号、开锁时间、开锁位置、关锁时间、关锁位置等。

2 数据融合计算流程

共享单车的用户编号为用户注册手机号,而手机用户的唯一识别号码也是中国移动的手机号码。本次数据融合之所以成为可能,是由于两个运营公司合作,实现了以手机号码为唯一主键关联的数据打通。由于中国移动在天津的实际占有率超过70%,所以相互交叉识别的比例也超过70%,保证了数据采样的优质无偏性。

通过轨道交通专用基站,在手机信令数据集中识别轨道交通乘客,通过用户ID关联,在共享单车数据集中筛选出使用过轨道交通出行的用户。提取这部分用户乘坐轨道交通上车时间、站点及下车时间、站点的信息,与共享单车骑行信息按照一定判别规则进行判断,确定与轨道交通出行存在接驳关系的骑行记录,并将其出行起点、终点可视化,计算指标,得出不同站点的共享单车辐射范围(见图1)。

判别规则主要体现在时间约束和空间约束两个方面。以进站接驳为例,如果一次骑行记录的关锁时间与进站时间小于8 min并且关锁位置与上车站点之间的距离小于600 m,则判定此次骑行为一进站接驳轨道交通的

骑行。出站接驳与之类似,如果一次骑行的开锁时间与出站时间小于8 min并且开锁位置与下车站点间的距离小于600 m,则认定此次骑行为一次出站接驳轨道交通的骑行。时间约束阈值与空间约束阈值主要从相关站点询问调查的结果中获取,95%的乘客下车后在8 min内接驳离开,按照行人的平均步行速度4 km/h考虑,则步行距离约为500 m,考虑实际行走路径大于直线距离,确定空间约束阈值为600 m。

通过上述计算方法与流程处理,在手机信令数据集中共可提取到45万人次轨道交通出行记录(见图2),轨道交通乘客26万人次,人均轨道交通出行1.7次/d。轨道交通全日出行量为70万人次/d,提取到的轨道交通出行量占全轨道交通出行量的64%,与天津地区中国移动在3家手机运营商中的市场占有率接近。从提取结果中获得的各站进出站量与实际进出站量的比较结果看,相关结果极高,且计算得到的进出站量大体相当于实际进出站量64%的水平,表明提取结果的可靠度较高。

通过用户关联方式及时空约束规则判断,在共享单车数据集中共匹配到4.3万个有轨道交通接驳共享单车行为的个体,共6.0万条骑行记录,其中包括进站接驳记录数为2.5万条,出站接驳记录数为3.5万条。该品牌共

享单车进站接驳轨道交通的比例为3.5%,出站接驳比例为5%,按照同期开展的居民出行调查的结果,共享单车进站接驳轨道交通的比例为5%,使用该方法获得的数据低于2017年10月开展的居民出行调查获得的共享单车进出站接驳比例(分别为8.6%和8.8%),体现出该品牌的共享单车的市场占有率大体在50%左右。

3 站点辐射范围计算结果

3.1 站点辐射范围

笔者对识别出的所有接驳轨道交通骑行远离轨道交通车站端点的位置在地图上进行标记,并按照不同的站点赋予不同颜色,得到

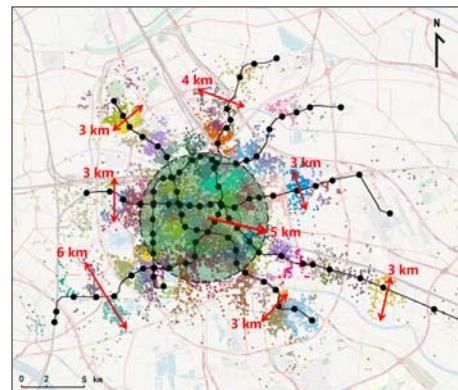


图3 天津市中心城区轨道交通网络各站点辐射范围示意图
资料来源:笔者自绘。

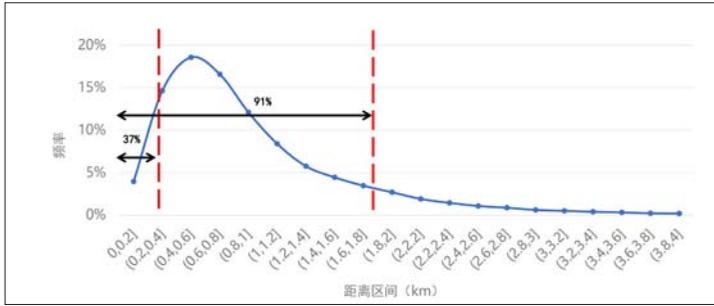


图4 共享单车接驳不同距离区间辐射衰减曲线
资料来源：笔者自绘。

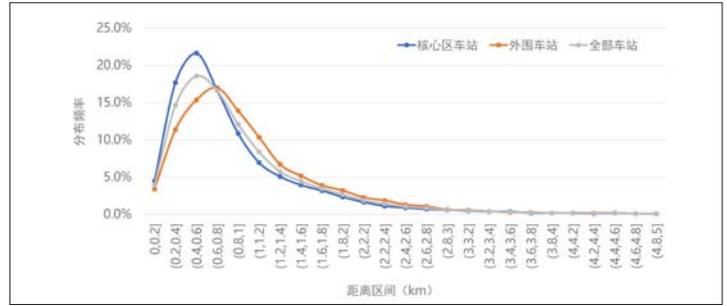


图5 不同区位站点共享单车接驳不同距离区间频率分布曲线
资料来源：笔者自绘。

天津市中心城区各站点共享单车辐射的总体效果图（见图3）。以天津市的几何中心位置为中心，将其5 km半径作圆确定的范围界定为城市核心区。从图3可以看出，在城市核心区地区，由于轨道交通站点的密度较高，各站共享单车的接驳范围呈现出饱和和覆盖的态势，整个区域均在轨道车站的辐射范围内。核心区以外，轨道交通线路在不同的方向上放射性延伸，轨道站点的共享单车辐射范围呈现出以线路为中心的条带状分布态势。绝大部分条带的宽度在3—4 km，最宽达到6 km，折算为单向接驳骑行的距离为1.5—3 km。

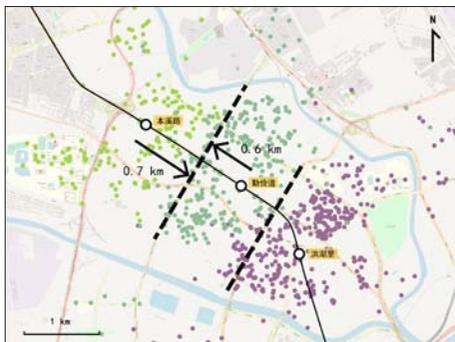
从接驳骑行的距离区间分布可看出不同距离区间的辐射强度情况和随距离增长的辐射衰减情况（见图4）。2 km内骑行占全部接驳骑行量的91%，基本与放射线路的辐射带宽度相符。站点辐射强度在0.4—0.6 km区间最高，该区间内集中了近20%的接驳骑

行量。传统上认为0.6 km为步行接驳较为舒适的范围上限，而0—0.6 km的骑行占总体接驳比例的近40%，表明共享单车对步行接驳出行具有较强的替代作用。从核心区站点与核心区以外站点的距离区间分布曲线对比情况看，城市核心区内部站点的短距离接驳骑行更多，骑行量随距离衰减的速度更快，城市核心区站点的平均辐射范围要小于外围地区（见图5）。城市核心区站点的上下客量更高，在步行适宜范围内，同等距离区间上骑行分布频率高意味着更高的骑行接驳量，从统计结果看，中心城区站点步行适宜范围内的接驳骑行量约占全部接驳骑行量的一半以上。实际的单车运营结果也体现出，城市核心区站点更容易出现高峰时段车辆在轨道站点周围的过量集聚，引发占用公共空间和车辆淤积等负面问题。在分析数据对应的日期，共享单车仍处于推广期间，对使用者而言使用共享单车的成本极低，共享单车使用存在非理

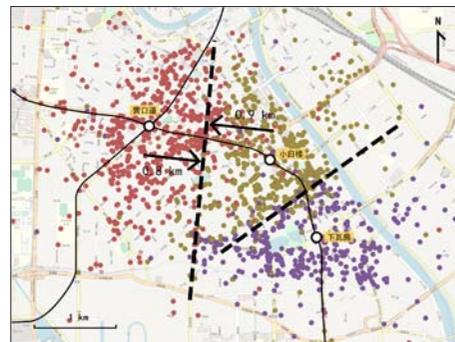
性的状况。

3.2 站点辐射的分界与交叠

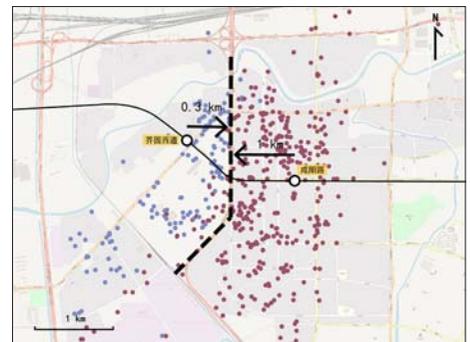
大部分相邻站点间的辐射范围可呈现出较为明显的边界。在外围地区，轨道交通站点间的分隔线主要在位于两相邻站点间的主干道路上。分割线与两站的距离大体相等。在城市核心地区，由于站点较为密集，且站点周边的支次路网密度较高，站点辐射范围往往在两站中间的位置形成，与具体道路之间没有明确的重合或平行关系。铁路、快速路、河流等对自行车交通的分隔作用强，因此若站点之间存在此类分隔，辐射范围以此为界线（见图6）。部分站点的设置，由于过于靠近快速路，存在辐射范围被压缩的现象。如M2线芥园西道与咸阳路之间有快速路通过，两站的辐射范围呈现出以快速路分界的现象。两站间距约为1.3 km，由于以快速路为界，芥园西道辐射范围被局限在快速路300 m左右的范围内。从服务的



a 本溪路站、勤俭道站、洪湖里站辐射范围

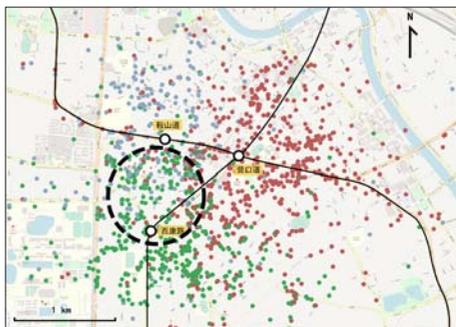


b 营道口站、小白楼站、下瓦房站辐射范围

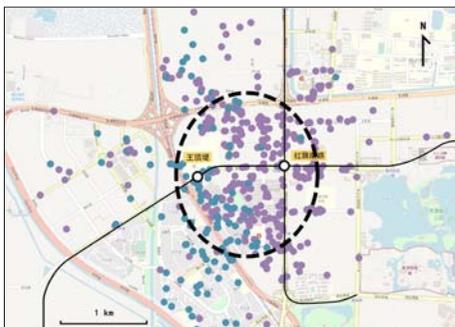


c 芥园西道站、咸阳路站辐射范围

图6 站点辐射范围边界示意图
资料来源：笔者自绘。

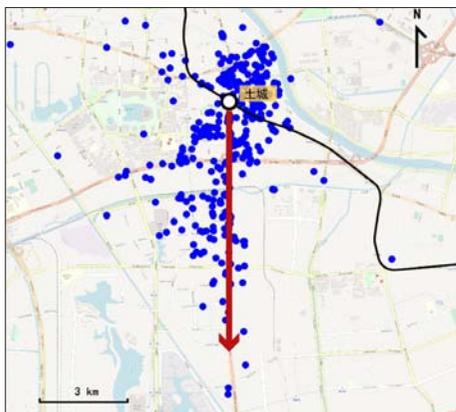


a 营道口站、鞍山道站、西康路站辐射范围

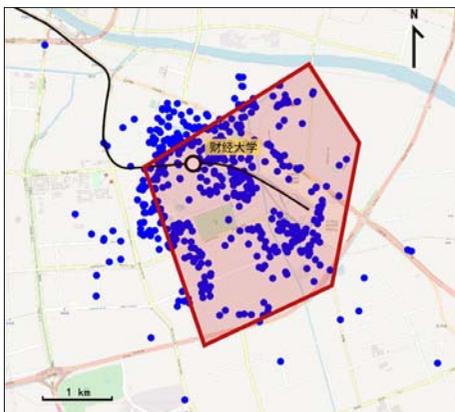


b 王顶堤站、红旗南路站辐射范围

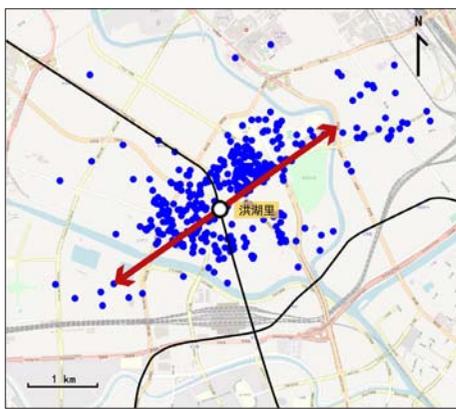
图7 站点辐射范围交叠示意图
资料来源:笔者自绘。



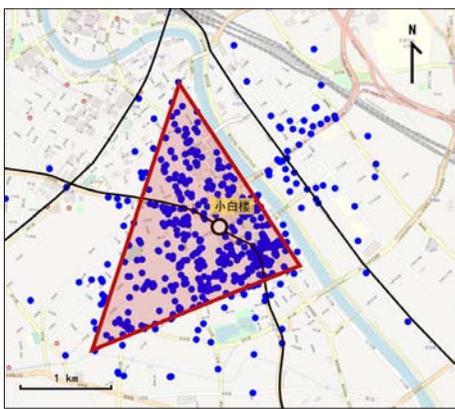
a 轴向往射型



b 发散放射型



c 两翼扩展型



d 周边服务型

图8 站点辐射主要类型
资料来源:笔者自绘。

效率考虑,轨道交通站点设站应当尽量避免与铁路、河流、快速路等距离过近。

除分界现象外,轨道交通站点辐射范围之间还存在着不同程度的交叠现象,以及存在着相当比例的骑行接驳者并不选择距离最近的轨道车站作为接驳站点。交叠现象比较

明显的区域主要发生在换乘站点周边或不同线路但距离较近的站点周边(见图7)。其可能的原因是骑行者通过更远的骑行距离减少换乘带来的不便。因此在考虑此类站点的接驳设施及接驳通道时,应当按照实际的影响范围扩大研究边界。

3.3 站点辐射的典型形态

站点的辐射形态按照所在区位、城市功能定位、周边交通条件等因素的不同,可以分为轴向放射型、发散放射型、两翼扩展型和周边服务型4种典型类型(见图8)。

(1) 轴向放射型(如土城站)。站点主要分布在城市外围道路密度较低的地区,站点周边的开发仅沿某主干道分布,骑行线路仅能沿该道路进行辐射,范围可在放射型道路通道上延伸4—5 km。在该类地区,沿主干道的骑行环境和停车环境应充分加以改善,垂直的支路系统也应加强。同时,用地开发从沿线开发向周边延伸,充分利用骑行服务范围的可达性优势。

(2) 发散放射型(如财经大学站)。主要为轨道交通端头站点,该站点要服务更远且轨道无法延伸的区域,呈现出以站点为中心向外延展的扇形辐射特征,辐射半径在4—5 km。在该地区,一般为末端居住区,应加强较远地区的循环巴士接驳系统,早晚高峰共享单车潮汐平衡性问题。同时,应尽可能避免末端地区为单一居住类型用地,规划多吸引点的混合用地。

(3) 两翼扩展型(如洪湖里站)。主要为轨道交通站点位于主要交通干道上,在沿垂直于线路的方向向两侧辐射,沿线一般有很好的公交服务且不利于骑行,垂直方向为两侧主要的服务地区,辐射距离在3—4 km。在该地区,要改善两翼横跨主干道路的骑行过街,垂直主干道的支路系统,应针对骑行进行优化。

(4) 周边服务型(如小白楼站)。站点主要位于城市中心区的密集地区,该地区服务较为密集且均质,服务范围不大,边界主要由其相邻站点的辐射范围相互平衡发展形成。这是最多的一类站点,在该站点周边地区的共享单车服务布置应该具有一定的随机性,保障基本总量即可。

4 结语

本文提出一种融合手机信令数据和共享

单车数据能准确识别接驳轨道交通的骑行记录的方法,并使用此方法提取天津地区的接驳轨道交通骑行记录。实践证明,两类不同来源的数据的融合具有可行性,二者都具有很高的市场占有率,样本容量也能很好反映骑行接驳的规律。实证数据表明,共享单车的实际服务范围,在外围地区可达到4—6 km,覆盖了普通公交的接驳范围,而超过90%的用户使用距离在2 km以下,说明共享单车的使用主要还是短距离,符合最初的定位。分析结果直观表现了各个站点的共享单车骑行辐射范围,在此基础上归纳4种轨道交通站点共享单车辐射范围的空间形态特征,探讨了不同形态类型产生的原因:与站点所处的区位、周边道路网密度,城市开发类型都有密切的联系,具有典型性,在其他城市也有同类的特征。■

参考文献 References

- [1] 卡尔索普 P. 未来美国大都市:生态·社区·美国梦 [M]. 郭亮,译.北京:中国建筑工业出版社,2009:66.
CALTHORPE P. The next American metropolis: ecology, community, and the American dream[M]. GUO Liang, translate. Beijing: China Architecture & Building Press, 2009: 66.
- [2] GUERRA E, CERCERO R, TISCHLER D. The half-mile circle: does it best represent transit station catchments?[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2012, 2276 (1): 101-109.
- [3] 叶益芳. 城市轨道交通车站不同接驳方式合理吸引范围研究[J]. 铁道运输与经济, 2014, 36 (6): 77-81.
YE Yifang. Study on reasonable attraction scope of different connection modes in urban rail transit stations[J]. Rail Way Transport and Economy, 2014, 36 (6): 77-81.
- [4] 刘祥峰. 轨道交通站点吸引范围研究及其应用——以深圳轨道7号线为例[J]. 交通与运输, 2017 (12): 95-97.
LIU Xiangfeng. Study on rail station attraction area: taking a case of Shenzhen Seventh Rail Line[J]. Traffic & Transportation, 2017(12): 95-97.
- [5] 武倩楠,叶霞飞,林小稳. 城市轨道交通车站接驳范围的计算模型[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2014, 42 (7): 1059-1095.
WU Qiannan, YE Xiafei, LIN Xiaowen. Attraction area model for urban rail transit stations[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2014, 42 (7): 1059-1095.
- [6] 李俊芳,杜慎旭,钱卫力. 城市轨道交通车站客流吸引范围重叠区域划分模型[J]. 城市交通, 2015, 13 (6): 61-64.
LI Junfang, DU Shenxu, QIAN Weili. Overlapping region partition model for urban rail transit station passenger attraction[J]. Urban Transport of China, 2015, 13 (6): 61-64.
- [7] 张伟伟,陈艳艳,赖见辉,等. 基于移动定位信息的地铁站客流来源分析[J]. 交通信息与安全, 2016, 34 (6): 70-76.
ZHANG Weiwei, CHEN Yanyan, LAI Jianhui, et al. An analysis on origins of passenger flow of subway stations based on mobile location data [J]. Journal of Transport Information and Safety, 2016, 34 (6): 70-76.
- [8] 王家川,欧阳松寿. 北京市轨道交通站点周边区域共享单车运行不均衡性研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2019, 19 (1): 214-221.
WANG Jiachuan, OUYANG Songshou. Disequilibrium of bicycle-sharing in rail transit station areas in Beijing[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2019, 19 (1): 214-221.
- [9] 刘泉. 轨道交通TOD地区的步行尺度[J]. 城市规划, 2019, 43 (3): 88-95.
LIU Quan. Walking scale of TOD area along rail transit line[J]. City Planning Review, 2019, 43 (3): 88-95.
- [10] CERCERO R. Alternative approaches to modeling the travel-demand impacts of smart growth[J]. Journal of the American Planning Association, 72 (3): 285-295.
- [11] 杨京帅,张殿业. 城市轨道交通车站合理吸引范围研究[J]. 中国铁路, 2008 (3): 72-75.
YANG Jingshuai, ZHANG Dianye. Reasonable catchments area study on urban rail stations[J]. Chinese Railways, 2008 (3): 72-75.