

出行源点用地的居民出行生成预测

Passenger Density Forecasting for the Beijing South-Central BRT Axis Based on Trip Generators

原永静¹ 王元庆²

(1. 宇恒可持续交通研究中心, 北京 100022; 2. 长安大学, 西安 710064)

YUAN Yongjing¹, and WANG Yuanqing²

(1. China Sustainable Transportation Center, Beijing 100004, China; 2. Chang'an University, Xi'an 710064, China)

摘要: 从居民出行产生的根源——用地入手, 分析我国经济快速发展时期城市用地的新特征, 引入出行源点的概念并分析其产生机理。在此基础上提出既经济又适用的基于用地功能产生率的改进方法——基于出行源点土地利用的居民出行生成预测体系, 并对体系中的模型进行了检验和修正。最后, 应用该方法预测北京南中轴快速公交项目客流密度, 既节省人力物力, 又可得出可靠结果。

Abstract: This paper analyzes characteristics of urban land-uses in association with the rapid economic development of our country from a perspective of land-uses, i.e., trip generators, by introducing the concepts of trip generators and construing the mechanism of how they are created. Then, the paper proposes an improved, and economic and applicable method of trip generation rates estimated according to land-use types, that is, a trip generation forecasting framework based on land-use types of trip generators, with its models of the framework verified and modified. The case study results from the Beijing South-Central BRT Axis show that the method is not only resource-saving but reliable as well.

关键词: 交通工程; 出行生成; 用地; 出行源点; 产生率

Keywords: traffic engineering; trip generation; land use; trip generators; trip generation rates

中图分类号: U491.1⁴ 文献标识码: A

收稿日期: 2005-09-08

作者简介: 原永静, 女, 硕士, 宇恒可持续交通研究中心助理工程师, 主要研究方向: 交通经济。

E-mail: yongjingyuan@163.com

城市居民出行生成预测是进行城市内部各种形式交通分析的基本环节, 其预测结果的可靠性将直接影响最终分析结果与现实情况的偏离程度。目前国内外常用的出行生成预测方法总体可以归纳为集计和非集计两种。无论是集计还是非集计方法, 都是以大量的居民出行调查基础数据为依据。现阶段我国正处于城市化的迅速发展时期, 城市人口的数量和分布形态不断变化, 居民出行调查需要投入巨大的人力财力, 而获取的基础数据适用时间却不断缩短。另外, 我国城市交通历史数据又普遍积累不足, 因此需要寻找一种既能够及时把握居民出行相关信息又节省大量社会资源的行之有效的办法。本文提出一种基于用地功能产生率的改进方法——基于出行源点土地利用的居民出行生成预测体系。该方法结合我国现阶段及规划发展的土地利用特征, 从交通产生的根源——用地规律入手, 按照“摸清出行源点分布以及各出行源点土地利用状况—出行调查—分析典型加以推广”的技术路线进行出行生成预测。

1 用地——城市居民出行之源

用地是人类社会经济活动在空间上的投影, 是出行生成的重要因素。只要人类开发土地, 赋予土地某种用途, 就会发生以该区域范围为起点的新出行, 或是吸引另一个区域的新出行, 或者二者兼有, 即土地的开发利用造成或刺激了新的出行需求。同时, 用地性质决定了出行目的, 土地使用强度(土地面积、容积率、就业岗位数等)决定了出行密度和数量, 土地区位决定了被选择作为出行起讫点的概率。因此, 城市内部居民出行规律是以用地空间分布为自变量的函数。

既然城市居民的出行特征与出行起讫点的用地性质密切相

关,而且城市现状用地和近远期土地规划一般由规划部门严格控制,因此,尽管城市用地结构和居民分布发生改变,同样能够通过基于用地功能的产生率法,在城市现状和规划用地资料获取以及相关出行特征调查的基础上,相对准确地进行出行生成预测。

2 基于用地功能的产生率预测方法

产生率是指在指定时间内某性质用地单位建筑面积的出行生成量。产生率预测方法的基本原理是将土地按使用功能分类,通过各类性质用地建筑面积的出行生成率和总建筑面积来推算出行生成量,模型的数学表达式为:

$$A_i^k = \sum_{j=1}^n (a_j^k)(P_j)(Lu_{ij}), \quad (1)$$

式中: A_i^k 为第 i 小区 k 类交通方式的出行生成量; P_j 为第 j 类用地的出行产生率; a_j^k 为第 j 类用地 k 类交通方式的出行比例; Lu_{ij} 为第 i 小区第 j 类建筑面积,由地块面积与容积率的乘积推算。

其中, Lu_{ij} 涉及到容积率的概念,容积率作为用地的核心控制指标,是地块中的总建筑面积与地块总面积之比,其表达式为:

$$FAR = S_c / S_l, \quad (2)$$

式中: S_c 为地块总建筑面积/ m^2 ; S_l 为地块总面积/ m^2 。由此可以通过地块总面积和城市控制性详细规划中的容积率指标得出某地块的总建筑面积。

本方法的核心指标“产生率 P_j ”的标定是决定整个预测结果可靠性的关键,而精确标定该指标则需要开展各类性质用地居民出行特征调查。调查在较大范围内抽样能保证一定的精度,但需大量的人力物力;局限于某一区域范围内的调查虽能节省一定的资源,却不具有充分的代表性。因此有必要针对某研究项目的区域特征,结合城市用地发展新特征改进调查方案。

3 城市用地与出行相关的主要特征——出行源点

在城市化高速发展作用下,大量人口为实现多样化的人际交往以及快捷方便的联系,在有限城市土地资源上聚集和分散。在城市化与近些年房地产市场蓬

勃发展的共同推动下,我国城市用地出现几大新特征:城市规模迅速膨胀;在城市化的集聚阶段,人口分布形态从中心城市角度看趋向于聚集,而从大都市圈角度看相对分散;城市内部用地结构发生剧烈变动;居民分布状况发生质的变化。

在这些用地方式新变化的作用下,出现了一系列出行源点。按照研究层面的不同,出行源点的产生机理可以从宏观和微观两个方面进行分析。

3.1 宏观层面

从城市发展来看,城市空间聚集与空间分散具有循环的规律。目前,我国大城市大都步入中心区拥挤时期,向城市中心集中的边际成本越来越高。城市职能高度集中致使中心区人口膨胀、交通拥堵等城市问题日益严重,人们自然要求向宽松的郊区疏散,构建多中心的城市空间结构,弱化原有单中心的规划思想成为新一轮城市空间规划的主导,并逐步建立由起核心作用的中心城市或中心和周边几个城市与受核心城市强烈辐射的周边城镇或地区共同组成的具有明显圈层结构的大都市圈。这样,就在都市圈内部形成若干出行集中的出行中心,见图1^[1]。从交通工程角度,将区域客流最为集中的地方抽象为一个点,称之为出行源点。

3.2 微观层面

从区域经济理论来看,城市人口、空间结构上的扩散并不意味着城市功能的离散。1955年,法国经济学家佩鲁提出“发展极”理论,并指出:一国经济中某些主导部门和有创新能力的企业在一些地区或大城市聚集,形成一种资本与技术高度集中,具有规模经济、自身增长迅速并能对临近地区产生强烈作用的“发展极”(英美学者称之为“增长极”或“增长点”)^[2]。在中国大城市内部区域经济处于非平衡发展状态,出现了具有聚集、极化、扩散作用的增长极。增长极优先增长,产生聚集效应、极化效应与扩散效应,推动增长极自身经济迅速增长并带动周围地区的全面发展,逐渐形成由各增长极构成的多中心发展的城市格局。由于增长极聚集了生产中心、金融贸易中心、交通中心、服务中心以及成片的居住中心等,其影响范围之

内的居民出行活动呈现出出行频率高、密度大以及方式多元化等特征,并很快发展成为城市交通客流汇集区域,形成出行源点。以北京南中轴路为例,具体见图2。

显而易见,遍布城市内部及周围的出行源点已经成为城市居民出行的主要集散点,这也是目前城市土地开发利用和居民活动的主要特征。因此,在对该特征分析的基础上,提出以出行源点为切入点进行出行生成预测,建立基于出行源点的居民出行生成预测体系,以期达到投入更少而预测效果更佳的目的。

4 基于出行源点的居民出行生成预测

1) 用地分类

根据项目研究区域用地性质的包含范围,结合各类性质用地与交通出行产生的相关关系选择研究用地

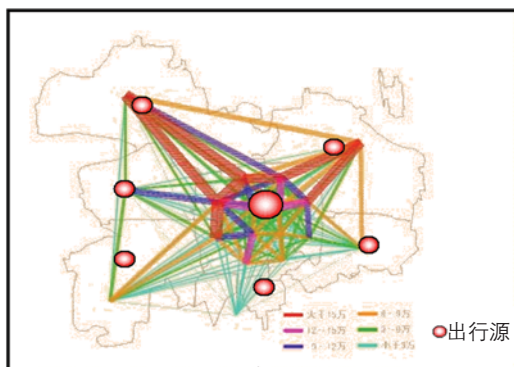


图1 北京市全日OD期望线图

Fig.1 Beijing daily OD Desire Lines



图2 北京南中轴两侧主要居民出行源点

Fig.2 Major trip generators on both sides along the Beijing South-Central BRT Axis

的种类,按照同一城市用地产生的主要交通出行类别应尽可能相同或者类似和同一城市用地产生交通出行强度具有相近性的原则进行用地分类。

2) 确定出行源点分布

按照城市空间发展已经形成或将要形成的居民居住、工作、购物、休闲娱乐等出行集散点的分布确定。

3) 交通小区划分

进行小区划分时,除了遵循一般小区划分的原则之外,还要根据出行源点的分布状况,尽量将各类出行源点的出行影响区域涵盖在一个交通分区内。

4) 聚类分析法分类出行源点

单个交通小区出行源点的数量和类型可以根据具体精度要求进行人为划定,为保证预测结果的可信度,在调查样本量受限制的前提下,可进行出行源点群组分类,选择同类中具有代表性的用地,制定调查方案。出行源点分类可采用聚类分析法,计算步骤为:①最初确定的 N 个出行源点作为 N 个类别,计算每个出行源点间的相似度(距离),形成相似度矩阵;②在相似度矩阵中寻找较小的元素(最相似),合并行列对应的聚合类;③重新计算新的聚合类之间的相似度(实际只需计算上一次被合并的新类之间和新类与未合并类的相似度,未合并类之间的相似度不变)形成新的相似度矩阵;④返回②,直到所有出行源点被聚合为规定的类别数或所有类间距离均大于给定的相似度阈值。

聚类指标选取尤其重要,它直接反映分类结果是否合理,同时指标不宜过多,以便计算和解释分析结果。根据出行源点出行特性与各类社会指标相关关系的紧密程度,可选取人均收入、居住人口、就业人口、商贸规模及客货运场站规模作为本研究的聚类指标,并将采集到的指标数据进行相应的检验和统计。为消除指标间的量纲、数量级或数据变化差异带来的影响,还需要对样本数据进行单位化、标准化处理。

通过聚类分析,可以将选取的包含各类出行源点的分区进行群组分级,甚至属同类出行强度范围内的出行源点也可用此方法分为高级出行群组、次级出行群组及一般级别出行群组,而后对分级后的各群组成成分进行比较分析,得到它们之间出行强弱相对的量,为调查后的统计分析提供数据支持。

5) 调查方法、数据处理

调查点位数量的选取依据调查资本投入量而定,而点位位置的确定则取决于前述出行源点分类及选取调查的出行源点用地布局。按照同一群组内各类性质用地随机选取抽样样本,并根据此类用地出行生成普遍规律制定具有针对性的调查方案,在调查数据分析统计之后,得出各类性质用地出行特征参数,将其在同一群组内普遍化。

6) 交通方式划分

交通方式划分旨在预测采用不同交通方式的出行分担率,进而才能将出行总量密度转换为待研究交通方式的基本需求数据。按照一般城市交通结构组成,集中在交通走廊上的出行方式可能有步行、自行车、摩托车(含助动车)、小汽车(含出租汽车)、轨道交通、普通公交和快速公交7类。结合基于出行源点的出行生成预测调查方案,交通方式划分适宜运用集计模型的思想,采用调查得到的以分区土地类别为基本单位的分方式出行统计量标定比例参数,计算各类出行方式出行量。

7) 出行生成预测

对统计数据进行分析后标定生成率模型参数 a_j^k 和 P_j ,结合各区各类地块面积及其容积率,预测出各类出行方式的出行生成量。

8) 模型检验及修正方法

① 引入区位优势度概念

城市土地区位优势度指经济地理位置和交通地理位置在空间地域上有机结合而形成的吸引人们活动量的能力^[3]。在上述的出行生成预测中,仅针对不同用地在出行生成上进行区别对待,并未考虑因经济和交通地理位置而引起的差别。而在实测出行量中,已经包含因区位优势作用刺激产生或削减的出行量。因此,本研究采用指定区域内具有代表性的出行集聚点(公共汽车站)的实际出行量与预测出行量的比值来量化反映区位优势度。城市区位优势分布示意如图3所示。

② 区位优势度计算方法

$$S = \frac{Q_{\text{实际}}}{Q_{\text{预测}}}$$

式中: S 为指定区位优势度; $Q_{\text{实际}}$ 为指定区域内具有代表性公共汽车站实际上下客量(调查获得); $Q_{\text{预测}}$ 为

指定区域内具有代表性公共汽车站预测上下客量(四阶段法预测获得)。

③ 模型检验及修正

模型检验可采取区域居民出行总量检验和公交上下客流检验的方法。

居民出行总量检验:按照研究范围产生率法预测各分区居民出行总量之和与按照人均出行次数及居民总量计算的居民出行总量进行比较,从宏观上检验模型预测的可靠度。

公交上下客流检验和修正:建立区域道路网络模拟,补充四阶段中的交通分布和分配操作,利用四阶段输入数据(小区出行量)和输出数据(公共汽车站客流)间的线性关系(误差传递过程中没有扩大)以及站点客流调查值与预测值间的比值关系,检验预测的误差并计算公共汽车站周围出行源点内部交通区位优势度,对模型进行补充和修正,提高模型拟和效果和预测精度^[4],其表达式如下:

$$\gamma = \frac{Q_{\text{实际}} - Q_{\text{预测}}}{Q_{\text{实际}}}$$

9) 出行生成量修正

① 交通小区分区细化

将初始划分的交通小区再细分为以研究范围覆盖区域为边界,以特定尺寸为步长的若干条状小区,明确各条状小区所隶属的出行源点等级,并依照每个细化分区内包含的有代表性出行集聚点(公共汽车站)预测与实测的比值关系,明确其在各自出行源点内部的交通区位优势度。如图4所示。

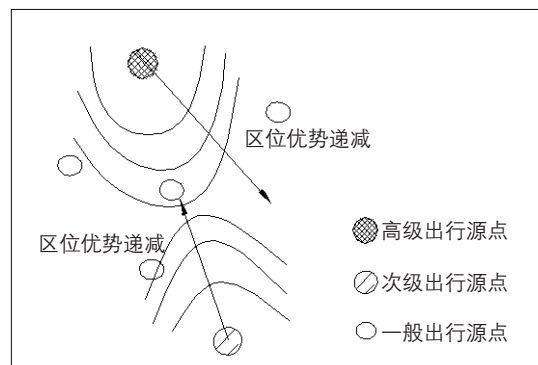


图3 城市区位优势分布示意图

Fig.3 Location-Advantage distribution

② 出行生成量修正

以细化后的条状交通小区为基础,重新运用产生率出行生成模型计算快速公交乘客出行生成量,计算时不仅考虑出行源点等级,而且考虑区位优势度,得到经过修正后的出行生成量。在节省大量调查所需人力物力前提下,保证研究项目出行生成预测的可靠性。

修正后的模型为:

$$A_i^k = \sum_{u=1}^{m_i} \left| S_{iu} \sum_{j=1}^{n_{iu}} (a_{jrs}^k) (P_{jrs}^u) (Lu_{jrs}^u) \right|,$$

式中: A_i^k 为第 i 小区 k 类交通方式的出行生成量; S_{iu} 为第 i 小区 u 分区区位优势度; m_i 为第 i 小区细化分区的总数; n_{iu} 为第 i 小区 u 分区的用地种类总数; P_{jrs}^u 为第 i 小区 u 分区所属出行源点 r_x 的 j 类用地的出行产生率; a_{jrs}^k 为第 i 小区 u 分区所属出行源点 r_x 的 j 类用地中 k 类交通方式出行比例; Lu_{jrs}^u 为第 i 小区 u 分区第 j 类建筑面积,由地块面积与容积率的乘积推算。

5 北京南中轴快速公交1号线客流密度预测

5.1 线路概况

南中轴路交通走廊自北京城市中心向南,穿越崇文、丰台两个行政区,是南北公共交通大动脉。线路途经前门、永定门、木樨园、和义小区、航天一院、东高地等商业、居民小区集中地区,连接三环、四环和五环并辐射北京市未来最具发展潜力的南苑和亦庄两个边缘集团,是东南方向居民出行的主要通道。

5.2 沿线主要出行源点分布

假设快速公交沿线两侧乘客吸引范围呈半径为 650 m 的带状分布,则本区域内包含的出行源点见表 1。

5.3 出行源点分类调查

1) 出行源点分类

鉴于描述与出行相关的地区特征资料难以获取,聚类分析分类的方法较难实现。因此,本实例采用经验法对出行源点进行分类。根据北京公交运营公司运

营管理者的长期经验积累,判断出行源点类别数量及包含内容见表 2。

2) 调查方案

出行量调查方案:在各个调查点位的主要进出口设出行量观测点,派 1 名观测人员,记录各时段出行产生的数量,并对调查点位建筑情况(建筑密度、平均楼层、容积率等)和进出调查点位的人员出行方式进行必要的询问调查。调查时间为工作日全天各类用地对应的人员活动时段。

公交客流量站点调查方案:调查人员在沿线所有公交站点位置,记录到达该站点的每一趟公交车的上、下车人数并观查记录车辆满载率。调查时间为工作日公交全天运营时段。

3) 出行量调查结果统计

① 出行方式选择(见表 3)

② 各类性质用地产生率(见表 4)

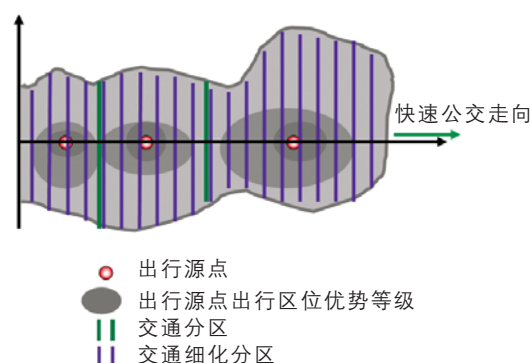


图4 区位优势细化分区示意图

Fig.4 Zonal location-advantage distribution

表1 主要出行源点分布

Tab.1 Distribution of major trip generators

出行源点	出行生成特征
前门	购物、交通换乘、旅游观光
天坛	旅游观光
永定门	交通换乘、旅游观光
木樨园	购物、交通换乘
和义	居住
旧宫	居住
航天一院	工作
南苑机场	对外交通
南苑乡政府	工作

5.4 客流密度预测

1) 出行生成量预测及检验

根据南中轴快速公交沿线覆盖区域各步长范围内各类性质用地建筑密度、平均楼层、容积率及调查统计标定的产生率和出行方式比例，计算得到各微观交通小区的公交出行产生量和吸引量(假定产生量 = 吸引量)。应用交通预测软件CUBE (Trips)进行四阶段法的交通分配，其中交通分布模型采用MVGRAM模块的重力模型；公交分配采用MVPUBM模块^[4]，得到公共交通站点上下车预测值。通过本预测值与实际调查值的比较分析，检验预测结果的可靠性并得出条状交通小区区位优势度以修正预测值。

2) 客流密度预测结果

预测年份为2008年，并假设在所有公交出行吸引中，快速公交承担50%。

结合条状交通小区2008年用地情况及其区位优势度和所隶属的出行源点，重新运用产生率法，得出修正后的出行生成量。将出行生成量沿线路走向单位化，得到客流密度如表5所示。

6 结语

本文在分析总结现有居民出行生成预测方法的适

用性和城市土地利用新特征基础上，引入出行源点的概念并对其产生机理进行分析，进而提出以出行生成预测中的产生率法为基础的“基于出行源点用地的居

表2 出行源点分类及出行调查点位布设
Tab.2 Types of trip generators and trip survey stations

出行源点类别	名称	调查点位
高级	前门、木樨园、旧宫、航天一院	前门全聚德、前门肯德基、前门箭楼、前门瑞蚨祥、前门工商银行、前门大观楼电影院、前门宾馆、木樨园光大银行、木樨园百荣世贸、清河园居住区门口、航天一院各大门
次级	天坛、永定门、和义、南苑机场、南苑乡政府	天桥百货商场、天坛西门、天坛医院、天桥菜市场、中华电影娱乐宫、三营门中学、和义东里居住区门口、南苑机场、南苑乡政府

表3 沿线居民出行方式选择
Tab.3 Travel mode choice of residents housed along the BRT line

出行方式	步行	公交	私人小汽车	出租汽车	自行车(含电动和平板车)
出行比例/%	10	42	17	13	18
平均载客量	1	20	1.2	0.6	0.6
当量小汽车换算系数		1.5	1	1	1

表4 各类性质用地高峰小时行人产生量及单位建筑面积出行产生率
Tab.4 Peak hour trip generation rates per square meter by land-use types

用地性质	调查地点	容积率	面积/m ²	高峰小时行人产生量/(人/h)	建筑面积出行产生率/(人/m ²)
住宅	清河园住区	2.4	6.01× 10 ⁴	7 616	5.28× 10 ⁻²
	和义东里居住区	2.1	4.97× 10 ⁴	5 083	4.87× 10 ⁻²
学校	三营门中学	0.8	2.50× 10 ⁴	1 206	6.03× 10 ⁻²
商贸	前门瑞蚨祥	1.0	2.20× 10 ²	38	1.73× 10 ⁻¹
	百荣世贸	2.1	2.30× 10 ³	321	6.65× 10 ⁻²
	天桥百货	2.0	0.50× 10 ³	42	4.20× 10 ⁻²
	天桥菜市场	1.0	2.40× 10 ²	19	7.92× 10 ⁻²
	前门工商银行	1.6	2.20× 10 ²	24	6.82× 10 ⁻²
金融	木樨园光大银行	1.5	2.50× 10 ²	27	7.20× 10 ⁻²
医院	天坛医院	0.8	1.60× 10 ⁴	748	5.84× 10 ⁻²
旅游	前门箭楼	0.4	0.20× 10 ³	52	6.50× 10 ⁻¹
	天坛	0.8	2.73× 10 ⁶	23 415	1.07× 10 ⁻²
餐饮住宿	前门全聚德	2.0	4.50× 10 ²	171	1.90× 10 ⁻¹
	前门肯德基	1.0	3.40× 10 ²	29	8.53× 10 ⁻²
	前门宾馆	2.2	0.40× 10 ³	13	1.48× 10 ⁻²
文体娱乐	前门大观楼电影院	0.9	6.70× 10 ²	67	9.45× 10 ⁻²

(下转第41页)