

# 城市轨道交通车站客流吸引范围重叠区域划分模型

李俊芳<sup>1</sup>, 杜慎旭<sup>2</sup>, 钱卫力<sup>3</sup>

(1.同济大学道路与铁道工程国家重点实验室, 上海 201804; 2.中铁第四勘察设计院集团有限公司, 湖北 武汉 430063; 3.重庆市交通规划研究院, 重庆 400020)

**摘要:** 现有城市轨道交通车站客流吸引范围划分方法大多未考虑相邻车站间的重叠区域, 导致车站客流预测值偏大。为了提高车站客流预测的准确性, 考虑中间站、首末站、换乘站, 针对不同相邻车站类型提出客流分配量计算公式。基于此构建轨道交通车站客流吸引范围重叠区域划分模型, 并采用日本东京城市轨道交通车站的相关数据标定模型参数。最后, 以上海市轨道交通11号线安亭站及相邻的兆丰路站和汽车城站为例进行模型验证, 结果显示精确度为78.6%。指出产生误差的原因可能在于上海市与东京都的差异以及交通小区数量过少。

**关键词:** 城市轨道交通; 客流预测; 车站客流吸引范围; 重叠区域划分模型

Overlapping Region Partition Model for Urban Rail Transit Station Passenger Attraction

Li Junfang<sup>1</sup>, Du Shenxu<sup>2</sup>, Qian Weili<sup>3</sup>

(1.Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2.China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., LTD., Wuhan Hubei 430063, China; 3.Chongqing Transport Planning Institute, Chongqing 400020, China)

**Abstract:** Most of existing methods for partition of urban rail transit station passenger attraction zones have not taken into account the overlap between neighboring stations, resulting in overestimation of passenger flows at stations. To improve the forecasting accuracy, this paper considers intermediate stations, terminal stations, and transfer stations, and introduce ridership assignment formulations for different types of neighboring stations. Accordingly, this paper develops overlapping region partition model for passenger attraction zones within rail transit stations, and then, estimate key parameters with using Tokyo Prefecture data, Japan. Case study of Anting Station and its neighboring Zhaofeng Road Station and Shanghai International Automobile City Station along Shanghai Metro Line 11 reveals that the forecasting accuracy of proposed model reaches at 78.6%. Moreover, the causes of error, likely, inappropriate parameter estimation due to the differences between Shanghai Municipality and Tokyo Prefecture and the insufficient traffic zones, are also discussed.

**Keywords:** urban rail transit; passenger flow prediction; passenger attraction zones; overlapping region partition model

收稿日期: 2014-08-21

作者简介: 李俊芳(1984—), 女, 湖北襄阳人, 博士研究生, 主要研究方向: 城市轨道交通客流预测。E-mail: 028ljf@tongji.edu.cn

## 0 引言

车站客流预测是城市轨道交通客流预测的重要组成部分, 是确定车站设计规模和接驳交通设施规模的主要依据。城市轨道交通车站的客流来自于其吸引范围内的居住人口和就业人口, 因此, 确定城市轨道交通车站客流吸引范围是车站客流预测的第一步。众多文献在对城市轨道交通车站客流吸引范围的研究中, 总结出较成熟的客流吸引范围划

分方法<sup>[1-8]</sup>。但是这些方法并未考虑相邻车站间客流吸引范围的重叠区域。城市轨道交通车站有别于铁路车站, 属于城市内部公共交通设施, 站间距较小, 相邻车站的客流吸引范围大多存在重叠区域。重叠区域人口对车站客流的贡献率小于非重叠区域, 如果不划分重叠区域, 则会导致车站客流预测值偏大。因此需要寻找合适的方法对重叠区域进行划分, 以得到更准确的城市轨道交通车站客流吸引范围。

文献[1-2]基于最大接驳时间阈值,考虑出发点至道路网络的这段非道路网络出行的存在,采用栅格化地理方法和dijkstra算法求解合理的车站客流吸引范围,两车站的重叠区域按照距离车站最近原则进行划分。文献[9]以不重合的泰森多边形作为车站的客流吸引范围,企图解决重叠区域的客流分配问题。文献[10]采用多项Logit模型分析在各种因素影响下出行者选择某个车站的概率。现有文献仅将道路网络距离作为影响车站客流吸引范围重叠区域划分的因素,分析不够全面。采用非集计模型虽然可以全面总结影响因素,但实际应用中数据统计难度大,实用性差。因此,本文避开出行者个人特征这类微观因素,从集计层面分析影响出行者选择车站的关键因素,在此基础上建立城市轨道交通车站客流吸引范围重叠区域划分模型。

### 1 车站客流吸引范围重叠区域划分模型构建

分析城市轨道交通车站客流吸引范围重叠区域需区分相邻车站的不同类型。

#### 1) 两个中间站。

最简单的情况即两个相邻车站为同一条线路上的中间站(见图1a)。该情况下,客流吸引范围重叠区域的划分主要由重叠区域交通小区到两个车站的道路网络距离决定。

该条件下的客流分配量计算公式为

$$P_{ij} = \left[ \frac{1}{d_{ij}^\lambda} \right] / \left[ \sum_{j=1}^n \frac{1}{d_{ij}^\lambda} \right], \quad (1)$$

式中:  $P_{ij}$  为车站  $j$  与相邻车站客流吸引范围重叠区域内,交通小区  $i$  潜在客流到达车站  $j$  的比例;  $d_{ij}$  为重叠区域内,交通小区  $i$  到车站  $j$  的道路网络距离;  $\lambda$  为与距离相关的待标定参数;  $n$  为交通小区  $i$  所属车站总数。公式(1)表明,重叠区域划分的关键影响因素只有距离,即重叠区域交通小区潜在客流到达各车站的比例与其到各车站的距离成反比。

#### 2) 中间站和首末站。

指两个相邻车站同一条线路上且其中

一个为首末站(见图1b)。因为出行者在首末站获得座位的概率大,能够享受较好的服务,所以重叠区域交通小区潜在客流到达首末站的比例较高。

该条件下的客流分配量计算公式为

$$P_{ij} = \left[ \frac{x^{a_j}}{d_{ij}^\lambda} \right] / \left[ \sum_{j=1}^n \frac{x^{a_j}}{d_{ij}^\lambda} \right], \quad (2)$$

式中:  $x$  为车站是否为首末站相关的待标定参数,其值大于1;  $a_j$  为哑元变量,车站  $j$  为首末站时其值为1,为中间站时其值为0,此时公式(2)即为公式(1)。公式(2)表明,首末站对重叠区域交通小区客流的吸引力更大。

#### 3) 中间站和换乘站。

指两个相邻车站同一条线路上且其中一个为换乘站(见图1c)。相对于非换乘站,换乘站可到达的目的地范围更广,因此重叠区域交通小区潜在客流到达换乘站的比例更大。如果相邻的两个车站均为换乘站且目的地方向数量相同,由于经由市中心的线路发车频率更高,故而此类换乘站对重叠区域交通小区潜在客流更具吸引力。换乘站的重要性可由车站各线路高峰小时单向发车班次总和来体现。

该条件下的客流分配量计算公式为

$$P_{ij} = \left[ \frac{b_j^\beta}{d_{ij}^\lambda} \right] / \left[ \sum_{j=1}^n \frac{b_j^\beta}{d_{ij}^\lambda} \right], \quad (3)$$

式中:  $b_j$  为车站  $j$  高峰小时单向发车班次;  $\beta$  为与车站高峰小时单向发车班次相关的待标定系数。公式(3)表明,重叠区域交通小区潜在客流到达各车站的比例与车站各线路高峰小时单向发车班次总和成正比。

综合以上3种情况,得到车站客流吸引范围重叠区域划分模型

$$P_{ij} = \left[ \frac{x^{a_j} b_j^\beta}{d_{ij}^\lambda} \right] / \left[ \sum_{j=1}^n \frac{x^{a_j} b_j^\beta}{d_{ij}^\lambda} \right]. \quad (4)$$

## 2 模型求解

公式(4)中,参数  $\lambda$ 、 $x$ 、 $\beta$  需要求解。对于模型参数的求解,常用方法即通过

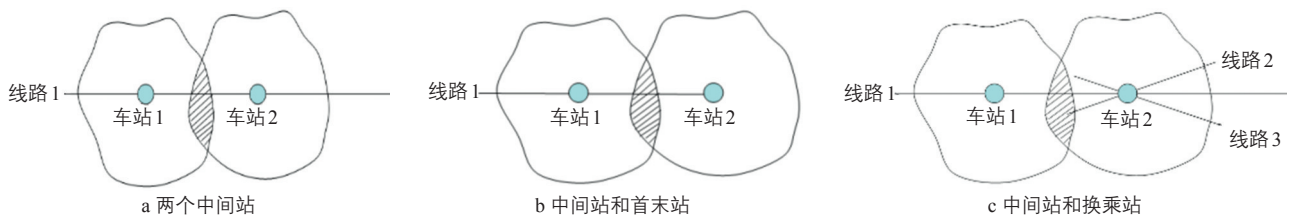


图1 相邻车站类型划分

Fig.1 Classification of neighboring stations

实际数据标定参数。由于难以获得中国的数据，而日本的数据比较全面且容易获得，本文采用日本的数据对模型各项参数进行标定。数据来源于日本2010年大都市圈交通调查，详细记录了日本东京都所有车站早高峰时段进站客流来源于哪些交通小区及具体数量<sup>[11]</sup>。例如，成城学园前站早高峰进站客流来源于交通小区14201，14202，14203，14204等；喜多见车站早高峰进站客流来源于交通小区11221，11222，14201，14202，14203，14204等。

交通小区14201~14204属于成城学园前站和喜多见车站客流吸引范围的重叠区域。表1以14201为例，列举了其所属各车站的名称、到达距离、各车站单向高峰小时发车班次及车站是否为首末站。各交通小区到车站的道路网络距离来源于google地球距离测量功能，车站单向高峰小时发车班次及车站是否为首末站的数据来源于日本各大地铁运营公司官方网站，包括JR运营公司、京王地铁、京成地铁、小田急地铁、东京都交通局、都营地下铁。

本文选取交通小区14201，14202，14203，14204，11202，11203，11206，11221，11222及其所属车站共78组数据，基于Matlab平台，采用基于最小二乘法原理的非线性函数lsqcurvefit对收集到的数据按公式(4)进行拟合。得到结果如下： $\lambda = 2.2629$ ， $x = 1.3663$ ， $\beta = 0.9541$ 。

采用交通小区11223，11224，11225，11226所属车站的相关数据进行检验，最大相对误差为16%，最小相对误差为0.2%，平均相对误差5%，误差均方根为7.2%，说明拟合效果较好。最终得到车站A客流吸引范围重叠区域内，交通小区*i*潜在客流到达车站*j*的比例

$$P_{ij} = \frac{1.3663^{a_i} b_j^{0.9541}}{d_{ij}^{2.2629}} \bigg/ \left[ \sum_{j=1}^n \frac{1.3663^{a_j} b_j^{0.9541}}{d_{ij}^{2.2629}} \right] \quad (5)$$

### 3 实例验证

以上海市轨道交通11号线安亭站为例对上文的模型进行验证。安亭站与上海汽车城站及兆丰路站相邻，3个车站均为中间站。其中安亭站和上海汽车城站早高峰步行客流吸引范围重叠区域主要为位于米泉路和曹安公路交叉口的林家村交通小区，安亭站与兆丰路站早高峰步行客流吸引范围重叠区域主

要为位于兆丰路和曹安公路交叉口区域的凯德都会新峰公寓交通小区(见图2)。

两个交通小区到各车站距离和按照车站客流吸引范围重叠区域划分模型求解得到的潜在客流到达各车站的比例见表2。2014年3月10日，“城市轨道交通车站接驳设施规划项目”对安亭站进站乘客的接驳方式及出发地址进行现场问讯，得到216个早高峰时段采用步行到达安亭站的调查样本，同年8月又分别调查了兆丰路站和上海汽车城站进站乘客的相关情况，得到早高峰时段从凯

表1 交通小区14201所属各车站相关数据

Tab.1 Input data of metro stations within Traffic Analysis Zone 14201

车站	高峰小时单向发车班次/次	距离/km	早高峰进站客流/人	首末站
神保町	57	19	15	否
成城学园前	26	2.6	124	否
喜多见	26	1.7	1 320	否
狛江	26	1.8	223	否
仙川	13	3	41	否
杜鹃丘	13	2	817	否
柴崎	13	2	322	否

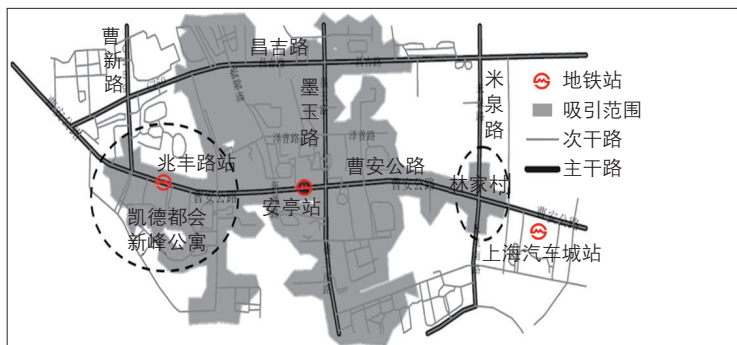


图2 安亭站早高峰时段步行客流吸引范围及重叠区域

Fig.2 Passenger catchup area and overlapping regions of Anting Station during morning peak period

资料来源：上海市轨道交通车站接驳设施规划调查数据。

表2 安亭站重叠区域客流实际调查结果与模型计算结果比较

Tab.2 Comparison of passenger flow between survey and proposed model for the overlapping regions of Anting Station

车站	交通小区	距离/km	实际调查/%	模型结果/%	相对误差/%
兆丰路站	凯德都会新峰公寓	0.59	71.0	60.4	85.1
安亭站		0.90	29.0	39.6	63.4
安亭站	林家村	1.59	66.7	59.1	88.6
上海汽车城站		1.08	33.3	40.9	77.2
平均值					78.6

德都会新峰公寓出发,步行到达兆丰路站和安亭站的客流人数,以及从林家村出发步行到达上海汽车城站和安亭站的客流人数(见表2)。

综合2个交通小区潜在客流的划分结果,得到划分模型的相对误差为78.6%,误差均方根为9.21。原因可能在于重叠区域划分模型中的参数是以日本东京都的车站数据为基础拟合得到的。尽管东京都和上海市在城市规模、城市功能、交通结构和客流特征方面具有很大相似性,但是仍存在差异。此外,本研究只在两个交通小区中实验了该模型,其结果的误差并不能代表上海市的整体情况。如果采用上海市轨道交通车站相关数据对模型进行拟合得到参数,再对案例进行计算,结果精度有望提高。

#### 4 结论

城市轨道交通车站客流吸引范围重叠区域划分对车站客流预测非常重要。而影响重叠区域划分的因素包括重叠区域交通小区到车站的距离、车站是否为首末站及车站单向高峰小时发车班次总和。在此基础上,建立城市轨道交通客流吸引范围重叠区域划分模型。现阶段的研究结果表明,通过日本东京都城市轨道交通车站的相关数据拟合得到的模型参数在应用于上海市轨道交通设施时存在较大误差。采用上海市轨道交通车站的相关数据对模型进行参数拟合是下一步研究的方向。

模型参数还可应用于城市其他轨道交通车站的客流吸引范围重叠区域划分研究。根据某一城市轨道交通数据拟合得到的模型参数可能并不适用于其他城市。因此,为提高模型参数的准确度并降低误差,宜尽量利用城市自身轨道交通数据进行拟合,并将结果应用于该市的其它轨道交通设施。

参考文献:

References:

[1] Upchurch C, Kuby M, Zoldak M, et al. Using GIS to Generate Mutually Exclusive Service Areas Linking Travel on and off a Network[J]. *Journal of Transport Geography*, 2004, 12(1): 23-33.

[2] 郭鹏, 陈晓玲. 基于GIS的城市轨道交通站点客流辐射区域算法[J]. *中国铁道科学*, 2007, 28(6): 128-132.

Guo Peng, Chen Xiaoling. Algorithm for Gen-

erating the Radiation Service Areas of Passenger Flow at Urban Mass Transit Stations Based on GIS[J]. *China Railway Science*, 2007, 28(6): 128-132.

[3] 杨京帅, 张殿业. 吸引范围几何分析法推算轨道交通线网合理规模[J]. *铁道运输与经济*, 2008, 30(1): 67-70.

Yang Jingshuai, Zhang Dianye. Estimate Rational Size of URT Route Network Based on Attraction Scope Gained through Geometric Analysis Method[J]. *Railway Transport and Economy*, 2008, 30(1): 67-70.

[4] 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.

[5] 陈依仪, 肖为周. 苏州市轨道交通1号线开发利益影响范围研究[J]. *武汉理工大学学报(交通科学与工程版)*, 2012, 36(4): 717-720, 725.

Chen Yiyi, Xiao Weizhou. Study of Impact Area of Urban Rail Transit: A Suzhou Example [J]. *Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science & Engineering)*, 2012, 36(4): 717-720, 725.

[6] 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]. *Railway Transport and Economy*, 2014, 36(6): 77-81.

[7] 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): 1058-1063, 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): 1058-1063, 1095.

[8] O'Neil W, Ramsey D, Chou J. Analysis of Transit Service Areas Using Geographic Information Systems[J]. *Transportation Research Record*, 1992, 1364: 131-138.

[9] Debrezion G, Pels E, Rietveld P. Modelling the Joint Access Mode and Railway Station Choice[J]. *Transportation Research Part E*, 2009, 45(1): 270-283.

[10] 東京都総務局統計部産業統計課経済構造統計係. 区市町村、町丁目、産業大分類別事業所数及び従業者数[EB/OL]. 2012 [2013-10-10]. <http://www.toukei.metro.tokyo.jp/jigyoku/2006/jg06v20100.htm>.