

## 广州地铁杨箕站通道服务水平分级方法研究\*

曹志威<sup>1,2</sup> 黄肇红<sup>4</sup> 秦 勇<sup>1,3</sup> 麦颖青<sup>4</sup> 郑驰宇<sup>4</sup> 谢征宇<sup>1,2</sup>

(1. 北京交通大学轨道交通控制与安全国家重点实验室,100044,北京;

2. 北京交通大学交通运输学院,100044,北京;

3. 北京市城市交通信息智能感知与服务工程技术研究中心,100044,北京;

4. 广州地铁集团有限公司,510330,广州//第一作者,博士研究生)

**摘 要** 针对城市轨道交通车站通道设施服务水平分级问题,提出了一种基于高斯混合模型的服务水平分级方法。该方法以通道人均占用空间为分级标准,基于实时客流的流量、密度和速度,建立高斯混合模型,利用模型对通道设施服务水平进行分级。以广州地铁杨箕站的实际客流数据对模型进行验证,证明了模型的实用性,为车站通道设施服务水平划分及客流引导提供了依据。

**关键词** 城市轨道交通;车站;通道服务水平;高斯混合模型

**中图分类号** U231.4;F530.7

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2020.07.048

## Classification of Passage LOS at Guangzhou Metro Yangji Station

CAO Zhiwei, HUANG Zhaohong, QIN Yong, MAI Yingqing, ZHENG Chiyu, XIE Zhengyu

**Abstract** In order to classify the level of service(LOS) for urban rail transit station passage facilities, a classification method based on Gaussian mixture model is proposed. In which the per capita space of passages is taken as the classification standard, and a Gaussian mixture model of LOS for passage facilities is established based on the passenger flow, density, and speed in time. The model is used to classify the passage LOS. Finally, the actual data of passenger flow at Guangzhou metro Yangji Station is used to verify the model, and confirm the practicability of the model. This research provides a basis for the classification of LOS and passenger flow guidance of the station passage facilities.

**Key words** urban rail transit; station; passages service level; Gaussian mixture model

**First-author's address** State Key Lab of Rail Traffic Control & Safety, Beijing Jiaotong University, 100044, Beijing, China

随着市民对出行的舒适性和安全性要求的提高,建立合理、科学的城市轨道交通车站通道设施服务水平等级显得至关重要。在广州地铁城市轨道交通系统安全与运维保障国家工程实验室建设项目——客流组织与综合运维保障技术研究中,车站通道设施服务水平划分为4个等级。而目前其他国家多采用6个等级的服务水平标准,无法直接借鉴使用。本文基于广州地铁杨箕站的实际运营数据,通过建立高斯混合模型对通道设施服务水平进行分级。将本文得到的服务水平等级划分方案与美国通道设施服务水平等级标准进行对比分析,证明该分级方案的实用性,为车站通道设施服务水平划分及客流引导提供了依据。

## 1 研究背景

### 1.1 杨箕站概况

杨箕站是广州地铁1号线和广州地铁5号线的换乘站(见图1),是一座地下车站,两线均采用岛式站台,位于越秀区中山路。车站邻近商业地区,上下班时人流量较大,经常发生拥堵情况,在早高峰和晚高峰需要进行客流引导。杨箕站换乘距离较长,换乘通道狭窄,换乘时间长达7 min。图2为1号线和5号线的换乘通道,最窄处仅1.9 m。

### 1.2 通道服务水平研究方法

目前,国内外确定人行道或车站通道服务水平的方法可以分为基于观测统计的服务水平划分方法和基于数学模型的服务水平划分方法。前者基于长时间大量的观测统计,以行人占用空间为标准,对行人设施服务水平进行分级,指出了行人流的密度和速度的关系。该类方法具有可靠性高的

\* 广州地铁城市轨道交通系统安全与运维保障国家工程实验室建设项目(T17L00801)

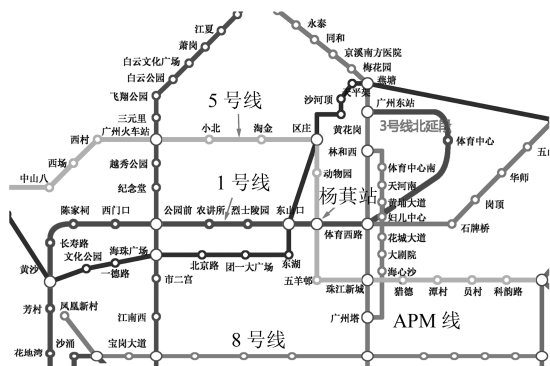


图1 杨箕站位置示意图

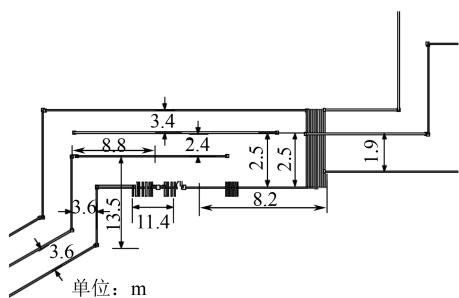


图2 广州地铁1号线和5号线换乘通道示意图

优点,但需要进行长时间大量的观测统计,我国进行此方面研究的学者较少。后者根据建立数学模型形式的不同,又分为从行人的安全性及舒适性角度建立数学模型和借鉴机动车流模型建立数学模型两种方法。该类方法需要一定数量的数据拟合,对数学模型的要求较高,拟合度越高,得到的数学模型越好。本文采用后者进行研究。

## 2 高斯混合模型

本文针对数学模型的拟合误差,提出了一种基于实时客流的流量、密度和速度数据的高斯混合模型,旨在通过建立拟合度更高的数学模型来减少拟合误差,以划分出更加准确的服务水平等级。

在实际运营中,客流密度与人均占用空间均服从正态分布。本文选取 General model Gauss 2 建立的数学模型如下:

$$f(x) = a_1 e^{-\left(\frac{x-b_1}{c_1}\right)^2} + a_2 e^{-\left(\frac{x-b_2}{c_2}\right)^2} \quad (1)$$

式中:

$a_1, a_2$ ——拟合参数,  $m/s$  或  $人/(s \cdot m)$ ;

$b_1, b_2, c_1, c_2$ ——拟合参数,  $人/m^2$ ;

$x$ ——客流密度,  $人/m^2$ ;

$f(x)$ ——通道断面内的客流速度或客流量,  $m/s$  或  $人/(s \cdot m)$ 。

### 2.1 数据获取

本文选取广州地铁杨箕站内的一段换乘通道作为研究对象,交通调查时间选择在2018年4月工作日的早高峰和非高峰。通过对监控视频进行图像处理,获得乘客通过通道的单位宽度流量、密度及速度数据。监控图像如图3所示。



图3 杨箕站早高峰监控图像

通过对视频图像进行处理,识别人群中的682人,保留100组关于流量、密度和速度的统计值。

### 2.2 模型拟合

利用客流数据对模型  $f(x)$  进行拟合,得到图4和图5的结果。

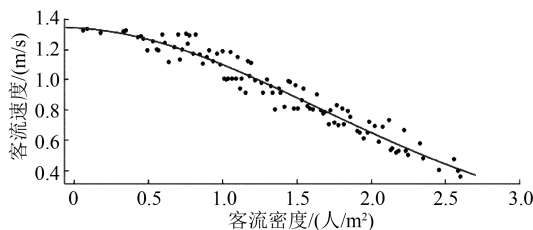


图4 客流速度-客流密度拟合曲线图

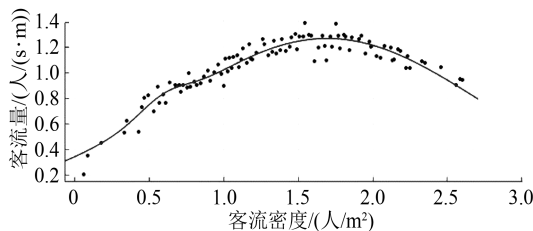


图5 客流量-客流密度拟合曲线图

由图4和图5可知,客流速度-客流密度模型的拟合度  $R$  达到了0.94,客流量-客流密度模型  $R$  达到了0.92。说明该模型拟合效果很好。

本文还建立了其他类型的高斯混合模型,拟合度如表1所示。

由表1可知,更高阶的混合模型并没有有效提高模型拟合度,因此可利用本文提出的高斯混合模型建立城市轨道交通车站通道设施客流数学模型如下:

表 1 高斯混合模型拟合度对比

高斯混合模型类型	R	
	客流量-客流密度	客流量-客流密度
General model Gauss 1	0.923 2	0.884 5
General model Gauss 2	0.940 2	0.918 1
General model Gauss 3	0.940 4	0.920 6
General model Gauss 4	0.937 0	0.922 4

$$v = 1.34 \times e^{-(\frac{K+0.1209}{2.492})^2} \tag{2}$$

$$Q = 0.104 \times e^{-(\frac{K-0.5941}{0.2287})^2} + 1.268 \times e^{-(\frac{K-1.691}{1.48})^2} \tag{3}$$

式中：

- $v$ ——行人速度, m/s;
- $K$ ——客流密度, 人/m<sup>2</sup>;
- $Q$ ——单位宽度客流量, 人/(m·s)。

3 通道服务水平分级

3.1 服务水平描述

基于速度和密度的关系,考虑乘客感知,将服务水平分为 4 个级别,分别是“畅通”(A)、“轻度拥堵”(B)、“中度拥堵”(C)和“严重拥堵”(D)。分级描述如表 2 所示。

表 2 通道服务水平分级描述

服务水平	分级描述
畅通(A)	可以自由移动,而不会干扰他人,能够同向或者横向穿越,逆向行走不受影响
轻度拥堵(B)	可以干扰其他人做有限制的移动,在同向或者横向穿越时存在冲突,逆向行走冲突频繁
中度拥堵(C)	移动受到限制,他人干扰较大,同向或者横向穿越困难,逆向行走困难
严重拥堵(D)	通行缓慢,存在各种冲突,无法进行超越或逆向行走

3.2 服务水平阈值求解

3.2.1 A 级与 B 级的阈值确定

根据分级描述,A 级与 B 级的区别在于乘客是否可以自由移动,即客流速度是否受客流密度影响。因客流量和客流密度数据精度高,所以采用客流量-客流密度函数分析。根据交通流三要素之间的关系,即  $v = Q/K$ ,得知客流量-客流密度曲线的导数为客流速度。通过对式(3)求导,可得到导数方程。

通过计算可得,当客流密度小于 0.47 人/m<sup>2</sup>时,导函数基本保持不变,可以认为在此客流密度下,通道处于畅通服务水平,乘客可以自由移动,所以 A 级与 B 级的阈值为 0.47 人/m<sup>2</sup>。

3.2.2 B 级与 C 级的阈值确定

根据分级描述,B 级与 C 级的区别在于乘客受

到干扰的严重程度,即客流速度出现明显下降。对式(3)求二阶导数,即客流速度的变化率,可得到二阶导数方程。

通过计算得出,当客流密度为 0.70 人/m<sup>2</sup>时,二阶导数明显变小,可以认为在此客流密度下,客流速度出现明显下降,故 B 级与 C 级的阈值为 0.70 人/m<sup>2</sup>。

3.2.3 C 级与 D 级的阈值确定

当通道服务水平处于 D 级时,客流密度为最大值,表明通道客流处于最大流量。对客流量-客流密度函数求最大值,可得到此时的客流密度为 1.69 人/m<sup>2</sup>,即为 C 级与 D 级的阈值。

3.3 通道服务水平分级方案

将上文分析计算得到的结果代入式(3),又因为客流密度与人均占用空间成反比,可得到客流密度、人均占用空间和客流量的分级阈值。通道服务水平分级方案如表 3 所示。

表 3 通道服务水平分级方案

服务水平	客流密度/(人/m <sup>2</sup> )	人均占用空间/(m <sup>2</sup> /人)	客流量/(人/(min·m))
畅通(A)	<0.47	>2.13	<43
轻度拥堵(B)	0.47≤·<0.70	1.43<·≤2.13	43≤·<54
中度拥堵(C)	0.70≤·≤1.69	0.59≤·≤1.43	54≤·≤76
严重拥堵(D)	>1.69	<0.59	>76

3.4 结果分析

将《美国公共交通通行能力和服务质量手册(第二版)》(简称 TCQSM(II))通道服务水平分级描述与本文服务水平分级方案进行对比,可以发现,在理论上,TCQSM(II) A 和 B 级对应本文 A 级,C 级对应本文 B 级,D 和 E 级对应本文 C 级,F 级对应本文 D 级。

将上文利用数学模型得到的分级方案和 TCQSM(II)中的分级方案进行互相对比,如图 6 所示。

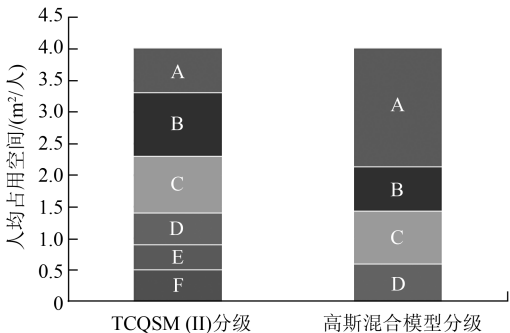


图 6 不同服务水平分级方案对比示意图

将本文数学模型分级与 TCQSM(II) 分级进行对比,可以发现分级对应情况与理论分析大致相同。两者差异为本文 A 级服务水平下限阈值比 TCQSM(II) 中 B 级下限阈值略小。其原因一方面是因为中西方存在文化差异,中国人对个人安全空间的需要低于西方人的需要,所以在人均空间较大时中国人对个人空间的要求小;二是因为中国人与西方人体型存在差异,西方人更加魁梧而对空间要求更高。

## 4 结语

本文在分析国内外地铁车站通道服务水平研究的基础上,提出了基于高斯混合模型的服务水平分级方法。利用广州地铁杨箕站的实时客流数据建立高斯混合模型,并获得通道服务水平分级方案。将本文高斯混合模型得到的服务水平等级划分方案与 TCQSM(II) 进行对比分析,证明该分级方案的实用性,为车站通道设施服务水平划分及客流引导提供了依据。同时,本方法还可以运用在城市轨道交通车站其他通行区域,比如自动扶梯、站台的流通区域等,对我国城市轨道交通车站设施服务水平研究有一定的理论意义和实用价值。

## 参考文献

- [1] Transportation Research Board. Highway Capacity Manual[M].

Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2000.

- [2] Transportation Research Board. Transit capacity and quality of servicemanual[M]. Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2005.
- [3] BRUCE W, LANDIS P E, RUSSELL M, et al. Modeling the roadside walking environment: pedestrian level of service[J]. Transportation Research Record, 2001, 1773(1): 82.
- [4] 谭丹丹, 王伟, 陆建, 等. 人行道行人服务水平评价方法研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2007(5): 74.
- [5] 边扬, 王伟, 陆建. 人行道行人服务水平评价方法[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2007(4): 695.
- [6] SAHANI R, OJHA A, BHUYAN P K. Service levels of sidewalks for pedestrians under mixed traffic environment using Genetic Programming clustering[J]. Ksce Journal of Civil Engineering, 2017(7): 2879.
- [7] 曹守华. 城市轨道交通乘客交通特性分析及建模[D]. 北京: 北京交通大学, 2009.
- [8] 李洪旭. 城市轨道交通车站设施设备与整体服务水平分级研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2013.
- [9] 王久亮. 城市轨道交通车站设施设备服务水平分级与能力计算方法研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2011.
- [10] MA J, LOSM, SONG W G, et al. Modeling pedestrian space in complex building for efficient pedestrian traffic simulation[J]. Automation in Construction, 2013(1): 25.

(收稿日期: 2018-08-11)

## 时速 600 km 高速磁浮试验样车成功试跑

6月21日,由中车四方股份公司承担研制的时速600 km高速磁浮试验样车在同济大学嘉定校区磁浮试验线上成功试跑。此次试验样车试跑成功,也让多方期待:高速磁浮时代真的要来了吗?

我国对磁浮技术的探索没有停。近几年,长沙和北京相继建成最高时速100 km的中低速磁浮线,且实现技术自主。如今研发的高速磁浮时速超越中低速磁浮线和当年规划的沪杭磁浮项目,达到时速600 km。据中车四方股份公司介绍,时速600 km高速磁浮交通系统的研制,是科技部国家重点研发计划“先进轨道交通”重点专项课题,汇集国内高铁、磁浮领域优势资源,联合30余家企业、高校、科研院所共同攻关,目的是攻克高速磁浮核心技术。区别于上海磁浮线购买德国技术的模式,此次我国要研制具有自主知识产权的时速600 km高速磁浮工程化系统,形成我国高速磁浮产业化能力。

同济大学教授孙章说:“在目前的技术条件下,高铁受到空气阻力、噪声、粘着极限速度等影响,很难提升到更高的合理速度;但由于磁浮技术能使列车悬浮起来前进,摩擦力小、噪声低、车体矮,可以实现更高速度。我国建设的高铁最高运营时速350至400 km,民航客机巡航速度一般是每小时800~900 km。高速磁浮恰恰填补了二者间的空白,从而形成航空、高速磁浮、高铁等高速交通的梯度,满足不同人群的出行需求”。此前,磁浮技术一度被人误解会产生极大的辐射污染。然而,经过多位业内专家的试验论证,磁浮列车的辐射值较小。比如第三方公司对长沙磁浮线实地测量的数据显示:磁浮列车经过时离线路1 m左右辐射值为10  $\mu$ T(微特斯拉),小于微波炉辐射值;3 m左右辐射值为1  $\mu$ T,小于电吹风辐射值;5 m左右辐射值低至0.3  $\mu$ T,都符合国家标准要求。但按现有技术,高速磁浮的技术装备成本高,造价也会高于高铁。据孙章计算,高速磁浮造价大约是高铁的一倍半。即使在高速磁浮技术已走在前列的日本,高速磁浮的成本也是高于高铁的,孙章说:“不过日本有政策,如果修建线路时两种技术的造价相差不大,会鼓励采用磁浮技术,同时有相关科技基金支持”。

(摘自2020年6月22日《北京日报》,记者 曹政报道)