

自行车-行人共享道服务水平研究

Level of Service Model on Urban Cycle-Pedestrian Shared Road

於昊¹, 陈峻², 谢之权³

(1. 南京市城市与交通规划设计研究院, 南京 210008; 2. 东南大学交通学院, 南京 210096; 3. 上海济安交通工程咨询有限公司, 上海 200092)

Yu Hao¹, Chen Jun², Xie Zhiqun³

(1. Nanjing Institute of City & Transport Planning Co., Ltd., Nanjing 210008, China; 2. School of Transportation, Southeast University, Nanjing 210096, China; 3. Shanghai Ji'an Transportation Consulting Co., Ltd., Shanghai 200092, China)

摘要: 以不存在物理分隔或高差的步行和自行车共享道为研究对象, 定量描述自行车和步行交通混合运行的服务水平。在分析共享道服务水平影响因素的基础上, 设计实验方案, 选择南京市5条典型共享道开展交通调查。以实测数据为基础, 基于道路使用者对道路运行状况的感知评价, 建立包含共享道有效宽度、障碍物密度、交通冲突强度等显著影响指标的共享道服务水平模型, 并提出服务水平的6级划分标准。模型敏感性分析结果表明, 随着共享道有效宽度的增加和自行车流量的降低, 共享道服务水平提高, 主向和对向行人比例变化对自行车运行状态有显著影响。

Abstract: In order to precisely measure the level of service (LOS) of urban cycle-pedestrian shared road, this paper focuses on urban roads without physical separation or height difference. Firstly, by summarizing some influencing factors about the mixed traffic flow, the paper designs experimental scenarios. Five typical shared-roads in Nanjing are then selected for the specific traffic investigation. Based on the collected traffic flow information and the road users' perception, this paper sets up the LOS models considering the effective road widths, density of road hindrances and intensity of traffic conflicts, based on which 6 division standard of service level are proposed. The results of sensitivity analysis show that the service level of mixed traffic flow would improve with the increment of road's effective widths and decrease of main cycle flow, while the proportions of main/opposing pedestrian flow have significant impact on cycle's running status.

关键词: 自行车; 行人; 共享道; 模型; 交通冲突; 服务水平

Keywords: bicycle; pedestrian; shared-use road; modal; traffic conflicts; level of service

中图分类号: U491.1⁺12

文献标识码: A

收稿日期: 2010-12-09

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目“城市综合交通系统运行瓶颈诊断技术研究”(2006BAJ18B01-05); 国家自然科学基金项目“基于机动车辆停放的动态交通作用分析理论及资源配置优化方法”(51078084)。作者简介: 於昊(1972—), 男, 江苏海安人, 硕士, 高级城市规划师, 主要研究方向: 城市综合交通系统规划与管理。E-mail: yuhao@nctcp.com

0 引言

步行和自行车交通是中国城市居民出行的重要组成部分。然而, 随着机动化的快速发展, 越来越多的城市让有限的道路资源服务于机动车辆, 甚至限定自行车只能在人行道通行, 以致出现了许多自行车和行人混行的情况, 本文称其为自行车-行人共享道。服务水平(LOS)是对道路设施运行状况或服务状况及使用者感受的综合描述^[1], 提高共享道行人和自行车交通的服务水平, 对于改善非机动车环境、增加道路空间利用率、提高交通安全水平具有十分重要的意义。

已有对服务水平的相关研究主要针对各种独立的交通方式。文献[2-3]通过定义自行车交通冲突数(或事件数)对自行车交通运行情况进行量化研究, 包括反向交通流相遇次数和同向交通流超越次数两大类, 在道路宽度一定的条件下, 冲突数越多, 交通运行质量越低; 文献[4]从行人交通角度描述了特定步行设施的服务能力; 文献[5-6]以行人、自行

车、慢跑者、滑冰者等为对象,建立了低流量条件下交通冲突数计算方法。在中国,行人-自行车共享道主要服务于行人、自行车和电动自行车,交通方式的组成和运行特性均与国外存在显著差异,因此,国外的研究成果无法解释其规律和复杂性,故本文就自行车-行人共享道服务水平展开研究。

1 共享道服务水平影响因素分析

1.1 定性分析

自行车-行人共享道服务水平可以从交通设施和交通运行特性两方面描述^[7]。

1) 共享道交通设施因素。

①共享道有效宽度 W_e 。 $W_e = W - 2W_a$, 式中: W 为共享道的实际测量宽度/m; W_a 为侧向净空宽度预留的安全距离/m,一般取 0.25 m。②共享道障碍物密度 O_b /(个·(100 m)⁻¹)。障碍物指人行道上除绿化带以外干扰行人通行的一切事

物,如报刊亭、不规范摊点、垃圾筒、电线杆、停车等。

2) 共享道交通运行特性。

①步行速度、流量和比例构成。②自行车车速、流量和比例构成。③电动自行车车速、流量和比例构成。④交通方式之间的相互干扰程度,本文以非机动车冲突数和冲突强度^[8]对干扰程度进行量化。交通冲突数定义为:给定共享道上,单位时间、单位长度共享路段内各种交通方式发生相互超越和相遇且对交通运行产生明显影响的事件次数(包括电动自行车超越自行车冲突、自行车超越自行车冲突、自行车超越行人冲突 $TC_{cb/ped}$ 和自行车相遇对向行人冲突 TC_{cb-ped} 等),单位为次·s⁻¹·m⁻¹或次·h⁻¹·km⁻¹;交通冲突强度定义为:单位时间、单位面积共享道内发生交通冲突的次数,其值为交通冲突数除以道路宽度,单位为次·s⁻¹·m⁻²或次·h⁻¹·km⁻²。

1.2 定量分析

为获得共享道运行状态及各类型使用者感知的量化数据,本文选取南京市5条典型路段作为实验对象,路段宽度为3.5~7.1 m,长度为90~185 m,基本情况见表1。

调查内容主要由三部分组成:1)在各路段选择典型断面,获取共享道不同时段(7:00—10:00, 15:30—18:30)的行人、自行车和电动自行车流量。2)以自行车为测试车,测试人员在调查时段内选择高峰和平峰期分别连续骑行,通过摄像机记录对应的实时交通运行状态,获取交通冲突次数。3)在一周内对自行车骑行者进行运行状态感知调查,累计收集了由38位被调查人员参加的316组视频片段感知数据。为便于分析,将自行车骑行者的感知评价进行量化,见表2,感知评价得分分布见图1。

按照自行车、行人流量和障碍物密度的差异,以5 min为间隔对获取的视频片段进行分组编号,共得到125组数据,分别计算每组数据对应的电动自行车超越自行车交通冲突强度、自行车超越自行车交通冲突强度、自行车超越行人交通冲突强度 $TCS_{cb/ped}$ 和自行车相遇对向行人交通冲突强度 TCS_{cb-ped} ^[7]。进而根据被调查人员的感知

表1 共享道基本情况调查

Tab.1 Basic information about surveyed shared-use roads

编号	路段名称	实测宽度/m	长度/m	道路等级和环境
1	珠江路(北侧)	4.0	150	主干路,商业街
2	长江路(北侧)	7.1	185	主干路,金融,行政
3	太平北路(西侧)	6.5	90	主干路,金融,酒店
4	北京东路(北侧)	3.6	120	主干路,休闲
5	成贤街(西侧)	3.5	104	支路,饭店

表2 自行车骑行者感知评价等级量化表

Tab.2 Classification of cyclists' perception evaluation

感知评价等级	很好	好	一般	不好	很不好
得分	5.0	4.0	3.0	2.0	1.0

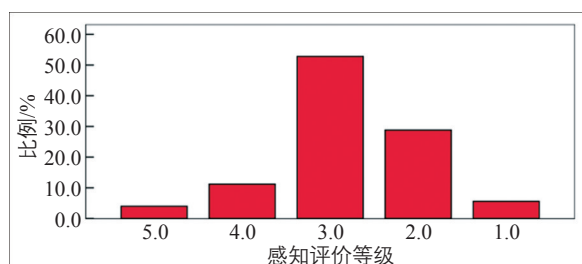


图1 共享道自行车骑行者感知评价得分分布图

Fig.1 Proportion of cyclists' perception distribution on shared use roads

评价结果^[9]，采用 Pearson 偏相关分析方法对共享道服务水平与各影响因素进行相关计算，结果见表 3。共享道有效宽度、障碍物密度、自行车超越行人交通冲突强度和自行车相遇对向行人交通冲突强度的统计检验相伴概率均小于 0.01，说明这四因素在显著性水平 0.01 上与共享道服务水平显著相关；而电动自行车超越自行车交通冲突强度和自行车超越自行车交通冲突强度的统计检验相伴概率均大于 0.05，不能通过临界值为 0.05 的相关检验，认为相关性不显著。因此，可以确定共享道服务水平的主要影响因素为 W_e ， O_b ， $TCS_{cb/ped}$ 和 TCS_{cb-ped} 。

2 服务水平模型的建立

基于使用者对共享道感知的评价，确定共享道服务水平的基本模型为^[8]

$$Y = u + X_1 + X_2, \tag{1}$$

式中： Y 为共享道服务水平，也是使用者对共享道设施及设施运行状况的感知评价量化指标； u 为回归参数； X_1 为道路设施属性的影响； X_2 为道路运行状况的影响。

由式(1)和影响因素选择结果，确定共享道服务水平模型

$$SUPLOS = a_1 \frac{1}{W_e} + a_2 O_b + a_3 TCS_{cb/ped} + a_4 TCS_{cb-ped} + u, \tag{2}$$

式中： $SUPLOS$ 为共享道服务水平； a_1 ， a_2 ， a_3 和 a_4 为模型系数。

采用多元逐步回归分析方法，得到基于自行车的共享道回归模型参数标定结果和统计回归指标，分别见表 4 和表 5。

综合以上分析结果，建立基于自行车的共享道服务水平模型：

$$SUPLOS = 4.463 + 1.860 \frac{1}{W_e} - 0.009 O_b - 0.008 TCS_{cb/ped} - 0.002 TCS_{cb-ped}. \tag{3}$$

模型回归方程的判定系数为 0.546，F 统计值为 35.785，可以通过显著性水平为 0.01 的 F 检验。

文献[7，9]建立了城市自行车-行人共享道的交通冲突强度模型，其中共享道上自行车超越行人和自行车相遇对向行人的冲突强度表达式分别为

$$TCS_{cb/ped} = \frac{TC_{cb/ped}}{W_e} = \frac{202.903 + 0.492 q_{ped}}{W_e}, \tag{4}$$

式中： q_{ped} 为主向行人流量/(人次·h⁻¹)。

$$TCS_{cb-ped} = \frac{TC_{cb-ped}}{W_e} = \frac{155.884 + 1.665 q_{pedo}}{W_e}, \tag{5}$$

式中： q_{pedo} 为对向行人流量/(人次·h⁻¹)。

综合式(3)，(4)和(5)，共享道服务水平模型可表达为

$$SUPLOS = 4.463 - 0.009 O_b - 0.075 \frac{1}{W_e} - 0.004 Q_{ped} - 0.003 Q_{pedo}, \tag{6}$$

式中： Q_{ped} 为共享道上单位有效宽度行人流量/(人次·h⁻¹·m⁻¹)； Q_{pedo} 为共享道上单位宽度对向行人流量/(人次·h⁻¹·m⁻¹)。

由式(3)和式(6)可知：1)随着 Q_{ped} ， Q_{pedo} 以及障碍物密度的增加，共享道服务水平呈下降趋势，而共享道有效宽度的增加有助于提高自行车骑行者的舒适度和自由度；2)影响因素对服务水平影响程度的高低排序依次为：共享道有效宽度、障碍物密度、自行车超越行人交通冲突强度(或 Q_{ped})和自行车相遇对向行人交通冲突强度(或 Q_{pedo})。

表 3 共享道服务水平与各影响因素的偏相关分析结果

Tab.3 Partial correlation analysis of different factors influencing the level of service on shared use paths

影响因素	偏相关系数	相伴概率	自由度
共享道有效宽度	0.216	0.002	117
障碍物密度	-0.272	0.003	117
电动自行车超越自行车交通冲突强度	-0.065	0.482	117
自行车超越自行车交通冲突强度	-0.042	0.649	117
自行车超越行人交通冲突强度	-0.475	0.000	117
自行车相遇对向行人交通冲突强度	-0.334	0.000	117

3 服务水平等级划分

共享道服务水平等级划分应与使用者感知评价的量化等级保持一致。表6给出了两者的对应关系,并将服务水平等级的中间值(服务水平C和D的边界)与感知评价量化等级的中间值(3.0)相对应,且服务水平的两个端点(A和F)占据了感知评价量化等级的大部分范围,这主要是因为调查参与者对视频片段进行的评价大部分趋于中间值(3.0),只有很少的参与者对视频片段进行评价时评了很不好(1.0)或者很好(5.0)。

基于对共享道设施属性、运行状况和使用者的感知评价,以及参考文献[1]对机动车服务水平的状态表述,将共享道的各级服务水平描述如下:

A: 很好。自行车骑行处于最优状态,在保证较高的骑行服务质量的同时,还有充足的道路空间供其他方式出行者使用,各方式之间几乎不

发生交通冲突。

B: 好。自行车骑行处于较好的状态,在保证较高的骑行服务质量的同时,还有一定的道路空间供其他方式出行者使用,各方式之间交通冲突的概率较小。

C: 一般。共享道能满足自行车基本的骑行需求,其宽度对当前需求来说已经达到最小,虽然可以继续容纳一定量的自行车,但是如果行人流量持续增加,出行者之间的交通冲突将会增多,自行车骑行者的舒适度开始降低。

D: 不好。自行车流量接近共享道的通行能力,流量稍有增加就会导致拥堵,自行车速度开始下降;此种情况下,任何类型出行者的增加都会使交通冲突增多、共享道的服务水平显著下降,且有部分自行车溢出共享道。建议此时分设自行车道和人行道。

E: 很不好。自行车流量达到共享道的通行能力,自行车速度显著下降,出行者之间交通冲突较多,并且有更多的自行车溢出共享道。

F: 极差。无论是对于自行车骑行者还是行人,共享道的服务质量都降到了极点,出行者之间的交通冲突显著,共享道运行极为艰难,不能容纳更多的出行者。

表4 基于自行车的共享道回归模型参数标定结果

Tab.4 Results of the cyclists' regression model parameters calibration on shared use paths

模型系数	系数值	t统计值	相伴概率
u	4.463	16.919	0.000
a_1	1.860	1.985	0.049
a_2	-0.009	-2.828	0.006
a_3	-0.008	-5.744	0.000
a_4	-0.002	-3.728	0.000

表5 基于自行车的共享道模型统计回归指标和F检验

Tab.5 Results of the R-squared test and F test for cyclists' regression model on shared use paths

判定系数 R^2	F统计值	相伴概率
0.546	35.785	0.000

表6 使用者感知评价量化等级与服务水平的对应关系

Tab.6 Corresponding relationship between cyclists' perception classification and level of service

感知评价量化等级	服务水平等级
$X \geq 4.0$	A
$3.5 \leq X < 4.0$	B
$3.0 \leq X < 3.5$	C
$2.5 \leq X < 3.0$	D
$2.0 \leq X < 2.5$	E
$X < 2.0$	F

4 服务水平敏感性分析

为了进一步分析各种因素对自行车-行人共享道服务水平的影响程度,将共享道行人交通组成按照典型比例、高比例和低比例三种情形,在不同共享道有效宽度和自行车流量条件下进行服务水平分析。三种情形分别为:1)高行人交通组成:主向行人占共享道总流量的比例为75%,对向行人占主向交通通过量的比例为65%。2)典型行人交通组成:主向行人占共享道总流量的比例为40%,对向行人占主向交通通过量的比例为35%。3)低行人交通组成:主向行人占共享道总流量的比例为15%,对向行人占主向交通通过量的比例为10%。一般来说,共享道周围为商业街、步行街、美食街等商业性用地时,取较高行人比例;共享道周围为金融、办公用地时,取典型行人比例;共享道周围为娱乐休闲用地时,取

较低行人比例。

将障碍物密度设为定值： $25\text{个}\cdot(100\text{ m})^{-1}$ ，利用式(6)，可计算出三种情形下自行车-行人共享道服务水平、总流量和有效宽度的关系，见图2。可以看出：1)无论何种行人交通组成，随着行人-自行车共享道有效宽度的增加和自行车流量的降低，共享道服务水平均呈提高趋势。2)对于有效宽度和自行车流量相同的共享道，其服务水平从高到低依次为低行人交通组成、典型行人交通组成、高行人交通组成，说明行人比例对服务水平有非常重要的影响。3)同等有效宽度条件下，行人比例越低，自行车流量对服务水平的影响就越大，更适合设置自行车-行人共享道。

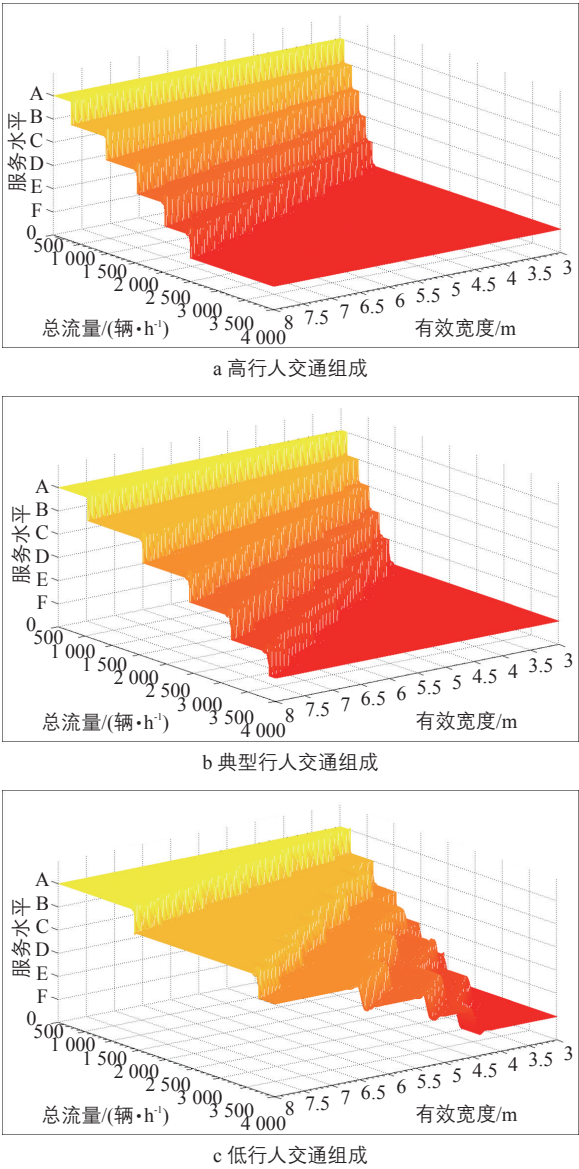


图2 共享道服务水平、总流量和有效宽度的三维关系图
Fig.2 Diagram of LOS-Volume-Road widths on shared use roads

5 结论

本文以自行车骑行者对自行车-行人共享道的交通运行状态感知评价为基础，进行服务水平研究。得到的主要结论有：1)影响共享道服务水平的显著性因素为共享道有效宽度、障碍物密度和交通冲突强度，对有关参数进行标定后建立了共享道服务水平模型。2)基于骑行者的感知程度，可以将共享道服务水平划分为6个等级。3)随着共享道有效宽度的增加和自行车流量的降低，共享道服务水平呈提高趋势，而主向和对向行人比例的大小对自行车运行状态有显著影响。

参考文献：

References:

[1] Transportation Research Board. Highway Capacity Manual 2000[M]. Washington DC: Transportation Research Board, 2000.

[2] Taylor D, Davis W J. Review of Basic Research in Bicycle Traffic Science, Traffic Operations, and Facility Design[J]. Transportation Research Record, 1999(1674): 102-110.

[3] 单晓峰. 城市自行车交通合理分担率及其路段资源配置研究[D]. 南京: 东南大学, 2007.

Shan Xiaofeng. Research on Reasonable Urban Bicycle Traffic Modal Split Rate and Resource Configuration[D]. Nanjing: Southeast University. 2007.

[4] Sisiopiku V P, Akin D. Pedestrian Behaviors at and Perceptions towards Various Pedestrian Facilities: An Examination Based on Observation and Survey Data[J]. Transportation Research Part F, 2003, 6(4): 249-274.

[5] Federal Highway Administration. Evaluation of Safety, Design, and Operation of Shared-Use Paths[R]. FHWA-HRT-05-137, Washington DC: Federal Highway Administration, 2006.

[6] Virkler M, Balasubramanian R. Flow Characteristics on Shared Hiking/Biking/Jogging Trails[J]. Transportation Research Record, 1998(1636): 43-46.