

# 基于车辆自动定位系统的公交站间准点率计算

周雪梅, 林南南, 许 旭, 杨晓光

(同济大学 交通运输工程学院, 上海 201804)

**摘要:** 基于公交 AVL(automatic vehicle location)系统的实时车辆定位数据,通过分析公交车实时位置和速率等数据,建立了公交车停靠时间计算模型.在此基础上提出了公交站间准点率定义,应用极值理论建立了公交站间准点率计算模型,对相邻站及重点站间的公交运行准时性进行了评价.最后采用上海市公交 49 路的 AVL 数据对模型进行验证,并通过 Logistic 模型对结果进行分析,结果显示站间距、道路断面、交叉口、公交专用道以及饱和度等都能对公交准点率产生影响,而公交专用道的影响作用尤为明显.

**关键词:** 公共汽车交通; AVL(automatic vehicle location); 准点率; 服务质量

**中图分类号:** U491

**文献标志码:** A

## Adjacent Sites Punctuality Rate Computation Based on Automatic Vehicle Location Data

ZHOU Xuemei, LIN Nannan, XU Xu, YANG Xiaoguang

(College of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

**Abstract:** Based on the global positioning system and automatic vehicle location (AVL) data, a bus stop-time computation model was established by analyzing the bus real-time position and speed. Then, the clear definition of adjacent sites punctuality rate was given and the more accurate computation model on the basis of the extreme value theory was built up to evaluate the bus operation between the adjacent sites and key stations. Finally, the AVL data of No. 49 bus in Shanghai was employed to test the model. A logistic analysis shows that the station spacing, the cross-section of the urban road, intersections, bus lanes and the road saturation contributes to the adjacent sites punctuality rate differently, of which the bus lanes play the most important role.

**Key words:** bus; automatic vehicle location (AVL); punctuality rate; service quality

随着我国社会经济发展和城市化进程的加快,小汽车逐渐成为人们日常出行的代步工具.但是随之而来的是更多的问题:交通拥堵、尾气污染、噪声、停车问题、资源问题等.解决交通问题的一个有效方法是大力发展公共交通,但公共交通尤其是公共汽车交通(简称公交)服务水平(方便、快捷、准时等)低的现状是公共交通分担率处于较低水平的重要原因之一.因此,基于车辆自动定位系统的公交站间准点率研究在理论上可以为后续的研究提供参考,在实际应用上能够提高公交服务水平、公交吸引力和公交运营效率,对于发挥公交智能化的最大效益、改善城市公交在理论和实用上均具有重要意义.

## 1 研究综述

国外的相关研究起步相对较早,主要集中在以下 2 个方面:一是研究影响公交服务的各项指标,其中行程时间可靠性(尤其是公交准时性)是最重要的影响指标<sup>[1]</sup>,学者研究公交车行程时间的分布和变化规律<sup>[2-4]</sup>和出行时间节约(travel time saving, TTS)的价值<sup>[4-6]</sup>,并认为行程时间的变化和行程时间的形状分布无关<sup>[7]</sup>.为了提高行程时间可靠度,部分学者对公交到站时间和行程时间预测方法进行了探讨,采用终端控制<sup>[8]</sup>和人工神经网络模型<sup>[9]</sup>等方法预测公交行程时间.除了行程时间可靠性,还有学者分析了座位容量对乘客选择路径和乘客决策的影响<sup>[10-11]</sup>.另外一个主要研究方面是探讨从乘客感知、乘客需求方面提高公交服务质量<sup>[12]</sup>.近年,公共交通领域又出现了重点站服务模式(limited bus stop service),文献<sup>[13-14]</sup>基于 AVL(automatic vehicle location)数据分析了这种交通模式对缩短公交运营时间、保证行车准点率的影响.国内在这方面的研究起步较晚,主要集中在公交行程时间可靠性、准时

收稿日期: 2012-05-03

第一作者: 周雪梅(1968—),女,副教授,工学博士,主要研究方向为公共交通系统规划与设计、智能交通系统、枢纽与多式联运理论及方法. E-mail: zhouxm@tongji.edu.cn

通讯作者: 林南南(1988—),女,硕士生,主要研究方向为智能交通系统与公共交通系统规划. E-mail: yiyi880922@163.com

性<sup>[15-16]</sup>、路网可靠性,基于 Duration 模型分析了行程时间,并分析了出行时间和出行者的行为、属性、出行特征等方面的关系<sup>[17]</sup>,并基于公交准时性讨论了公交时刻表的制定方法<sup>[18]</sup>.

目前关于公交准时性的研究主要集中在行程时间可靠度和公交全程准时性方面,较少对公交在各站点间的运行情况进行细致研究.而且,在分析公交行程时间时,以往多采用人工实地调查的方法获得数据,费时、费力且精确度不高.随着我国 AVL 技术应用更为广泛,实时采集的大量数据并没有得到有效利用.因此在以往研究的基础上,本文探讨了基于 AVL 数据的公交站间准点率问题.

## 2 问题描述和数据分析

公交车自动定位系统返回的一条数据通常包含以下常用信息:公交车终端号、信息返回时刻、公交车所处的地理位置、公交车实时速率、公交车的行为、行驶里程等信息.本文研究主要采用数据中的返回时刻、速率和累计行驶里程.系统以一定的频率返回数据,见图 1.图中,数据点指公交车返回数据的点,其分布情况与公交车所安置的自动定位系统有关.



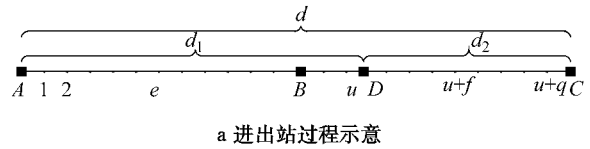
图1 公交车自动定位系统返回的数据点示意

Fig.1 The diagrammatic map of AVL data-points

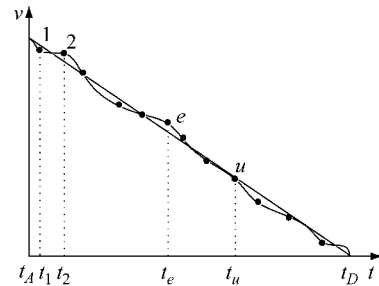
分析发现,通过 AVL 系统所获得的数据不能准确得到公交车停站、出站时刻等信息,只能得到距站点一定范围内的近似信息.因此需应用模型计算得到实际的公交车停站、出站时刻.

图2中点A为进站点;点B为实际停靠点;点C为出站点;点D为理论上的停靠点; $d_1$ 为实际进站距离; $d_2$ 为实际出站距离; $d$ 为整个进出站的距离; $u, q$ 为从进站时刻到停靠时刻和从再启动到出站时刻过程中 AVL 数据点的数量; $e, f$ 为第  $e, f$  个数据点; $t_A$  为 AVL 返回的进站时刻; $t_g$  为公交车第  $g$  个数据点返回的时刻( $g=1, 2, 3, \dots, e, \dots, u, \dots, u+f, \dots, u+q$ ); $v_g$  为公交车第  $g$  个数据点的实时速率; $v$  为速率; $t$  为时间; $t_A$  为公交车进站时刻; $t_D$  为公交车理论停靠时刻.由于 AVL 返回的一条信息中包括

时间(时刻)、速率、公交车累计里程,由此得到公交车在 A 和 C 的时刻  $t_A$  和  $t_C$ 、速率  $v_A$  和  $v_C$  以及 A, C 两点间距离  $d$ .



a 进出站过程示意



b 速度与时间关系

图2 公交车进出站过程分析

Fig.2 Buses getting in and out of station

将每 2 个数据点看作 1 个微元,那么公交车在每 2 个数据点之间的运动可近似看作匀变速运动,以进站过程为例,见图 2.停靠时间的推导过程如下:

$$\left\{ \begin{aligned} d_1 &= \int_{t_A}^{t_D} v dt \approx v_A \cdot \frac{t_1 - t_A}{2} + \sum_{e=1}^{u-1} v_e \cdot \frac{t_{e+1} - t_e}{2} + v_u \cdot \frac{t_D - t_u}{2} \\ d_2 &= \int_{t_D}^{t_C} v dt \approx v_D \cdot \frac{t_{u+1} - t_D}{2} + \sum_{f=1}^{q-1} v_{u+f} \cdot \frac{t_{u+f+1} - t_{u+f}}{2} + v_C \cdot \frac{t_C - t_q}{2} \\ d_1 + d_2 &= d \end{aligned} \right. \quad (1)$$

式中,  $t_C$  为 AVL 返回的出站时间.

由式(1)计算得到公交车实际停靠时刻

$$t_D = \left[ 2 \left( d - \sum_{e=1}^{u-1} v_e \cdot \frac{t_{e+1} - t_e}{2} - \sum_{f=1}^{q-1} v_{u+f} \cdot \frac{t_{u+f+1} - t_{u+f}}{2} \right) - v_A \cdot (t_1 - t_A) - v_C \cdot (t_C - t_q) \right] v_u^{-1} + t_{u+1} \quad (2)$$

一般情况下公交行程时间在 1 d 中不同的时段有很明显的差异,因此,在不同时段、不同站点间公交车的准点情况都是不同的.当评价公交车的准点情况时,不能仅观察公交车全程的运行时间,对乘客来讲,在站点间的运行时间及准点情况是更重要的.公交车在 2 个站点间的准点率不是一个确定的值,

而是一个区间. 区间的长度越短,说明评价结果越精确.

为了更好地描述公交车的准点情况,引进2个概念:①站间行程时间(adjacent sites travel time, ASTT),公交车在正常行驶条件下从某一站点行驶到下一站点所用的时间. ②站间准点率(adjacent sites punctuality rate, ASPR),指公交车在正常行驶条件下在一定时间范围内到达下一站点的概率.

### 3 模型建立

在建立模型之前,提出如下假设:①所研究的公交线路1 d的行程时间可分为 $m$ 个时段;②所研究的公交线路有 $p+1$ 个站点;③在第 $i(i=1,2,\dots,m)$ 个时段中AVL系统返回 $n_i$ 条数据;④所研究线路公交车均配备车载AVL终端.

由以上分析可计算得到公交车在每2个相邻站点之间的行程时间. 设 $(t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_p)^T$ 是 $p$ 元总体,在第 $i$ 个时段中返回的第 $j$ 条数据记为 $T_{ij} = (t_{ij1}, t_{ij2}, \dots, t_{ijp})^T$ ,  $T_i = (T_{i1}, T_{i2}, \dots, T_{ip})^T$ 是 $p \times n$ 矩阵,  $T_i$ 的第 $k(k=1,2,\dots,p)$ 行分别表示第 $k$ 对相邻站点间的 $n_i$ 个行程时间数据,记为 $T_{ik} = (t_{i1k}, t_{i2k}, \dots, t_{in,k})^T$ . 则

$$T_i = (T_{i1}, T_{i2}, \dots, T_{ip})^T = \begin{pmatrix} t_{i1k} & \cdots & t_{in,k} \\ \vdots & & \vdots \\ t_{i1p} & \cdots & t_{in,p} \end{pmatrix} \quad (3)$$

假设第 $k$ 对相邻站点间在第 $i$ 个时段的站间准点率可由式(4)得到:

$$R_{ik} = P\{\bar{T}_{ik} - S_{ik} \leq t_{ijk} \leq \bar{T}_{ik} + S_{ik}\} \quad (4)$$

式中: $R_{ik}$ 为站间准点率; $P$ 为概率; $\bar{T}_{ik}$ 为第 $k$ 对相邻站点在第 $i$ 个时段行程时间总体的平均值; $S_{ik}$ 为标准差. 那么,在这 $n_i$ 个数据中有 $l_i$ 个数据在上式标定的时间范围内,因此可以认为第 $k$ 对相邻站点间

的站间行程时间服从二项分布 $B(n_i, R_{ik})$ . 假设站间准点率的先验分布是 $\beta(a, b)$ ,那么其后验分布 $\pi(R | l) \sim \beta(l+a, n-l+b)\beta(a, b)$ ,其中 $a, b$ 为常数; $\pi$ 和 $\beta$ 分别表示 $\pi$ 分布和 $\beta$ 分布. 对给定的可信水平 $1-\alpha$ ,选取 $R_1, R_2$ ,使得

$$P(R_1 \leq R \leq R_2 | m) = \int_{R_1}^{R_2} \pi(R | l) dp = F(R_2) - F(R_1) = 1 - \alpha \quad (5)$$

式中, $F(R)$ 为 $\beta(l+a, n-l+b)$ 的分布函数. 于是,得到站间准点率的可信水平为 $1-\alpha$ 的可信区间 $[R_1^*, R_2^*]$ ,其区间长度为 $Z = R_2 - R_1$ . 欲求最短区间,只需求出满足如下条件的 $R_1^*, R_2^*$ :

$$\begin{cases} \min Z = R_2 - R_1 \\ \int_{R_1}^{R_2} \pi(R | l) dR = F(R_2) - F(R_1) \end{cases} \quad (6)$$

利用 $\beta$ 分布和二项分布的关系,满足式(6)的解等价于

$$\begin{cases} \min Z = R_2 - R_1, R_1, R_2 \in (0, 1), R_2 \geq R_1 \\ \sum_{a+l}^N C_N^{a+l} R_2^{a+l} (1-R_2)^{N-(a+l)} - \sum_{a+l}^N C_N^{a+l} R_1^{a+l} (1-R_1)^{N-(a+l)} = 1 - \alpha \end{cases} \quad (7)$$

式中, $N = a + b + n - 1$

可证明此模型有解而且唯一. 应用软件MATLAB或者LINGO求解,可求得最短区间 $[R_1^*, R_2^*]$ .

### 4 模型验证

采用上海市巴士一汽49路所有公交车的实时信息数据进行模型验证. 选取2011年7月份的运行数据,由同济大学智能公共交通实验室提供. 49路车线路站点信息见图3.

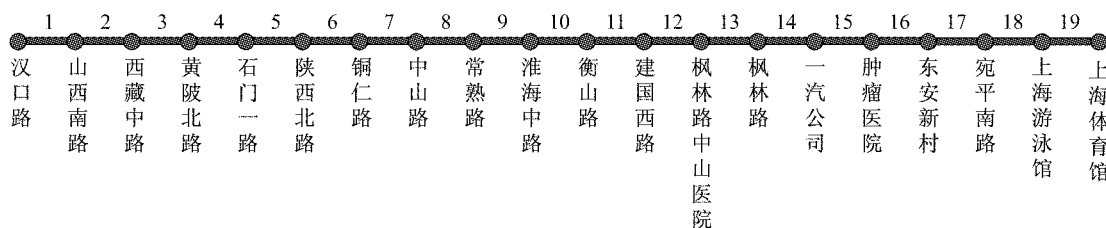


图3 49路公交车站点分布

Fig.3 Stations of No.49 bus in Shanghai

统计该线路2个站点(中山医院—陕西北路)间

全天的行程时间,如图4,发现2站点间行程时间的

分布有明显的时段特征,因此将49路车的运行分为6个时段:7:00~9:00,9:00~12:00,12:00~15:00,15:00~17:00,17:00~19:00,19:00~22:00.由以上数据计算得: $p=19, i=6$ .

根据式(2)计算出49路公交车19对相邻站点间的行程时间.再由式(4)计算得到试验线路19对相邻站点间公交行程时间的范围,见表1.表中, $\bar{T}_{ik}$ 为第 $k$ 对相邻站点在第 $i$ 个时段行程时间总体的平均值, $S_k$ 为标准差.

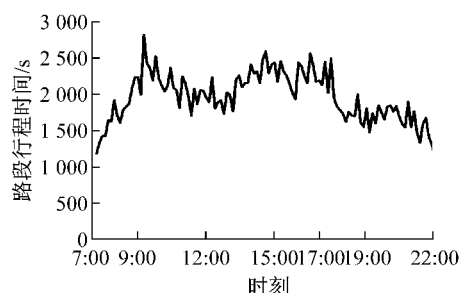


图4 中山医院—陕西北路日行程时间

Fig.4 Day travel time from Zhongshan Hospital to North Shaanxi Road

表1 试验线路19对相邻站点间公交行程时间的范围

Tab.1 The travel time intervals of 19 pairs of adjacent stations

$k$	7:00~9:00		9:00~12:00		12:00~15:00		15:00~17:00		17:00~19:00		19:00~22:00	
	$\bar{T}_{1k}-S_{1k}$	$\bar{T}_{1k}+S_{1k}$	$\bar{T}_{2k}-S_{2k}$	$\bar{T}_{2k}+S_{2k}$	$\bar{T}_{3k}-S_{3k}$	$\bar{T}_{3k}+S_{3k}$	$\bar{T}_{4k}-S_{4k}$	$\bar{T}_{4k}+S_{4k}$	$\bar{T}_{5k}-S_{5k}$	$\bar{T}_{5k}+S_{5k}$	$\bar{T}_{6k}-S_{6k}$	$\bar{T}_{6k}+S_{6k}$
1	106.6	136.0	111.3	148.1	124.7	158.3	120.5	227.4	103.6	201.9	97.5	124.9
2	114.7	215.7	142.2	237.2	157.4	219.1	168.4	255.8	166.1	276.2	113.8	175.0
3	102.5	171.0	98.8	170.0	91.1	153.2	95.2	168.7	104.2	169.6	90.5	150.3
4	181.0	242.1	230.7	272.1	184.2	304.1	220.7	238.7	192.6	368.7	155.7	206.9
5	95.0	177.7	117.4	155.5	111.8	216.7	159.1	277.1	149.1	248.1	84.7	166.6
6	88.5	179.9	105.7	195.1	97.1	169.9	126.7	202.2	101.5	173.0	89.4	162.1
7	207.5	503.4	241.5	447.5	285.0	420.7	305.3	433.9	292.5	428.2	214.9	279.5
8	44.8	188.5	132.0	164.2	111.9	197.3	125.1	190.0	144.3	194.5	89.0	138.7
9	95.4	218.8	107.0	193.2	79.9	176.1	89.0	188.4	71.4	161.4	91.6	162.9
10	116.5	185.6	91.3	177.4	116.7	189.5	134.6	236.5	166.9	207.0	133.8	266.4
11	99.3	158.9	90.8	136.7	92.0	136.1	90.3	156.2	86.2	167.5	77.8	114.1
12	141.6	271.0	107.1	211.7	116.6	236.9	144.1	253.0	119.7	230.1	59.9	181.1
13	161.8	269.8	155.0	257.3	154.4	281.8	254.8	386.0	128.8	353.5	80.2	181.5
14	69.1	127.1	77.8	154.7	68.4	134.4	93.6	149.9	77.4	154.7	63.9	117.7
15	176.8	488.2	122.4	302.3	106.8	251.9	165.9	267.7	172.6	242.4	92.7	174.1
16	183.4	288.5	104.4	166.3	95.8	155.6	99.3	330.8	78.9	327.6	65.5	106.5
17	132.5	226.1	150.5	278.2	182.9	259.4	377.4	618.2	136.1	548.9	128.9	203.0
18	200.8	241.4	200.2	239.1	194.7	226.9	488.8	613.9	263.3	637.0	186.4	234.5
19	199.1	276.9	190.7	347.0	194.6	333.7	239.2	326.5	254.3	377.2	124.0	255.4

以第1对相邻站点(汉口路—山西南路)在第1个时间段(7:00~9:00)的数据为例.数据总量为590,在假设区间范围内的数据量为385.假设站间准点率的先验分布是 $\beta(1,1)$ ,那么其后验分布 $\pi(R|122)\sim\beta(123,469)$ ,故可得站间准点率的可信度水平为90%的最短区间为 $[0.6910, 0.7147]$ ,也就是说上海公交49路在7:00~9:00的时间段内在汉口路—山西南路之间的站间准点率90%是在区间 $[69.10\%, 71.47\%]$ 内.在第1时间段内,所有站点间的站间准点率计算值见图5.

由图5可以看出,在早高峰时段,华山路—常熟路( $k=8$ )和二汽公司—肿瘤医院( $k=15$ )这2对站点间的准点率较高,公交车运行服务情况较好,而在陕西北路—铜仁路( $k=6$ )、枫林路中山医院—枫林路( $k=13$ )以及枫林路—二汽公司( $k=14$ )这3对站点间

的站点率较低,公交运行服务情况较差.表2是以上站点间的道路交通情况.

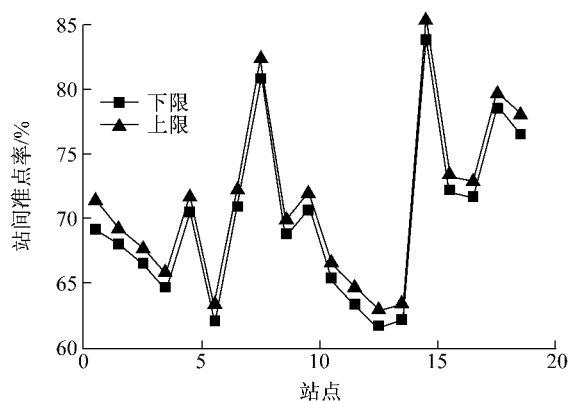
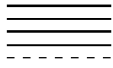
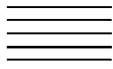
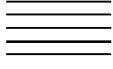
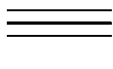
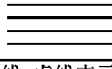


图5  $i=1$ 时19对站点间的站间准点率

Fig.5 ASPR of all stations,  $i=1$

表 2 主要站点间道路交通情况

Tab.2 Traffic status between main stations

<i>k</i>	站距/km	主要断面形式	交叉口数量	信号周期/s	公交专用道	站台形式	高峰流量/(pcu·h <sup>-1</sup> )	饱和度
8	0.34		2	180+0	有	港湾式	2 800	0.37
15	0.64		1	120	有	港湾式	3 310	0.55
6	0.55		2	120+120	无	港湾式 非港湾式	4 790	0.79
13	0.77		5	140+75+7, 5+75+120	无	港湾式 非港湾式	2 430	0.81
14	0.48		1	120	无	港湾式	5 620	0.75

注:粗线表示中黄线;虚线表示公交专用道。

由表 3 可以看出,影响公交站间准点率的因素有站点间距及站台形式、主要道路断面形式、交叉口的数量及信号周期、是否有公交专用道以及饱和度等因素。其中,站距长优于站距短;双向 4 车道、双向 6 车道优于双向 2 车道;交叉口数量越少、信号周期越短准点率越高;有公交专用道优于没有公交专用道;港湾式公交站优于非港湾式公交站台;饱和度越

低准点率越高。由标准回归系数可知,使准点率减小的因素中,产生影响由大到小对应的因素依次为信号周期(0.435)、饱和度(0.279)和交叉口数量(0.145);使准点率提高的因素中,产生影响由大到小对应的因素依次为公交专用道(1.185)、断面形式(0.169)、站距(0.097)和站台形式(0.084)。其中是否设置公交专用道对公交准点率的影响尤为明显。

表 3 站间准点率的 Logistic 回归分析

Tab.3 Logistic regression analysis of ASPR

变量	参数估计	标准误差	标准回归系数	Wald $\chi^2$ 值	<i>P</i> 值	比值比	95%置信区间
截距	-5.732	0.746		48.793	<0.001		
站距	≤0.5 km						
	>0.5 km	0.712	0.034	0.097	123.938	<0.001	0.487 (0.432,0.547)
断面形式	双向 2 车道						
	双向 4 车道	0.528	0.059	0.138	84.561	<0.001	1.696 (1.513,1.899)
	双向 6 车道	0.746	0.073	0.169	58.389	<0.001	2.017 (1.786,2.899)
交叉口数量	1	-1.097	0.112	-0.235	97.656	<0.001	2.993 (2.417,3.727)
	2	-1.138	0.086	-0.145	75.657	<0.001	3.124 (2.638,3.699)
	>2						
信号周期	<90 s						
	90 s~120 s	-1.425	0.164	-0.183	76.275	<0.001	0.241 (0.175,0.332)
	120 s~180 s	-4.712	0.415	-0.435	125.229	<0.001	0.009 (0.005,0.019)
公交专用道	有	4.199	0.724	1.185	37.234	<0.001	83.927 (18.176,289.369)
	无						
站台形式	港湾式	0.723	0.149	0.084	23.120	<0.001	2.157 (1.523,2.761)
	非港湾式						
饱和度	≤0.5						
	>0.5	-1.057	0.291	-0.279	136.237	<0.001	0.345 (0.289,0.411)

5 结论

通过对公交车进出站过程进行解析,分析了公交车在站点间的运行情况,基于 AVL 数据通过模型计算得到了实际的公交车停站、出站时间,并提出了

站间准点率的概念,建立了模型,并对模型进行了验证,结果显示:①同一条公交线路在同一时间段、不同站点间的公交车的准点情况不同;②AVL 返回的数据量越多,样本数据量越大,计算得到的站间准点率区间越短,评价结果也越精确;③不同的道路交通条件对公交运行准点率产生的影响不一样。另外,本

文模型可用于任意2站点间或重要站点间的准点率评价。其研究成果对于公交运行服务改善策略的制定、提高公共交通服务水平和公共交通吸引力具有理论意义和实用价值,并且为一系列后续研究如根据模型计算结果进一步研究公交运行准点率的主要影响因素等提供了参考。

## 参考文献:

- [1] Kho Seungyoung. A development of punctuality index for bus operation[J]. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2005, 6: 492.
- [2] Cham Lauracelia. Understanding bus service reliability: a practice framework using AVL/APC data[D]. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 2005.
- [3] Zheng Li, Hensher A D. Willingness to pay for travel time reliability in passenger transport: a review and some new empirical evidence[J]. Transportation Research Part E, 2010, 46(3): 384.
- [4] Cirillo C. Evidence on the distribution of values of travel time savings from a six-week diary[J]. Transportation Research Part A, 2006, 40(5): 444.
- [5] Shires J D, de Jong G C. An international meta-analysis of values of travel time savings[J]. Evaluation and Program Planning, 2009, 32(4): 315.
- [6] Chang S J. Assessing travel time reliability in transport appraisal[J]. Journal of Transport Geography, 2010, 18(3): 419.
- [7] Mogens Fosgerau. The value of travel time variance[J]. Transportation Research Part B, 2011, 45(1): 1.
- [8] Maged Dessouky, Randolph Ha. Real-time control of buses for schedule coordination at a terminal[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2003, 37(2): 145.
- [9] Ranhee Jeong, Laurence R Rilett. Bus arrival time prediction using artificial neural network model[C]//2004 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference. Washington D C: [s. n.]. 2004: 3-6.
- [10] Kittelson Associates. Transit capacity quality of service manual[M]. 2nd ed. Washington D C: Transportation Research Board, 2003.
- [11] Sumalee Agachai, Tan Zhijia. Dynamic stochastic transit assignment with explicit seat allocation model[J]. Transportation Research Part B, 2009, 43(8/9): 895.
- [12] Grotenhuis J W, Wiegman W B. The desired quality of integrated multimodal travel information in public transport: Customer needs for time and effort savings[J]. Transport Policy, 2007, 14(1): 27.
- [13] Koushki P A, Al-Saleh O I. On management's awareness of transit passenger needs[J]. Transport Policy, 2003, 10(1): 17.
- [14] Paul R Tétreault, Ahmed M El-Geneidy. Estimating bus run times for new limited-stop service using archived AVL and APC data[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2010, 44(6): 390.
- [15] 周雪梅. 先进的公共交通系统评价方法研究[D]. 上海: 同济大学, 2004.  
ZHOU Xuemei. Evaluation method of advanced public transportation system[D]. Shanghai: Tongji University, 2004.
- [16] 熊志华. 道路网行程时间可靠性基础理论与方法研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2006.  
XIONG Zhihua. Study on theory and method of travel time reliability about road network[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2006.
- [17] JUAN Zhicai, XIAN YU Jianchuan. Daily travel time analysis with duration model[J]. Transportation System Engineering & IT, 2010, 10(4): 62.
- [18] 吉婉欣, 杨东援. 基于公交准时化的时刻表制定方法研究[J]. 城市公共交通, 2010, 10: 32.  
JI Wanxin, YANG Dongyuan. Calculation method of timetable based on punctual transit[J]. Urban Public Transport, 2010, 10: 32.