

基于AVL的公共汽车到站信息服务系统设计

AVL-based Bus Arrival Information System Design

陈国俊¹, 杨晓光¹, 刘好德²

(1. 同济大学交通运输工程学院, 上海 201804; 2. 交通运输部科学研究院城市交通研究中心, 北京 100013)

Chen Guojun¹, Yang Xiaoguang¹, Liu Haode²

(1. School of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. China Urban Sustainable Transport Research Center, China Academy of Transportation Sciences, Beijing 100013, China)

摘要: 为了提高公交到站信息服务系统的可移植性、降低到站时间预测误差、增强到站时间信息服务的可获取性, 对如何构建公共汽车到站信息服务系统进行设计。以标准化AVL数据输入为基础, 阐述了4项关键技术: 制定AVL数据采集内容标准; 建立基于行程时间的到站时间预测算法; 建立基于事件驱动到的站时间预测控制方法; 提出电子站牌与手机相结合的联合信息发布模式。选取实际线路在计算机上实现上述设计成果, 并对对比分析事件驱动和时间驱动两种控制方法在降低预测误差方面的效果。结果证实, 事件驱动控制方法对到站时间预测误差的改善效果比时间驱动控制方法显著。

Abstract: To improve service performance, reduce estimated bus arrival time errors, and enhance reliability of bus information service system, this paper introduces the bus information system design. Based on the input of standardized AVL (Automatic Vehicle Location) data, four crucial techniques are introduced including: defining the standards of AVL data content, developing the bus arrival time estimation method based on travel time, setting up an event-driven control method for bus arriving time prediction, and proposing a combined information dissemination mode with electronic board and mobile phone. The designed system is implemented by a computer program into a real case to compare the performance in reducing the estimated bus arrival time by both the event-driven control model and the time-driven control model. The prediction results show that the event-driven control model does have a significant improvement in the estimating error reduction than the time-driven control model does.

关键词: 交通工程; 智能交通; 公交到站信息服务; 自动车辆定位

Keywords: traffic engineering; intelligent transportation system; bus arrival information service; automatic vehicle location

中图分类号: U491

文献标识码: A

收稿日期: 2011-01-01

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目“公交运行服务可靠性测度模型与仿真评价”(50908173)

作者简介: 陈国俊(1986—), 男, 湖北宜昌人, 在读博士研究生, 主要研究方向: 智能公共交通系统。E-mail: cgj_Traffic@126.com

0 引言

公共汽车到站时间预测是开展公交信息服务、实施公交动态调度的基础^[1-2]。应用先进的车辆位置采集设备及信息通讯设备, 研究和开发公交车到站信息服务系统, 对于实现城市公交系统服务的信息化、智能化, 提升城市公交管理水平和服务水平具有重要意义^[3]。

以往基于自动车辆定位(Automatic Vehicle Location, AVL)数据的公交到站时间预测研究主要集中于预测算法设计和模型构建, 希望通过寻找精确可靠的预测算法及模型提高预测系统的性能, 涌现了诸如回归模型^[4-5]、神经网络模型^[5]、卡尔曼滤波模型^[6-9]、历史数据模型^[5, 10-11]、支持向量机模型^[12]等很多方法。但是, 由于缺乏统一标准的数据基础, 预测模型的普适性受到了阻碍, 大大降低了预测系统的可移植性。同时, 到站时间预测中信息处理时间延滞带来的误差也未得到应有的重视, 一定程度上降低了预测系统的准确性和精确性。

在“十五”、“十一五”计划期间, 中国大城市迎来了公交信息

化、智能化建设的高潮。公交车辆普遍装备了具有自动定位功能的智能车载终端，这为开展公交到站信息服务提供了良好的数据环境。北京、上海、广州、武汉、成都等城市，都已不同程度地开展了新一轮的公交到站信息服务规划及建设。在强劲的到站信息服务应用需求及成熟的到站时间预测理论研究成果基础上，如何构建可移植性强、预测精度高的到站信息服务系统成为亟待解决的问题。

1 公交到站信息服务系统需求

公交到站信息服务系统利益相关者包括政府、企业和乘客三大主体。如图 1 所示，政府作为信息服务的投资和监管方关注信息服务的效用，即信息服务系统的建设成本与社会效益；企业作为信息服务的运营方，关注信息服务系统的运营成本与经济效益；乘客作为信息服务的使用方，关注信息服务的准确性与可用性。

为了满足各大利益主体的需求，一方面要建立一套标准化、可移植性强的到站信息服务系统，降低系统的建设成本；另一方面要降低信息处理过程中时间延滞带来的误差，提升信息服务质量。此外，选取合理的信息发布模式，有助于提高信息服务的可获取性并取得一定的经济效益。

2 关键技术

2.1 AVL 数据采集内容标准化

根据 AVL 数据采集点及采集内容与到站时间预测的相关程度，将采集位置划分为必要采集点 (Essential Position, EP)、重要采集点 (Important Position, IP)、普通采集点 (Ordinary Position, OP) 三个级别，见表 1；将数据内容划分为必要采集内容 (Essential Content, EC)、重要采集内容 (Important Content, IC) 和普通采集内容 (Ordinary Content, OC)，见表 2。

为了降低预测系统数据采集成本、提高预测系统可移植性，选取易于获取且对公交到站时间预测有重要作用的 AVL 数据作为到站时间预测的数据输入。在采集位置选择上，除选取公交车站

外，还选取了动态采集点作为辅助定位位置，以提高信息服务的精度。采集内容方面，选取必要采集内容作为到站时间计算输入，包括车辆编号、采集时间、车辆位置、运行方向、车辆运行状态，车辆位置主要采用基于 GPS 的 AVL 设备采集。AVL 数据采集内容标准见表 3。

2.2 到站时间预测算法设计

公交运行过程可以简化为公交车辆从起点站发车，依次到达、离开中途站，直至抵达终点站，如图 2 所示。

公交到站时间预测算法主要分为基于速度和基于行程时间两种，其中，基于行程时间的预测算法被认为具有适应于不同线路的优点^[13]。故本

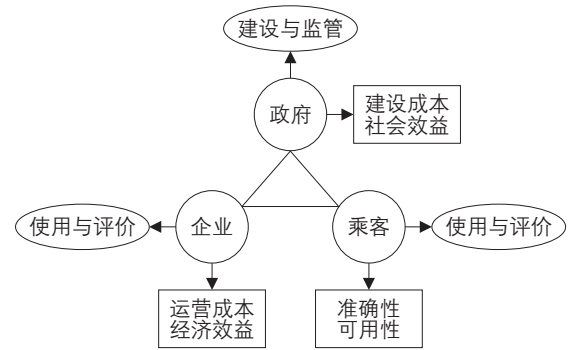


图 1 公交到站信息服务系统利益相关主体
Fig.1 Stakeholders of bus-arrival-time system

表 1 采集位置说明 Tab.1 Description of sampling position		
级别	特征	采集点
EP	公交到站时间预测必要的基本采集点	公交车站
IP	提高公交到站时间预测精度的采集点	交叉口、辅助定位点 (如动态采集点) 等
OP	与公交到站时间预测无关的采集点	加油站、站场等

表 2 采集内容说明 Tab.2 Description of sampling content		
级别	特征	采集内容
EC	公交到站时间预测所需的必要数据内容	车辆编号、采集时间、车辆位置、运行方向、车辆运行状态
IC	提高公交到站时间预测精度的数据内容	车站上下车乘客数、车辆运行速度、车辆运行加速度等
OC	与公交到站时间预测无关的数据内容	油耗信息、报站信息、车门状态信息等

文建立基于行程时间的到站时间预测算法, 以提升预测算法的通用性及可移植性。由于交通流的周变特征, 公交行程时间在各周相同特征日(如历史的各周周一)相同时段上保持稳定^[14], 因此, 可利用历史多周同一特征日的行程时间预测当前行程时间。

$$T_{P_i S_m}(t) = \left(1 - \frac{D_{S_i P_t}}{D_{S_i S_{i+1}}}\right) T_{h S_i S_{i+1}}(\tau) + T_{h S_{i+1} S_m}(\tau), \quad (1)$$

式中: $T_{P_i S_m}(t)$ 是从当前位置 P_t 运行至信息发布车站 S_m 的时间; $D_{S_i P_t}$ 是从车站 S_i 运行至当前位置 P_t 的行驶距离; $D_{S_i S_{i+1}}$ 是从车站 S_i 到车站 S_{i+1} 的路段距离; $T_{h S_i S_{i+1}}(\tau)$ 是车站 S_i 到车站 S_{i+1} 之间在第 τ 个时段上的行程时间; $T_{h S_{i+1} S_m}(\tau)$ 是车站 S_{i+1} 到车站 S_m 之间在第 τ 个时段上的行程时间。

为消除随机因素带来的误差影响, 采用历史连续四周同一特征日、同一时段、同一路段的行程时间均值作为当前路段行程时间估计值, 其计算方法为

$$T_{h S_i S_{i+1}}(\tau) = \frac{1}{\sum_{k=1}^4 N_k} \sum_{k=1}^4 \sum_{j=1}^{N_k} T_{j S_i S_{i+1}}(date - 7 \times k, \tau), \quad (2)$$

式中: $T_{j S_i S_{i+1}}(date - 7 \times k, \tau)$ 是历史行程时间中在第 $date - 7 \times k$ 天、第 τ 个时段上车站 S_i 到车站 S_{i+1} 的行程时间样本; N_k 是在第 $date - 7 \times k$ 天、第 τ 个时段上的车站 S_i 到车站 S_{i+1} 的行程时间样本总量。

表3 AVL数据采集内容标准化

Tab.3 Standardized data set of AVL

采集点	公交车站 动态采集点
采集内容	数据记录编号 车辆编号 采集时间 采集点经度 采集点纬度 车辆运行方向(分上下行或环行) 车辆刚刚驶离的车站 车辆运行状态(进出站、抛锚等)

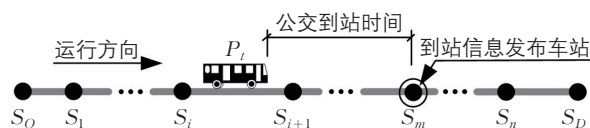


图2 公交运行过程图示

Fig.2 Bus operating processing

其中, τ 的计算方法为

$$\frac{t}{T} < \tau \leq \frac{t}{T} + 1, \tau \text{ 为整数}, \quad (3)$$

式中: T 为单位时段长度, 一般取 15 min, 将全天划分为 96 个时段。

2.3 到站时间预测控制方法

基于时间驱动到的站时间预测控制方法易于建模, 在实践中得到了广泛应用, 但这种方法难以有效降低预测系统的时间延滞^[15]。基于事件驱动的控制方法, 由于采用事件触发机制, 在降低时间延滞方面较为优越。公交到站时间预测系统运行状态可以划分为有限个状态, 且各个状态在离散事件的驱动下相互转移。为了描述系统各个状态在离散事件作用下的转移规律, 采用有限状态自动机模型作为系统运行的控制方法, 并分析其相比于时间驱动控制方法在降低系统预测误差方面的性能。有限状态自动机 M 可以表示为五元组

$$M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, q_m), \quad (4)$$

式中: Q 为自动机状态的非空有限集合; Σ 为事件的有限集合; δ 为状态转移函数, 且 $\delta: Q \times \Sigma \rightarrow Q$; q_0 为自动机初始状态 ($q_0 \in Q$); q_m 为标识状态集合 ($q_m \subseteq Q$)。

要建立基于有限状态自动机的事件驱动控制模型, 首先必须明确系统的有限状态集合及可发生的事件集合, 然后寻找系统状态转移函数, 建立状态转移模型即公交到站时间预测控制方法。

1) 状态及事件集合。

到站时间预测的状态集合 $\{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_5\}$ 包含 6 个基本状态元素, 其中: q_0 为数据接收状态; q_1 为数据有效性检验状态; q_2 为数据修正状态; q_3 为到站信息预测状态; q_4 为到站信息发布状态; q_5 为复位状态。到站时间预测的事件集合 $\{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6, e_7, e_8, e_9, e_{10}\}$ 包含 10 个基本事件元素, 其中: e_1 为车辆位置发生更新; e_2 为数据检验结果正常; e_3 为数据检验结果异常; e_4 为数据修复完成; e_5 为数据修复失败; e_6 为到站信息预测完成; e_7 为到站信息预测失败; e_8 为到站信息发布完成; e_9 为到站信息发布失败; e_{10} 为复位完成。

2) 状态转移函数。

到站时间预测的各个状态在事件作用下的转移关系如表 4 所示， q_i 表示系统当前处于第 i 列所示状态， e_j 表示系统被第 j 行所示事件作用， (q_i, e_j) 表示 q_i 状态在 e_j 事件作用下的状态转移。若 (q_i, e_j) 为空，表示 q_i 状态在 e_j 事件作用下不会发生状态迁移；若 (q_i, e_j) 不为空，则表示 q_i 状态在 e_j 事件作用下转移到状态 (q_i, e_j) 。

3) 控制方法。

基于状态转移函数，建立基于有限状态自动机的公交到站时间预测控制方法，见图 3。在事件作用下，到站时间预测在各个状态之间转移，可有效控制整个系统的处理流程。由于预测系统采用事件触发机制，不存在等待过程，从而有效降低预测系统的时间延滞。

2.4 到站时间发布模式设计

公交到站信息发布内容包括预测线路、信息发布车站、当前时间、下一班车到站时间、下一班车到站距离等内容。到站时间发布模式包括电子站牌和手机两种。电子站牌作为一种固定的信息发布方式，发布的信息内容全面，但是服务区域有限。手机具有易于携带、服务区域广的特点，较好地弥补了电子站牌发布方式的不足。建议选取两种方式联合发布的信息发布模式，以提高到站时间信息的可获取性。

基于手机的公交到站信息服务可以采用广播和申请应答两种模式，见图 4。广播模式是公交信息服务中心向全体授权用户提供到站信息服务，适合于发布满足大多数人需求的公共信息，如事故信息、公交线路变更信息、交通管制信息等。申请应答模式是用户根据个性化的出行需求，向公交信息服务中心查询所需的到站时间信息，中心根据乘客的定制请求发送信息。同时，信息服务运营企业可相应收取合理的服务费用，获取一定的经济效益。

3 案例应用

以上海市公交 49 路为实验线路，在计算机上实现上述系统设计成果，并对比分析事件驱动和

时间驱动两种控制方法的到站时间预测结果。

1) 实验线路概况。

实验线路分上下行两个运营方向，下行方向共设 20 个车站，起点站汉口路江西中路站，终点站上海体育馆站；上行方向设 19 个车站，起点站上

表 4 公交到站时间预测状态转移表
Tab.4 Display transition of bus arrival time prediction system

事件	状态					
	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
e_1	q_1					
e_2		q_3				
e_3		q_2				
e_4			q_3			
e_5			q_5			
e_6				q_4		
e_7				q_5		
e_8					q_0	
e_9					q_5	
e_{10}						q_0

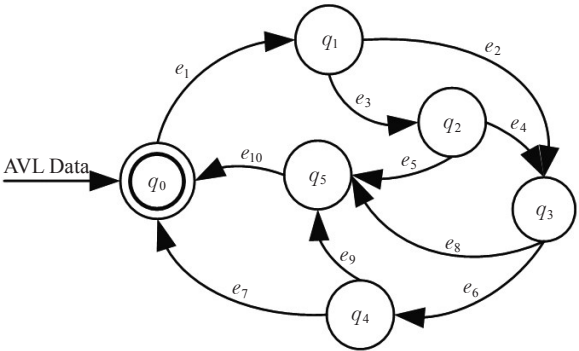


图 3 基于有限状态自动机的公交到站时间预测控制方法
Fig.3 The bus arrival time prediction method based on the finite state device

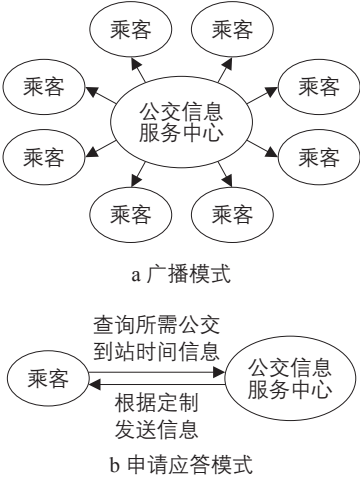


图 4 基于手机的公交到站时间服务模式
Fig.4 Bus arrival time service mode based on mobile phone

海体育馆站, 终点站汉口路江西中路站(见图5)。

2) 预测结果评价。

用均值预测误差(Mean Error, ME)和均值绝对预测误差比率(Mean Absolute Percentage Error, MAPE)来反映控制模型的准确性和精确性, 评价预测结果。ME反映了控制模型系统误差的大小, 体现了控制模型的准确程度, ME越趋近于0, 控制模型准确程度越高。MAPE反映了控制模型总体误差相对于真值的偏离程度, 体现了控制模型

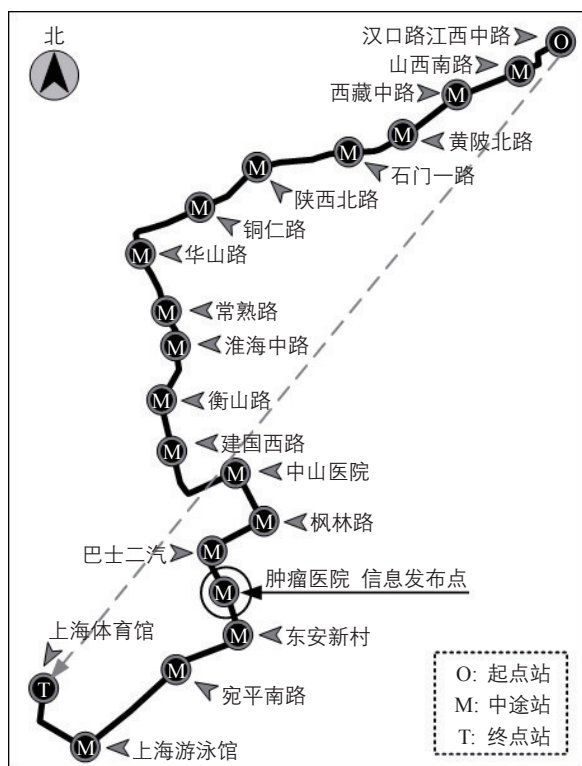


图5 实验线路图示(下行方向)

Fig.5 Illustration of experimental line (Southbound)

的精确程度, MAPE越小, 控制模型精确程度越高。计算方法为

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_{Pi} - t_{Ai}), \quad (5)$$

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{t_{Pi} - t_{Ai}}{t_{Ai}} \right|, \quad (6)$$

式中: t_{Pi} 为预测到站时间; t_{Ai} 为实际到站时间; N 为预测结果总数。

2009年6月1日, 选取实验线路的肿瘤医院站作为信息发布点, 在事件驱动和时间驱动两种控制方法下, 对到站时间预测系统进行为期一天的实验, 获取了大量预测结果。预测到站时间与实际到达时间分布见图6。

统计事件驱动与时间驱动两种控制方法下预测结果的ME和MAPE, 见表5, 对比分析不同控制方法下的预测误差。结果显示: 事件驱动控制方法对到站时间预测误差的改善效果比时间驱动控制方法显著。

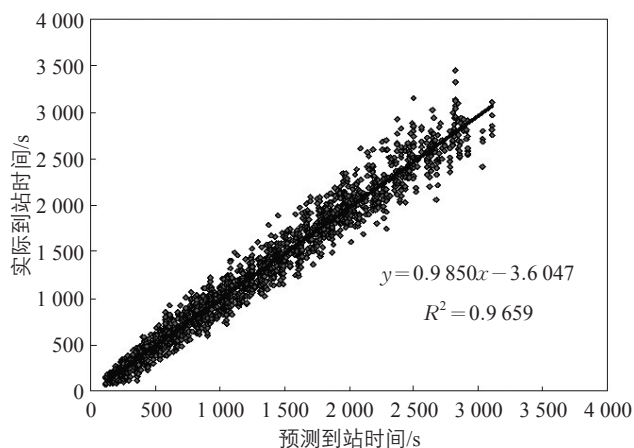
4 结语

本文以AVL数据标准化为基础, 建立基于行

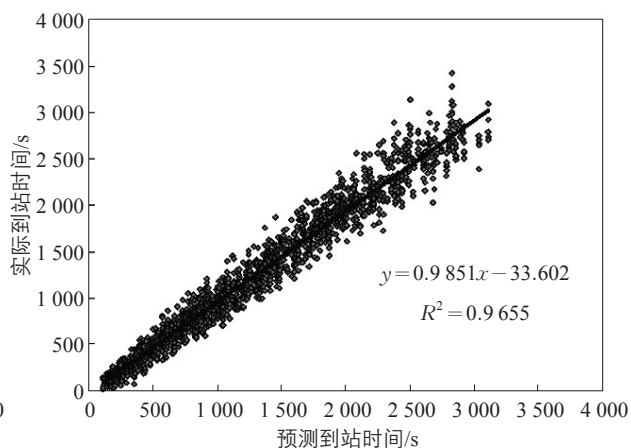
表5 事件驱动与时间驱动两种控制方法下预测结果的ME和MAPE

Tab.5 Comparison of ME and MAPE predictions by event-driven and time-driven control methods

控制方法	ME /s	MAPE /%
事件驱动	22.76	12.24
时间驱动(预测周期60 s)	52.62	16.42



a 事件驱动控制模型预测结果



b 时间驱动控制模型(预测周期为60 s)预测结果

图6 事件驱动与时间驱动两种控制方法下到站时间预测值与实际值分布图

Fig.6 Distribution of predicted arrival time and actual arrival time under event-driven and time-driven methods

程时间的到站时间预测算法,保证了信息服务系统的通用性和可移植性。同时,通过对比分析时间驱动和事件驱动两种控制方法下到站时间预测结果误差,发现事件驱动控制方法能显著降低系统延误、提升信息服务精度。另外,本文也对信息发布模式做了探讨,为提高信息服务的可获取性,建议采用电子站牌和手机相结合的发布模式,同时采用广播和申请应答的差异服务模式提升信息服务的效用。

参考文献:

References:

- [1] Transit Cooperative Research Program (TCRP). Real-time Bus Arrival Information Systems: A Synthesis of Transit Practice[R]. Washington DC: Transportation Research Board of the National Academies, 2003.
- [2] Transit Cooperative Research Program (TCRP). Uses of Archived AVL-APC Data to Improve Transit Performance and Management: Review and Potential, Final Report[R]. Washington DC: Transportation Research Board of the National Academies, 2003.
- [3] 杨晓光. 智能化公共交通系统[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2005.
Yang Xiaoguang. Advanced Public Transportation System[M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2005.
- [4] Lin Weihua, ZENG Jian. An Experimental Study on Real Time Bus Arrival Time Prediction with AVL Data[J]. Transportation Research Record, 1999 (1666): 101-109.
- [5] Jeong R, Rilent L R. The Prediction of Bus Arrival Time Using AVL Data[EB/OL]. 2004[2010-12-13]. <http://repository.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/1458/etd-tamu-2004C-CVEN-Jeong.pdf?sequence=1>.
- [6] Wall Z, Dailey D J. An Algorithm for Predicting the Arrival Time of Mass Transit Vehicles Using Automatic Vehicle Location Data[M]. Washington DC: University of Washington, 1998.
- [7] Cathey F W, Dailey D J. A Prescription for Transit Arrival/Departure Prediction Using Automatic Vehicle Location Data[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2003,11(3): 241-264.
- [8] Shalaby A, Farhan A. Bus Travel Time Prediction Model for Dynamic Operations Control and Passenger Information Systems[EB/OL]. 2003[2010-12-13]. http://www.ltrc.lsu.edu/TRB_82/TRB2003-000314.pdf.
- [9] Chen M, Liu X B, Xia J X. A Dynamic Bus Arrival Time Prediction Method Based on APC Data[J]. Computer-aided Civil and Infrastructure Engineering, 2004, 19(5): 364-376.
- [10] Chien S I J, Kuchipudi C M. Dynamic Travel Time Prediction with Real-time and Historical Data [C/CD]. Transportation Research Board. TRB 81st Annual Meeting Compendium of Papers CD-ROM, Washington DC: Transportation Research Board, 2002.
- [11] Sun A, Hickman M. Vehicle Travel Time Prediction Using Primitive AVL Data[C/CD]//Transportation Research Board. TRB 85th Annual Meeting Compendium of Papers CD-ROM. Washington DC: Transportation Research Board, 2006.
- [12] 于滨, 杨忠振, 曾庆成. 基于SVM和Kalman滤波的公交车到站时间预测模型[J]. 中国公路学报, 2008, 21(2): 89-92.
Yu Bin, Yang Zhongzhen, Zeng Qingcheng. Bus Arrival Time Prediction Model Based on Support Vector Machine and Kalman Filter[J]. China Journal of Highway and Transport, 2008, 21(2): 89-92.
- [13] Ni D, Wang H. Trajectory Reconstruction for Travel Time Estimation[J]. Journal of Intelligent Transportation System, 2008, 12(3): 113-125.
- [14] Chen G J, Yang X G, An J, Liu H D. Real-time Prediction Model of Bus-arrival-time Based on Transit Pattern[C/CD]// Transportation Research Board. TRB 90th Annual Meeting Compendium of Papers DVD. Washington DC: Transportation Research Board, 2011.
- [15] Kim S, Lee C, Kim Y, Lee S, Park D. Error Correction of Arrival Time Prediction in Real Time Bus Information System [J]. Journal of Advanced Transportation, 2010(44): 42-51.