



第一届 智能交通与人工智能学术研讨会论文集

智能交通技术研究与应用

Research and Applications of Intelligent Transportation Technology

主编 徐建闽 严新平

华南理工大学出版社

U495
X734.1



第一届智能交通与人工智能学术研讨会论文集

智能交通技术研究与应用

Research and Applications of Intelligent Transportation Technology

主编 徐建闽 严新平

华南理工大学出版社

·广州·

图书在版编目 (CIP) 数据

智能交通技术研究与应用:第一届(2006)智能交通与人工智能学术研讨会论文集/徐建闽,严新平主编.
—广州:华南理工大学出版社,2006.12

ISBN 7-5623-2462-X

I. 智… II. ①徐… ②严… III. 公路运输-交通运输管理-智能控制-学术会议-文集 IV. U495-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 145144 号

总发行:华南理工大学出版社(广州五山华南理工大学17号楼,邮编510640)

营销部电话:020-87113487 87111048(传真)

E-mail:scutcl3@scut.edu.cn http://www.scutpress.com.cn

责任编辑:孙莉

印刷者:广东省农垦总局印刷厂

开本:880mm×1230mm 1/16 印张:19.5 字数:605千

版次:2006年12月第1版 2006年12月第1次印刷

定价:80.00元

版权所有 盗版必究

第一届(2006)智能交通与人工智能学术研讨会 ——智能交通技术研究与应用学术会议

时 间: 2006 年 12 月 9 日至 10 日

地 点: 中国·广州

主办单位: 中国人工智能学会智能交通专业委员会
交通计算机应用信息网

承办单位: 华南理工大学

协办单位: 武汉理工大学

清华大学

吉林大学

东南大学

同济大学

哈尔滨工业大学

北京交通大学

北京大学

长安大学

广州市交通委员会

国家智能交通系统工程技术研究中心

公安部交通管理研究所

交通运输工程教学指导委员会

中国交通运输协会青年科技工作者
工作委员会

《交通与计算机》杂志社

学术委员会

主 席：徐建闽 华南理工大学智能交通系统与物流技术研究所所长、教授
严新平 武汉理工大学副校长、教授

委 员：（按姓氏拼音排序）

陈 红 长安大学交通工程系主任、教授
过秀成 东南大学交通工程系副主任、教授
韩 印 上海理工大学交通运输系统研究中心教授
靳文舟 华南理工大学交通学院教授
陆 键 东南大学“长江学者奖励计划”特聘教授
刘伟铭 华南理工大学交通学院教授
裴玉龙 哈尔滨工业大学教授
施树明 吉林大学交通学院教授
邵春福 北京交通大学副主任委员、教授
王 炜 东南大学交通学院院长、教授
王殿海 吉林大学交通学院教授
许伦辉 华南理工大学交通学院教授
杨晓光 同济大学交通工程系、智能交通系统研究中心主任、教授
张 毅 清华大学自动化系教授

前言

随着我国经济和社会的迅猛发展,物质与人员流动的日益频繁,私人小汽车数量的急剧增加,城市交通更加繁忙。“交通拥挤”、“交通安全”已成为随处可见的话题。面对由于经济和社会发展带来的种种交通问题,国内外交通学者一齐将目光投向了智能交通系统(Intelligent Transport Systems, ITS),希望通过发展智能交通来解决传统交通工程方法难以解决的交通痼疾。

智能交通系统作为一个蓬勃发展的事物,其内涵随着技术和需求的变化而不断扩展和变化。它是以完善的基础设施为基础,将交通工程学理论与通信技术、控制技术、系统工程方法及人工智能等先进的技术和方法有效地结合,从而建立起大范围内发挥作用的,实时、准确、高效的运输系统。

智能交通之所以被寄予厚望,是因为其具有传统交通所无法比拟的优势,可以从以下三个层面来描述。从公众的角度看,智能交通系统能简化人们在进行交通行为时所遇到的交通问题的处理过程,确保交通参与者的安全,提高时效性,增加便捷性和舒适性,达到环保、节能的功能。从交通运输企业的角度看,一方面,智能交通系统可以帮助企业对自有资源进行合理调度和配置,降低生产成本,减少不必要的损失;另一方面,智能交通还可以有力地带动制造业、IT业和服务业等行业的发展,形成新的产业,比如“交通科技产业”等,这对于我国这样一个发展中国家来说意义尤其重大;从政府的角度看,智能交通有助于政府最佳地利用现有基础设施、信息、财政、人力和物力等资源,缓解交通资源供需矛盾,提高政府管理能力,改善政府公众形象。从社会经济层面来说,智能交通所创造的价值将非常巨大。据分析预测,在采用ITS后,到2025年日本每年可以减少12.3兆日元的经济损失;欧洲可减少交通事故、交通堵塞和环境污染等带来的经济损失达5550~5600亿欧元,同时可增加1000亿欧元的市场规模。我国通过ITS建设也大大带动了相关产业的发展,由此带来的新增业务与原有业务产生的增值业务年产值正迅速提高。

虽然我国研究ITS起步比较晚,但在ITS巨大的利益驱动下,已经引起了全国众多学者、技术人员等社会各届的广泛关注。目前已有80多家高校设立了交通工程相关专业,每年都能培养出数百名交通专业高级人才。智能交通事业具有很大的市场潜力,也取得了一定的成果。目前,我国智能交通系统已在技术攻关、示范工程建设、企业产品研发和产业化以及社会环境体系建设等方面取得了一批阶段性成果,有的已在大中城市道路运输中取得良好效益,这表明智能交通系统已进入实质性的工程建设、应用阶段。随着大量交通技术从研究阶段过渡到了实际应用阶段,智能交通的魅力才得到了有形的展现。如ITS共用信息平台的建立让出行者享受到了未出门尽知路面交通状况的方便,高速公路电子收费(ETC)让司机体验到了不停车就能缴费的快乐,区域自适应信号控制让管理人员见识了不用指挥就可以完成复杂信号控制的神奇,等等。这些成果无一不是建立在大量的先进交通技术研究基础之上,如交通信

息采集与分析技术、车路间通信技术、交通信号协调控制技术等。但是我们也应该看到现有成果还是非常有限的，也很不成熟。尤其是在部分高智能化领域，如辅助决策、动态交通诱导、微观交通仿真、交通安全与救援等方面，国内研究的水平并不高，离实际应用距离还比较远。这些领域需要更多更先进的技术作为支撑，通过融合多种先进技术，特别是人工智能技术，来提高相应交通子系统的智能化水平。

人工智能技术是用人工的方法模拟人类智能的一种技术。早期的人工智能技术主要是指路径搜索、知识推理和规则语言等技术和方法，后又发展为知识库、专家系统、知识获取和表现、推理方法等工具和方法。正是由于人工智能技术能够让计算机学会分析、识别、判断和决策，所以在智能交通领域可以用它来解决一些很复杂的问题，比如运用人工智能识别技术进行车牌图像识别、交通数据的深层次处理、交叉口自适应信号控制、辅助决策等。这些应用已经取得了良好的实际效果。可以预见，在今后的研究中，人工智能技术将在智能交通领域得到更广泛的应用，两者的结合也将更加紧密。

虽然拥有大量先进技术融入到智能交通领域之中，但是由于各方面的原因，我国智能交通发展程度还是比较低。如何利用智能交通技术改善交通现状，尤其是改善城市交通的拥挤现状，以及如何形成具有一定规模的“交通科技产业”，这些对我们来说既是机遇，也是挑战，需要交通领域的广大研究人员群策群力，只有形成了合力，方能得到妥善的解决。因此，为了鼓励和增进交流，开展以 ITS 为主题的学术研讨会具有很重要的意义。此前国内外已举办了大量关于智能交通系统的研讨会，规模和影响都很大，但是将人工智能与智能交通结合在一起进行讨论还没有先例。

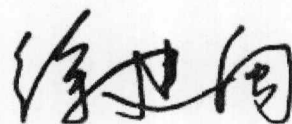
为促进人工智能在智能交通系统研究领域的应用，共同探讨人工智能与智能交通的交叉融合，探索智能交通系统相关理论的研究、实践及其发展方向，中国人工智能学会智能交通专业委员会与交通计算机应用信息网联合发起，于 2006 年 12 月在华南理工大学召开“第一届中国智能交通与人工智能学术会议”，议会的主题是“智能交通技术研究与应用”。此次会议的召开得到了中国人工智能学会智能交通专业委员会、国家智能交通研究中心、交通计算机应用信息网、《交通与计算机》杂志社、华南理工大学等众多机构和高校的大力支持。在组委会的组织策划下，相信本次会议将对我国智能交通事业的发展具有较大的裨益。

本次会议还得到了众多高校、研究机构和企事业单位的踊跃参与和支持，共收到投稿论文 100 余篇，经组委会认真审查，反复核对，精选出部分论文结集出版。本论文集内容包括智能交通系统中的交通信息采集与分析、交通管理与控制、交通建模与仿真、事件检测与紧急救援以及其他相关技术的研究与应用。本书反映了国内智能交通系统的发展现状与趋势，跟踪了国内外智能交通技术研究领域的研究热点、难点，总结并凝炼了中国智能交通领域的研究成果，对智能交通技术的研发及产业化进程将产生积极而深远的影响。

该论文集的出版可为学者及研究开发人员、国家或地方政府机构交通部门官员、城市规划人员、服务开发商与提供商、设备制造商与供应商、学生以及所有对智能交通感兴趣的人士提供有益的借鉴和参考。但由于时间比较仓促，加之存在其他一些条件的限制，论文集中

定有不足之处，欢迎各位读者批评指正。

在“学术会议”召开及其论文集出版之时，衷心地感谢为此作出诸多贡献的同仁，他们是武汉理工大学副校长严新平教授、清华大学张毅教授、吉林大学施树明教授、东南大学王炜教授、同济大学杨晓光教授、东南大学陆键教授、哈尔滨工业大学裴玉龙教授、北京交通大学邵春福教授、吉林大学王殿海教授、华南理工大学靳文舟教授、许伦辉教授、刘伟铭教授等，以及组委会的各位委员和华南理工大学出版社的相关人员。同时，我的助手卢凯、游峰，研究生李建军、郑喜双、程微、邹华冰、任壬、傅惠、梁俊斌、熊文华、卞建勇、袁炜灯、金照、沈文超、杨凌曦、首艳芳、林思、徐萌、焦光庭等同学也为“学术会议”召开和论文集的出版做了大量的工作，在此一并表示感谢！



2006年11月于华南理工大学

目 录

第一部分 交通信息采集与分析

基于 GPS 的实时公交车辆到达时间预测方法研究	罗虹 孙棣华 (3)
车载式城市道路三维信息快速采集系统	苏岳龙 姚丹亚 张毅 李贻斌 (9)
公路交通能见度识别的直方图算法	熊和金 段晓秀 (14)
基于视频的车辆超高检测方法	刘勃 (19)
基于特征的城市交通流状态预测与判别	谭裕安 洪勤民 黄健新 蔡燕飞 翁小雄 (24)
基于图块 RGB 色值稳定性的交通视频背景提取算法	杨新苗 李小鹏 周晋宇 蔚欣欣 (29)
基于微波仪器检测的城市快速路交通分析	郭秀春 骆勇 朱栗漓 周维 (34)
基于小波的运动车辆检测与跟踪	贾诚毅 刘伟铭 (39)
交通信息数据共享体系构建方案研究	周文霞 徐建闽 刘正东 (43)
可变情报板在城市快速路中的应用研究	许伦辉 王倩雨 (47)
路面破损类型自动识别方法与实现	龙梅 陈先桥 吕植勇 (52)
面向城市交通的地理信息系统研究	曹学军 张飞舟 孙敏 (56)
智能交通 OD 数据采集处理与应用	陈少惠 (61)
ATIS 对出行者出行路径选择模式的影响分析	贾森 邵春福 (65)
基于小波变换的车牌字符识别算法	秦钟 徐建闽 (69)

第二部分 交通管理与控制

城市交通控制系统研究热点与现状	周申培 吴超仲 严新平 (77)
城市摩托车交通的管理对策探讨	曾华燕 徐建闽 (82)
多级分区交通出行诱导系统结构设计	李文勇 陈学武 陆键 (86)
公共交通智能化调度应用研究	韩 印 江丽炜 卢伟 (92)
公路平交口交通安全管理系统的设计与实现	项勤毅 陆键 项乔君 潘福全 (97)
基于 NTCIP 的交通信号控制系统通信协议的研究	刘天良 徐建闽 (102)
交叉口时空资源优化配置软件系统设计	林晓辉 徐建闽 李建军 杨传岗 (107)
基于分离混合交通流的自行车交通组织方法研究	裴玉龙 杨紫松 (113)
基于力控组态软件的交通信号灯监控系统设计	任壬 徐建闽 李建军 (117)
一种基于 IPv6 的树状网络交通设施管理模型	陈倩 陈煜东 李志恒 张佐 (121)
一种基于泛布尔代数的交通信号控制模型	徐华中 孟先军 (127)
面向动态交通分配的道路网络扩展研究	李建军 徐建闽 林晓辉 任壬 (132)
基于 IPv6 的交通设施管理模型研究	段后利 张毅 李志恒 (137)
对深圳市快速公交系统 (BRT) 建设的思考	房金妮 徐建闽 (143)

入口匝道协调控制仿真研究	卢旺仪 许伦辉 (147)
--------------------	---------------

第三部分 交通建模与仿真

车辆运行系统的非线性及驾驶员模糊控制模型	刘丽 施树明 李克宁 邹归林 (155)
道路网络加载问题的解析模型	马银波 (162)
改进的蚁群算法在城市道路网搜索最短路径中的研究	高扬 郭俊发 周静 (168)
公路客运量的计量经济模型	袁征 郭俊发 (173)
基于 VISSIM 的信号交叉口公交专用进口道设置评价	郑喜双 徐建闽 程微 (177)
基于有限状态机的驾驶考核模型	马明 高嵩 严新平 (181)
基于元胞自动机与 Agent 的行人过街仿真模型研究	张译 段后利 张毅 (185)
应用 Matlab 界面模拟交通流曲线	温惠英 沈芬 (191)
先进列队行驶模拟系统的车队设计	樊喆 吴青 初秀民 (197)
城市路网道路改造转移流量预测	周德强 徐建闽 邵源 曾华燕 曾悦 (201)

第四部分 事件检测与紧急救援

超速事故严重性模型及预防对策研究	邹华冰 徐建闽 (209)
高速公路紧急救援系统的体系框架与实施方案研究	柴干 杨晓光 (214)
高速公路紧急救援系统可靠性分析	肖殿良 陈红 (219)
高速公路应急系统单救援服务点选址问题研究	濮居一 柴干 (223)
公路交通事故黑点信息分析系统的设计	陈彦美 柴干 过秀成 (227)
紧急事件下高速公路交通管制对策初探	周莎莎 柴干 (231)

第五部分 其他

AGV 视觉导航中路标识别方法的研究	赵玲 刘清 (239)
城市道路可靠性分析方法研究	龚翔旻 张和生 张毅 胡坚明 (245)
单起讫点交通网络设计中诡异现象的研究	程微 徐建闽 郑喜双 (250)
高速公路电子收费系统评价指标体系及方法研究	熊文华 徐建闽 杨传岗 (255)
环境部分未知的移动机器人路径规划 D*算法改进	刘亮 郭建明 (260)
混合交通行为研究综述	苏岳龙 姚丹亚 张毅 (265)
基于 586E 平台中压共轨船用柴油机电子监控系统的设计	王勇峰 刘清 李煜辉 (275)
基于层次分析法的商业区单向路网适应性评价	邵源 徐建闽 周德强 (280)
基于位置的服务体系结构与应用模式分析	曹学军 张飞舟 孙敏 (285)
一种对称智能排样方法	张玉萍 (289)
复杂网络的免疫策略在交通网络中的运用	彭文菁 熊和金 (295)



第一届
2006

智能交通技术研
究与应用
智能交通与人工
智能学术研讨会
论文集

第一部分

交通信息采集与分析



基于 GPS 的实时公交车辆到达时间预测方法研究

罗 虹, 孙棣华

(重庆大学自动化学院, 重庆 400044)

摘 要: 公交车到达时间预测是公共交通信息服务系统的重要内容之一, 提高时间预测质量对改善公交服务质量、促进人们选择公交出行起到积极作用。本文分析了实时预测公交车到达时间的意义以及现有的预测模型, 并利用车辆定位追踪、GIS 地图匹配以及道路交通状态检测等技术, 提出一种实时预测公交车到达下游站点时间的算法。算法以 GPS 定位数据为基础, 综合考虑了道路路段平均速度、车辆即时速度、到站距离等因素对到达时间的影响。本文仿真实验结果证明了该算法的有效性。

关键词: 全球定位系统; 地理信息系统; 地图匹配; 公交车到达时间; 道路路段平均速度

中图分类号: U491.1⁴ **文献标识码:** B

1 引言

作为公共交通信息服务系统的重要内容之一, 公交车到达时间预测对改善公交运输的服务质量、促进人们选择公交作为基本的出行方式起着积极的作用。公交车辆控制中心通过对大量的车辆实时预测时间信息的分析, 动态地调度和管理车队^[1]。实时的公交车到达时间预测不但能缓解候等乘客的焦急情绪、使乘客合理地分配出行时间、方便乘客乘坐或换乘公交车、吸引更多的出行者乘坐公交车, 还能为科学调度公交车辆提供依据^[2]。因此, 提供准确的到达时间预测, 可以提高公交系统的运营效率, 促进公共交通事业的持续发展, 从而缓解城市的道路交通压力。

在国外, 关于到达时间预测的研究起步较早。基于历史数据模型、多变量衰减模型和基于人工神经网络模型成为当前普遍采用的三种到达时间预测模型。

基于历史数据的到达时间预测模型以大量历史数据为基础, 假设公交车的实际行驶情况与历史行驶情况相似。比较典型的模型有 Weihua Lin 和 Jian Zeng 在美国维吉尼亚为无交通堵塞的乡村线路设计的实时公交车辆到达时间预测算法^[3], 以及 Brendan Kidwell 提出的利用 1min 行程时间区域对公交车到达时间进行预测的方法^[4]。该类模型原理易懂、操作简单, 因此被广泛采用。但模型忽略了城市交通状况的复杂性, 因此, 预测精度有限, 实用性不强。

多变量衰减预测模型是以大量独立的影响因

素建立表征公交车到达时间的预测函数。典型算法有 Jayakrishna Patnaik 等综合上下乘客数、到站距离、时段等因素建立的公交车到达时间预测模型^[5]。较之基于历史数据模型, 该模型可充分考虑多种影响因素, 但却要求各因素相互独立。实际上, 大多数交通变量之间都是密切联系的, 因而在很大程度上限制了其应用。

早在 20 世纪 90 年代, 交通领域开始广泛采用人工神经网络模型。当前它已成为倍受推崇的一种公交车到达时间预测模型。Ranhee Jeong 和 L. R. Rilett 利用人工神经网络技术建立公交车到站时间预测模型, 通过预测结果的平均绝对百分误差 (MAPE), 肯定人工神经网络模型优越的预测性能^[6]。但是, 神经网络的训练函数、学习函数以及一些参数的选择却需要经验或试取, 并且网络训练时间较长, 因此, 实时性难以保证。

在我国, 具有预测站点、到站距离或时间功能的电子站亭虽然也陆续出现在一些大城市的公交站台上^[7], 但针对公交车到达时间预测的研究仍在起步阶段。

由于实时更新的道路路段平均速度能体现出当前时段车辆的行驶状况, 因此, 本研究将其作为到达时间预测的主要影响因素, 结合地图匹配技术, 并基于历史数据和多种因素 (诸如: GPS 即时速度、到站距离、站点滞留时间及车辆阻塞情况等) 与到达时间的关系, 提出一种新的实时公交车到达时间预测方法。

2 公交线路线性化与公交车实时定位追踪

2.1 公交线路线性化

在地理信息系统中,实际弯曲、非线性的公交线路是以连续线段表示的。但是,这些线段通常较长,直接使用不利于车辆准确的追踪定位及位置参数的计算。因此,需要对实际路线进行更加细致的线性化处理。本文利用若干连续的、距离不超过100m的线段(称为链节)拟合实际路线,并将线段端点(称为节点)的经纬度坐标按照公交车行驶经过的顺序依次存入路线文件中。

公交线路线性化处理充分利用公交线路已知这一优势,为公交车准确的追踪定位及实时的车-站距离等地理信息的计算提供了条件。同时,通过对各链节按照公交车行驶经过的顺序进行唯一编号,可以区分公交车反复经过同一路段的情况。

2.2 公交车实时定位追踪

一般地,假设地球为圆球体,其上任意两位置点曲面距离的计算方法如式(1):

$$L = \arccos(\sin(y_o) \sin(y_e) + \cos(y_o) \cos(y_e) \cos(x_o - x_e)) \cdot R_e \quad (1)$$

其中, R_e 为地球半径; (x_o, y_o) 和 (x_e, y_e) 分别为任意两位置点(经纬度)。

基于线性化公交线路,由式(2)将接收到的实时GPS定位数据匹配到相应的链接上。

$$D_i = L_{cu} + L_{cd} - L_{ud} \quad (2)$$

其中, L_{cu} 为公交车的当前位置 (x_c, y_c) 到链节 i 的上游节点 (x_{ui}, y_{ui}) 的曲面距离; L_{cd} 为公交车的当前位置 (x_c, y_c) 到链节 i 的下节点 (x_{di}, y_{di}) 的曲面距离; L_{ud} 为链节 i 的上、下游节点 $(x_{ui}, y_{ui}), (x_{di}, y_{di})$ 的曲面距离。

表达式 D_i 非负。规定:若 $D_i \leq M$ (M 为阈值),则公交车所在位置可能在链节 i 上;反之,则不在。因此,查找所有满足 $D_i \leq M$ 的 D_i 值最小的链节,即为公交车所在的链节。

3 实时的公交车到达时间预测

公交车在行驶中受到诸如交通状况、到站距离、上下乘客数、道路条件、行驶速度、时刻表及天气条件等众多因素的影响。因此,设计合理的公交车到达时间模型应考虑这些因素。但是,将所有

的因素纳入考虑范畴是不现实且难于实现的。因此,本文针对所研究城市的地理特征和公交系统的运行情况,综合考虑道路路段平均速度、GPS 即时速度、到站距离、站点滞留时间及车辆阻塞情况等因素,建立到达时间的实时预测模型。

3.1 道路路段平均速度

根据不同区域的街道、十字路口、单或多行道等地理特征将公交车行进的整个道路分成若干路段。由于当前行驶的公交车辆的真实行驶速度总是围绕最近时段的道路路段平均速度上下波动,因此,道路路段平均速度能够很好地反映公交车的总体行驶情况。为此,将其引入到达时间预测模型。当路段上GPS公交车不断增多,道路路段平均速度将随着时间和空间的变化不断被更新,使其更能体现出当前时段车辆的行驶状况。

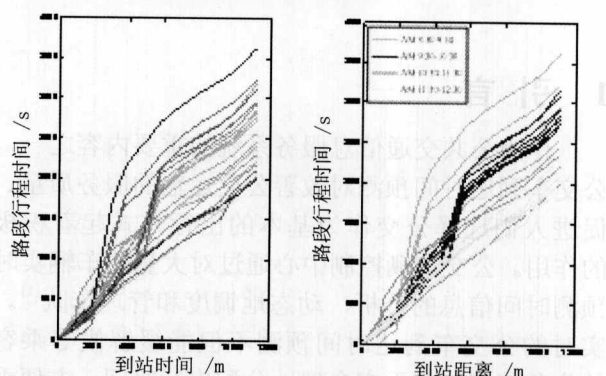


图1 路段行程时间和按时段聚类的路段行程时间

图1为任意一天的通过路段行程时间表明路段平均速度(斜率)在不同时段呈现不同趋势。在大多数时段内,各公交车的平均行驶速度比较一致,因此道路路段平均速度相对稳定(集中),但在8:30~9:30时段内,由于处在上班高峰期,人流、车流增多,交通状况复杂,造成各公交车的平均速度差异相对较大,从而导致道路路段平均速度不稳定(分散)。总的来看,对路段平均速度按时段聚类仍是必要的。

3.2 公交车到达时间预测算法

预测公交车到达下游站点的速度是预测到达时间的基础。Li等人提出了一种基于路段历史平均速度和公交车即时行驶速度的预测算法^[8],如式(3)所示。

$$v = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} v_{ai} + v_r}{n} \quad (3)$$

其中： v_{ai} 为路段 i 的历史平均速度； v_r 为即时速度； $n-1$ 为到达站点需经过的路段数。

分析整个行程，公交车速度的突变很频繁，加之 GPS 即时速度精度不高以及路段历史平均速度不能充分反映当前时段的车流速度，上述方法预测速度的精度不高。因此，基于实时更新的道路路段平均速度，本文将速度预测限制在一个路段内，即：仅预测公交车到达所在路段段尾处的速度，由此避免在车距站较远时，速度预测的盲目性。方法是：在一个路段内，将当前时段的道路路段平均速度、当前 GPS 即时速度以及前 n 次获得的 GPS 即时速度进行加权平均，其中，权重参数由距离、是否发生堵塞等因素综合确定。

公交车到达下游站点的时间：

$$t = \frac{s_i}{v_i} + t_{i+1} + t_{i+2} + \dots + t_n + t_d \quad (4)$$

其中， s_i 为到达所在路段 i 末端的距离； v_i 为路段 i 内的预测行驶速度； t_n 为以该时段各路段平均速度行驶所需要的行程时间； n 为到达预测站点需经过的路段数； t_d 为所经各站点平均滞留时间之和。

由于道路路段平均速度比路段历史平均速度更能反映当前时段内车辆的行驶情况，因此，本算法比基于路段历史平均速度的算法更为合理。此外，在一个路段内进行速度预测，避免在车距站较远时较大的预测误差。

4 预测实验及结果分析

本文选取重庆市公交 871 线路进行预测实验（如图 2 所示）。重点研究巴山站-观音岩站（东向）和观音岩站-巴山站（西向）的到达时间预测情况。实验路线全长约 22.8km，东、西向各 14 个车站。相邻站点间距离如表 1 所示。GPS 定位数据来自 36 辆 871 路公交车的车载 GPS 设备，每条 GPS 数据都包含设备 ID、时间、经度、纬度以及速度等信息。GPS 设备的采样周期约 26s。

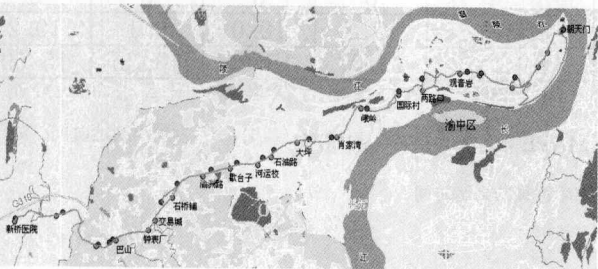


图 2 重庆市公交 871 线路

表 1 公交 871 线路东、西向上的站间距离

东向		西向	
公交车站	站间距离/m	公交车站	站间距离/m
巴 山	0	观音岩	0
钟表厂	993.2	两路口	1418.7
交易城	230.5	国际村	851.3
石桥铺	708.3	鹅 岭	1107.2
渝洲路	1101.2	肖家湾	1310.4
歇台子	729.5	大 坪	646.6
河运校	711.3	石油路	978.1
石油路	423.0	河运校	352.8
大 坪	871.2	歇台子	741.3
肖家湾	1153.0	渝洲路	695.3
鹅 岭	1075.7	石桥铺	985.6
国际村	1208.1	交易城	890.1
两路口	774.8	钟表厂	386.2
观音岩	1182.8	巴 山	1109.6

首先，按上述方法实现公交车辆的实时定位追踪。将追踪到的链节上的公交车定位点通过地图匹配处理后，结合线性化路线信息，计算获得车到站的距离相对电子地图获得的距离非常接近，其误差不超过 5%，表 2 是部分计算结果。

其次，利用本文提出的算法进行到达时间预测。通过比较可知该算法的预测效果明显优于基于路段历史平均速度和公交车即时行驶速度的预测算法（如图 3 所示）。此外，通过不断获得 GPS 定位数据，在预测的同时可根据连续的车辆位置判断是否出现堵塞。一旦出现堵塞则需对预测时间进行处理或直接给出堵塞警告。图 3 中第 23 个采样点判断出堵塞，其预测结果较差，因此可以采取上述方法处理。

表 2 利用定位追踪结果实时计算公交车到站的距离

记录号	到达站站名	计算距离 /m	实际距离 /m	精度/%
1	钟表厂	951	947	99.5
2	钟表厂	292	295	99.1
3	钟表厂	147	153	96.2
4	交易城	181	180	99.2
5	交易城	102	100	98.4
6	石桥铺	698	698	99.9
7	石桥铺	489	480	98.2
8	石桥铺	93	91	97.9
9	渝洲路	1078	1087	99.1
10	渝洲路	734	740	99.3
11	渝洲路	357	355	99.5
12	歇台子	615	616	99.7
13	歇台子	364	364	99.8
14	歇台子	122	119	97.2
15	河运校	659	660	99.7
16	石油路	404	407	99.3
17	石油路	351	352	99.6
18	石油路	166	168	97.2
19	大坪	817	821	99.5
20	大坪	631	632	99.7
21	大坪	158	161	97.9
22	肖家湾	1134	1142	99.3
23	肖家湾	726	731	99.4
24	肖家湾	523	527	98.6
25	鹅岭	1001	1004	99.6
26	鹅岭	540	535	99.1
27	鹅岭	326	324	99.5
28	国际村	1142	1150	99.3
29	国际村	37	35	95.1
30	两路口	151	155	97.6

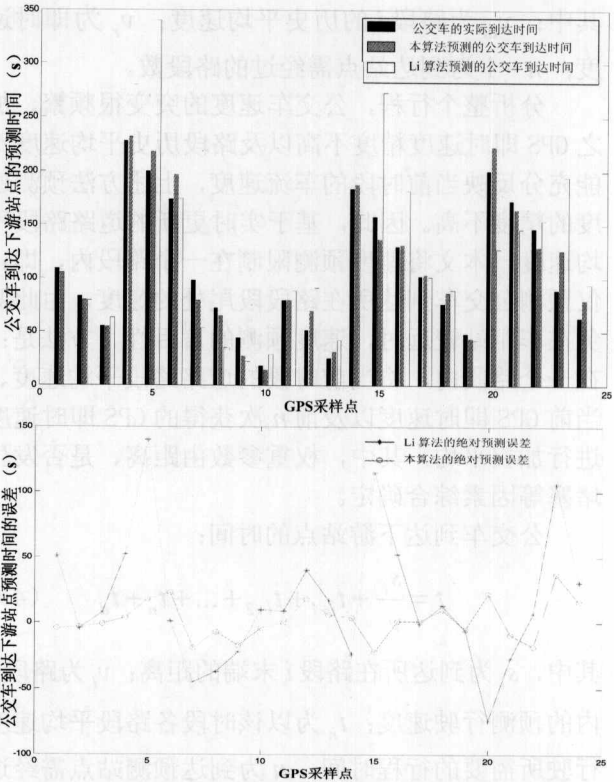


图 3 本算法与 Li 算法的到达时间预测效果比较图

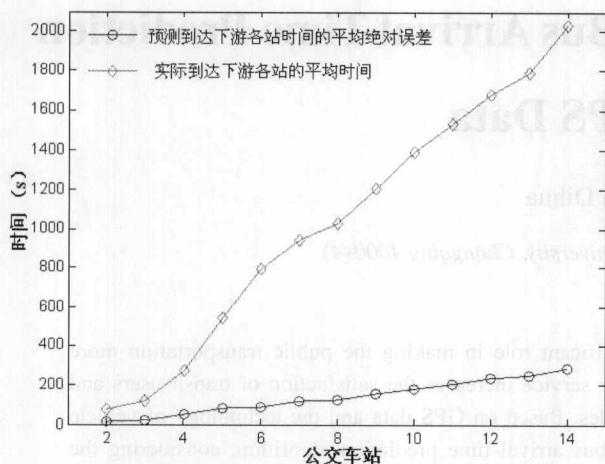
总体上，该算法是有效的，如表 3 所示。但是，正如前文所述，预测结果受当前时段的路段平均速度影响。在上班高峰的早上 8:00 至 9:00 时段，交通状况复杂，各辆公交车的速度相差较大，该时段的路段平均速度不能很好地反应出各辆车的行驶情况。因此，该时段的预测结果比其他时段的预测结果略差。比较四个时段的平均绝对百分误差，非高峰期的 10:30 至 11:30 的预测效果最好。

表 3 各时段预测结果的误差分析

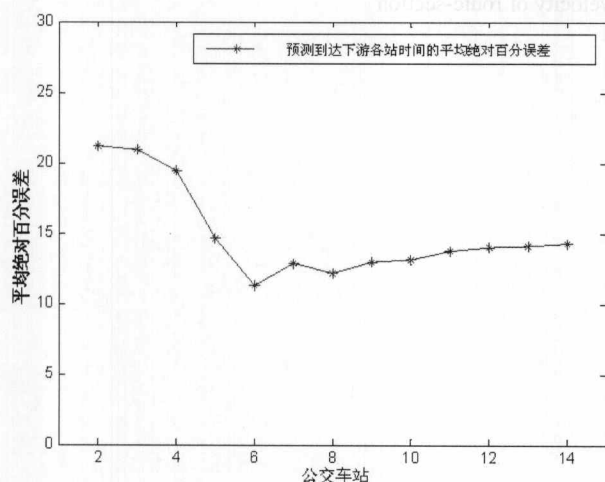
误差	a. m. 8:30— 9:30	a. m. 9:30— 10:30	a. m. 10:3— 11:30	a. m. 11:3— 12:30
GPS 记录数/s	1181	918	1113	516
最大误差 /s	186	110	152	170
最小误差 /s	0	0	0	0
平均误差 /s	13.2	10.0	9.1	10.2
MAPE/%	19.07	15.06	13.76	15.69

注：MAPE 为平均绝对百分误差，计算公式一般为：

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|t_i - t_o|}{t_o} \times 100\%$$
 其中， t_i 为预测到达时间； t_o 为实际测量的到达时间。



(a) 预测公交到达时间与平均绝对误差



(b) 平均绝对百分误差

图4 预测公交到达时间的误差变化趋势图

此外,通过测试 500 多条 GPS 数据对应的车辆到达下游各个站点的时间,获得预测算法的预测效果随到站距离增加而呈现的变化趋势。如图 4 所示,预测的平均绝对误差随着距离和实际到达时间的增加而增加,但其平均绝对百分误差却减少并逐渐趋向稳定。

5 结论

本文基于公交车辆 GPS 定位数据以及对主要影响因素的分析,提出一种公交车辆到达时间实时预测算法。实验表明预测效果受时段和地段影响,但预测精度不会因到站距离的增加而降低,且总体预测精度满足实用要求。

参考文献

- [1] Sun Dihua, Fu Liping. Cellular phone based real-time bus arrival information system. Proceedings of the Eighth International Conference on Applications of Advanced Technologies in Transportation Engineering, Beijing, China. May, 2004: 26-28
- [2] Fu Liping, Yang Xuhui. Design and implementation of bus-holding control strategies with real-time information. Transportation Research Record 1791:6-12
- [3] Lin Weihua, Zeng Jian. An experimental study on real time bus arrival time prediction with GPS data. TRB 78th Annual Meeting (CD-ROM), January 1999
- [4] Brendan Kidwell. Predicting transit vehicle arrival times. GeoGraphics Laboratory. http://www.e-transit.org/eta/paper/predicting_transit_vehicle_arrivals.pdf. 2001
- [5] Jayakrishna Patnaik, Steven Chien, thanassios Bladikas. Estimation of bus arrival times using APC data. Journal of Public Transportation, Vol. 7, No. 1, 2004
- [6] Ranhee Jeong, Arence R ilett. Bus arrival time prediction using artificial neural network model. The IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, Washington D. C, USA, Oct, 2004:3-6
- [7] 信息化: 电子公交站牌 等车能看“全明星”. <http://www.mie168.com/news/2005-02/50831.htm>. 2005.2.26
- [8] Li Weigang, Marlon W., et al. Algorithms for estimating bus arrival times using GPS data. The IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Systems. Singapore, September, 2002: 3-6