

文章编号:1671-1637(2016)02-0143-07

基于驾驶人路径选择偏好的 OD 行程时间预测方法

孙 健^{1,2}, 张 颖^{1,2}, 张 纯²

(1. 上海交通大学 海洋工程国家重点实验室, 上海 200240; 2. 上海交通大学 交通研究中心, 上海 200240)

摘 要:以广东省深圳市 3 000 余辆浮动车近 300 万组数据为基础,以地理信息系统技术为主要工具,以最具代表性的深圳市福田区与罗湖区为研究区域,确定了不同起讫(OD)点扩展半径。以浮动车唯一编号进行地图匹配,根据确定的研究区域与扩展半径,获取了浮动车 OD 路径与行程时间。确定了驾驶人在进行路径选择时的时间与空间偏好,建立了基于路径选择偏好的 OD 行程时间预测方法。以平均绝对百分比误差、均方根相对误差与最大相对误差为指标,对基于最短路径、最快路径与偏好路径的 3 种行程时间预测方法进行比较。比较结果表明:与基于最短路径的预测方法相比,采用提出方法的平均绝对百分比误差、均方根相对误差与最大相对误差分别降低了 66.51%、61.24%、61.47%;与基于最快路径的预测方法相比,采用提出方法的平均绝对百分比误差、均方根相对误差与最大相对误差分别降低了 63.64%、59.70%、58.99%,因此,采用基于驾驶人路径选择偏好的 OD 行程时间预测方法可以显著提高 OD 行程时间的预测精度。

关键词:OD 行程时间预测方法;路径选择偏好;地理信息系统;地图匹配;浮动车数据

中图分类号:U491.1

文献标志码:A

Prediction method of OD travel time based on driver's route choice preference

SUN Jian^{1,2}, ZHANG Ying^{1,2}, ZHANG Chun²

(1. State Key Laboratory of Ocean Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China;

2. Transportation Research Center, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: Based on about three million data of more than 3 000 floating cars in Shenzhen City of Guangzhou Province, geographic information system (GIS) technology was used as main tool, the representative Futian and Luohu Districts were used as study areas, and the expansion radii of different OD pairs were determined. Map matching was processed by using the unique number of floating car, the OD path and travel time of floating car were obtained according to the determined study area and expansion radius. The driver's temporal and spatial preferences during route choice were determined, and the OD travel time prediction method based on the route choice preference was established. Using the mean absolute percentage error (MAPE), the root mean square relative error (RMSRE), and the maximum relative error (MRE) as indicators, the travel time prediction methods based on the shortest route, the fastest route and the preference route were compared. Comparison result indicates that compared to the prediction method based on the shortest route, the values of MAPE, RMSRE, and MRE of proposed method decrease by 66.51%, 61.24%, and 61.47% respectively, compared to the prediction method based on the fastest route, the values of MAPE, RMSRE, and MRE of proposed method decrease by

收稿日期:2015-09-15

基金项目:国家自然科学基金项目(71101109);教育部人文社会科学研究项目(15YJCZH148);上海市科委“科技创新行动计划”项目(15692105400)

作者简介:孙 健(1978-),男,安徽芜湖人,上海交通大学研究员,工学博士,从事城市驾驶行为与环境研究。

63.64%, 59.70%, and 58.99% respectively, so the prediction precision of OD travel time is significantly improved by using the prediction method of OD travel time based on driver's route choice preference. 3 tabs, 8 figs, 21 refs.

Key words: prediction method of OD travel time; route choice preference; GIS; map matching; floating car data

Author resume: SUN Jian(1978-), male, researcher, PhD, +86-21-34206674, danielsun@sjtu.edu.cn.

0 引 言

城市交通行程时间是居民出行关注的要素,传统基于路段的起讫点(OD)行程时间预测与动态路径行程时间预测,往往假设驾驶人沿着理想最短路径或最快路径行驶^[1-3]。苏永云等基于车辆导航系统中路径诱导信息的供给与需求,提出了路段动态行程时间预测模型与多端动态最短路径改进算法^[1];Miwa 等基于浮动车数据(Floating Car Data, FCD)确定车辆行驶路径,建立了基于路段的路径行程时间预测模型^[2];姚丽亚等利用设置在路段上的车辆自动检测装置检测实时交通信息,建立了城市道路路段行程时间的动态计算模型,提出了一种实时动态的最短路径选择方法^[3]。然而,驾驶人实际驾驶路径与理想最短路径和最快路径究竟有多大程度偏差尚缺乏研究,本文尝试对可能存在的偏差程度进行分析。

目前,多种数据采集技术被应用于路段或路径行程时间预测,如固定检测器、手机、浮动车等。Kwon 等基于固定检测器的流量和占用率信息与行程时间的历史信息,给出了高速公路行程时间的预测方法^[4],固定检测器能提供实时的交通数据,较适用于主要道路的路段行程时间预测,但不易进行 OD 分析,且在安装时需损坏道路路面;Ygnace 等评价了手机作为交通检测器的可能性,将其应用于高速公路的行程时间预测^[5],基于手机的交通数据采集具有成本低的优势,然而在短时间内较难解决其定位精度与用户隐私问题。

一些学者把目光投向了浮动车数据的研究。Berry 等应用浮动车数据评估城市道路行程时间^[6];陈小鸿等以广深高速公路同乐-宝安机场段为例,证明了浮动车数据对于描述交通条件变化较为频繁的城市交通行程时间,可靠性较强^[7];Li 等利用模糊规则将浮动车数据进行分类,并且比较了预测行程时间与浮动车数据获得的平均行程时间^[8];Nanthawichit 等利用浮动车数据进行了行程时间预

测,并且将其与没有浮动车数据的行程时间预测进行对比分析^[9];张和生等对浮动车 GPS 数据进行修正,并且根据 GPS 数据量的不同,对大样本数据量采用样本均值估计路段平均行程时间,对小样本数据量采用顺序中位数估计路段平均行程时间^[10];李慧兵等在交通仿真研究中,根据浮动车目标数据点存在区域的不同对数据进行了分类,建立了基于不同数据条件下的行程时间估计模型,并运用 VISSIM 仿真软件进行验证^[11];Rice 等运用单线圈、双线圈、视频与浮动车数据,利用行程时间数据在时间序列上的相关性得到了一种简单有效的预测方法^[12];方路平等考虑了低采样率条件下信号交叉口对行程时间预测的影响,得到一种适用于小样本的预测模型^[13];杨兆升等结合固定型检测器数据与浮动车数据,运用自适应指数平滑法,获得了不同可靠度下的路段行程时间预测算法^[14]。

通过对各种数据采集技术进行对比,可看出浮动车数据具有覆盖率大、实时性强、获取方便、成本低廉的特点,能较简单地对任意 OD 进行分析,因此,本文采用出租车浮动车数据对 OD 行程时间进行预测,通过安装在出租车上的 GPS 设备,每隔 30 s 收到一组记载当前时间、车辆瞬时速度、载客状况与经纬度坐标等信息的数据,借助这些信息,对所有出租车行车轨迹进行追踪,利用地图匹配方法得到较准确的驾驶人实际行驶路径^[15-17],再利用定性与定量方法对驾驶人偏好进行分析,建立基于路径选择的 OD 行程时间预测模型,进而提高行程时间的预测精度。

1 基于 FCD 的 OD 路径与行程时间获取

1.1 地图匹配

本文借助出租车浮动车数据进行行程时间预测,主要针对有经验驾驶人的实际路径选择行为与出行时间进行分析。出租车浮动车数据主要指通过安装在出租车上的 GPS 设备,每隔 30 s 收到的一组

记载有当前时间、车辆瞬时速度、载客状况与经纬度坐标等信息的数据。具体数据结构见表 1。

表 1 浮动车数据结构

Tab. 1 Structure of FCD

数据	备注
时间	车辆处于某一位置的时间
车辆编号	车辆的唯一编号
经度	车辆的经度信息,为双精度
纬度	车辆的纬度信息,为双精度
速度	车辆的实时速度,为双精度
方向角	车辆与正北方向的夹角,为双精度
运营状况	车辆的载客状态,为 0-1 变量,载客为 1,空载为 0

由于 GPS 设备偏差与外部环境的影响,如隧道、高楼等,原始浮动车点不能很好地定位到道路,因而需要进行地图匹配。本文借助 ArcGIS 10 软件,将所有浮动车数据点匹配到最近路段,匹配结果见图 1。由于出租车空载时可能存在寻客行为^[18],分析时剔除空载数据,仅考虑载客数据。

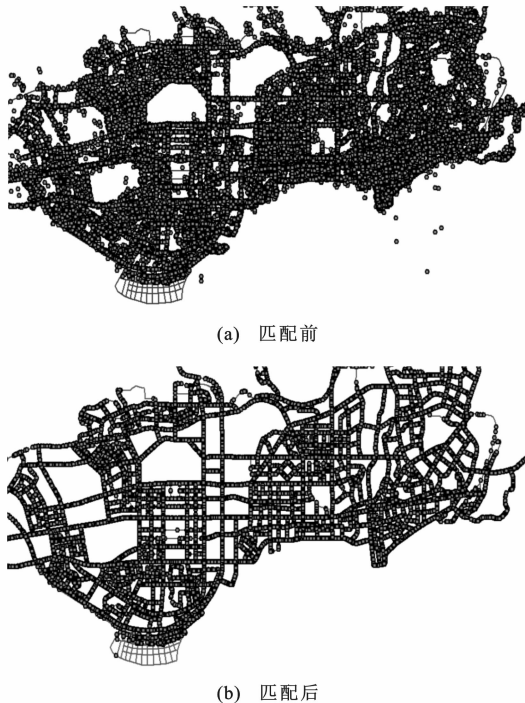


图 1 地图匹配结果

Fig. 1 Map matching result

1.2 研究区域选择

深圳市下辖 6 个行政区,其中宝安区设有光明、龙华 2 个功能新区,龙岗区设有坪山、大鹏 2 个功能新区,研究对象为 6 个行政区。基于浮动车数据对深圳市各行政区的平均拥挤程度进行统计,结果见图 2,图中颜色表示平均拥挤程度,颜色越深则拥挤程度越高。图 2 中福田区与罗湖区道路拥堵状况

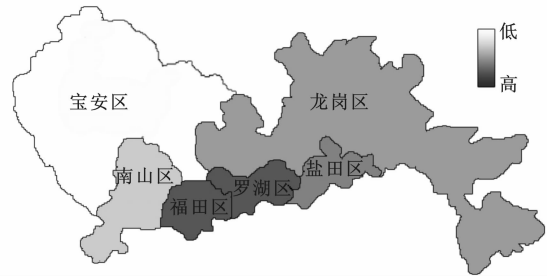


图 2 平均交通拥挤程度

Fig. 2 Average traffic congestion degrees

最严重。

基于浮动车数据对区域内与区域间完成的浮动车车次数进行统计,结果见图 3,完成比例表示区域内或区域间完成浮动车车次数占浮动车总车次数的比重。由于各行政区之间车次数量极不平衡,对部分车次数量较少的行政区进行合并处理。由图 3 可知,超过 75% 的车次在福田区与罗湖区或区间完成。结合图 2 最终选取福田区与罗湖区为研究区域。

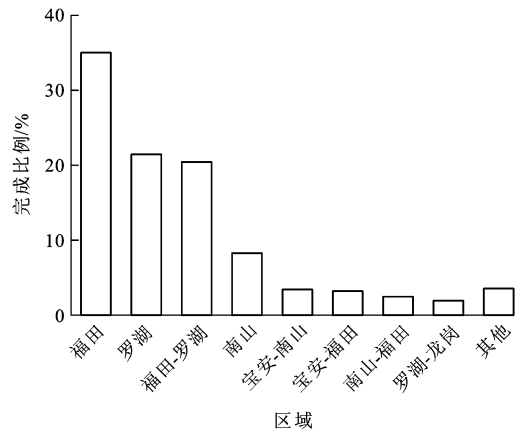


图 3 浮动车车次数统计结果

Fig. 3 Statistical results of floating car numbers

1.3 OD 路径与行程时间获取方法

考虑到车载 GPS 误差与实际情况,难以找到 2 个具有完全相同出发地 O 与目的地 D 的车次,因此,需确定合适的扩展半径,在该扩展半径范围内,认为车辆具有相同起点或终点,即只要某个车次有一个浮动车点落入出发地或目的地的扩展半径范围内,就认为该车次经过该出发地或目的地。如果单个车次有 2 个浮动车点分别落入出发地与目的地的扩展半径范围内,则认为该车次往返于或经过给定 OD。

鉴于出行距离越大,具有相似出行特征的 OD 对的分布范围越广,本文分别选取 OD 间直线距离的不同百分比(2%~6%)作为 OD 扩展半径。以

5 min 为单位时段,全天共 288 个时段,选取任意时段,分别由小到大测试不同 OD 扩展半径下所有车次行程时间的均方差系数 σ'

$$\sigma' = \sigma / \bar{t} \quad (1)$$

式中: σ 为所有车次行程时间的标准差; \bar{t} 为所有车次行程时间的均值。

均方差系数计算结果见图 4,可知取 OD 间直线距离的 5% 为扩展半径情况下,所有车次行程时间的均方差系数最小,为 0.217,因此,选取 OD 间直线距离的 5% 作为扩展半径。

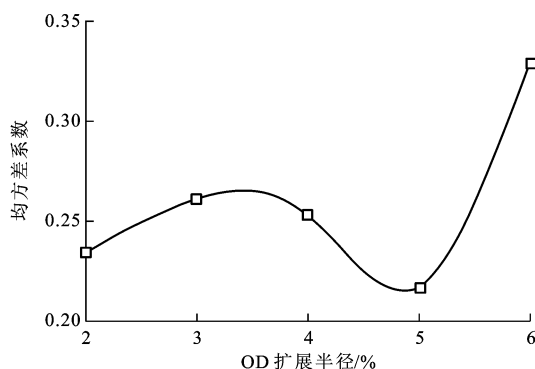


图 4 均方差系数计算结果

Fig. 4 Calculation results of mean square coefficients of variance

确定合适扩展半径后,可确定往返或经过 OD 的车辆并获取行程数据。鉴于浮动车数据中超过 75% 车次在福田区与罗湖区或区间完成,本文以福田区与罗湖区的中心为 OD 点圆心,基于所确定的扩展半径,得到出发地与目的地的扩展范围,筛选出扩展范围内所有浮动车点。对筛选出的浮动车点进行编号匹配,得到所有往返于或经过 OD 的车次。根据出发地与目的地扩展范围内匹配点的时间差,可得该车次在该 OD 间的行程时间。如有多个匹配浮动车点,则选取与 OD 直线距离最近两点作为该车次 OD,再根据该两点时间差得到车次在 OD 间的行程时间。

2 路径选择偏好分析

利用深圳市 2013 年 10 月 13 日内 3 000 余辆浮动车近 300 万组数据进行路径选择偏好分析。根据选定研究区域,以浮动车点唯一编号进行匹配,全天在该 OD 点共获得 315 个完整车次。统计可知,平均行车时间为 934 s,标准差为 592 s。将一天内 0:00~24:00 以 1 h 为间隔划分为 24 个时段,分别表示为时段 1~24,OD 行程时间在 24 个时段的分布见图 5。可以看出,即使同一 OD 之间,行程时间也存在较大波动,且具有明显的早晚高峰现象,晚

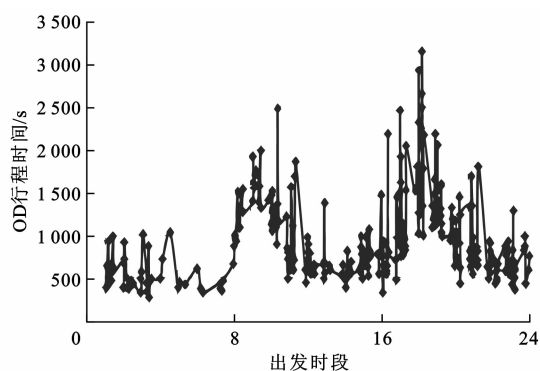


图 5 OD 行程时间分布

Fig. 5 Distribution of OD travel time

高峰波动最大,说明不同出发时间对驾驶人行为存在较大影响。

传统 OD 行程时间预测均假设驾驶人会沿着最短路径或最快路径行驶,即认为最短路径或最快路径上的路段时间之和为 OD 预测时间。根据浮动车数据,本文对该假设进行验证。根据浮动车数据,可获得该 OD 每个实际车次出发时段的行程时间与实际路径。借助 ArcGIS 10 软件,得出对应每个实际车次的最快路径与最短路径,与实际路径的对比结果见表 2。可以看出,驾驶人沿最快路径行驶的比例稍高于最短路径,然而,完全沿着最短路径与最快路径行驶的比例均小于 20%,而重合比例大于 80% 的比例仅约为 30%,因而,有必要找出更合适的预测路径来获得 OD 总行程时间。

表 2 路径重合比例

Tab. 2 Routes coincidence percentages %		
最短路径	与实际路径完全重合	14.4
	与实际路径重合比例大于 80%	30.4
最快路径	与实际路径完全重合	16.8
	与实际路径重合比例大于 80%	31.1

为研究促使驾驶人实际选择路径较大程度偏离最短路径与最快路径的因素,分析了各等级道路运行状况,并对比了实际路径、最短路径与最快路径中各等级道路使用情况,结果见表 3。可以看出:驾驶人对高等级道路有较高偏好;通常最短路径包含了较多低等级道路,特别是支路路段;最快路径过于追求时间,导致包含过多高等级路段,特别是高速公路或快速路,导致过多绕行^[19-21]。事实上,在信息没有充分共享状况下,单个驾驶人对复杂路况很难完全把握,也会导致驾驶人不沿着最短路径或最快路径行驶,因而,需对传统假设进行修正,使其更加符合驾驶人实际选择行为。

表 3 道路运行情况

Tab. 3 Operation conditions of roads

道路	所占里程 比例/%	平均 速度/ (km · h ⁻¹)	实际路径 使用 比例/%	最短路径 使用 比例/%	最快路径 使用 比例/%
高速公路	18.0	92.4	1.2	1.6	2.1
快速路	12.2	74.2	36.2	21.7	45.2
干线主干道	7.3	65.8	20.4	21.9	18.0
主干道	5.2	45.7	15.6	13.7	10.6
次干道	37.4	19.5	17.4	24.8	12.7
支路	19.9	18.0	9.2	16.3	11.4

分析各时段驾驶人沿最短路径与最快路径行驶的比例,结果见图 6。可以看到,驾驶人在平峰时段对距离敏感程度稍高,但早晚高峰时段对时间更为敏感。

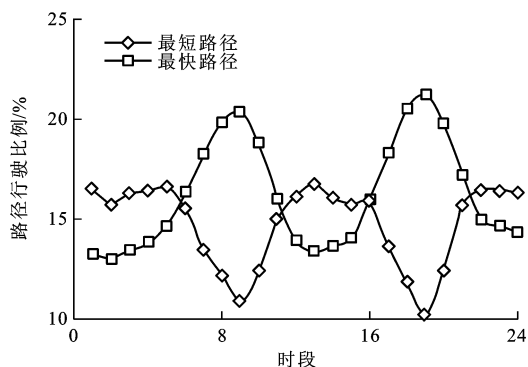


图 6 路径行驶比例

Fig. 6 Driving percentages of routes

通过上述路径选择偏好分析,可得出以下结论:道路等级是影响驾驶人路径选择的重要因素,然而理想最短路径与最快路径包含太多不适合路段;时间是驾驶人考虑的重要因素,高峰时段驾驶人偏向于缩短时间,而平峰时段驾驶人偏向于缩短路径距离;虽然时间与距离都是影响驾驶人路径选择的重要因素,实际上,驾驶人不能(也不会)选择最短路径或最快路径,而是在两者之间选择一个平衡点。

3 基于路径选择的 OD 行程时间预测模型

由上述分析可知,驾驶人很少完全沿着最短路径或最快路径行驶,传统基于该假设的 OD 行程时间预测存在较大误差。本文基于对驾驶人偏好的分析,尝试引入驾驶人偏好机制,利用路段历史使用频率对路段进行加权,得到路段加权成本,建立 OD 行程时间预测模型。利用最短路径算法,得到基于驾

驶人路径选择偏好的最小成本路径,该路径即被认为是更接近实际的最优路径。路段的加权成本计算公式为

$$C_i = \gamma l_i / w_i + (1 - \gamma) t_i / w_i \quad (2)$$

$$t_i = l_i / v_i \quad (3)$$

式中: t_i 为路段 i 的行程时间; l_i 为路段 i 的长度; v_i 为行程出发前 1 h 内路段 i 上所有浮动车的平均速度; γ 为判断是否为高峰时段的 0-1 变量,高峰时段为 1,否则为 0; w_i 为路段 i 的使用频率; C_i 为路段 i 的加权成本。

设定高峰时段为 7:00~9:00 与 17:00~19:00,其他时段为非高峰时段。对比预测路径与实际路径的拟合程度,利用模型所得最小成本路径中,31.3% 与实际路径完全重合,明显高于最短路径(14.4%)与最快路径比例(16.8%),60.9% 与实际路径重合比例大于 80%,明显高于最短路径(30.4%)与最快路径比例(31.1%)。基于该路径预测方法可对 OD 行程时间进行预测,表示为

$$T = \sum_j t_j + \varphi \quad (4)$$

式中: T 为预测的 OD 总行程时间; t_j 为预测的基于偏好的最小成本路径内的路段 j 的行程时间; φ 为交叉口延误时间。

根据历史数据可以计算 φ ,具体步骤如下。

Step 1:随机抽取一定数量经过该 OD 的实际路径,为计算方便,本文抽取 50 组数据(约占数据总量 315 组的 15%,且计算量适中)。

Step 2:计算每一组抽取实际路径的路段行程时间总和。

Step 3:由浮动车数据获得对应每条 OD 路径的实际行驶时间。

Step 4:对实际行驶时间与路段行程时间总和求差,再对 50 组路径求平均值,该平均值为 φ 。

基于实际路径、最短路径、最快路径与偏好路径 OD 平均行程时间预测结果见图 7,基于选择偏好的路径较最短路径与最快路径更接近实际路径。

4 计算结果分析

对于上述 3 种方法,即基于最短路径、最快路径与偏好路径的行程时间预测方法(简称最短路径、最快路径、偏好路径方法),分别就其预测结果与实际路径行驶时间进行比较验证,以平均绝对百分比误差(E_1)、均方根相对误差(E_2)与最大相对误差(E_3)为统计指标,计算公式分别为

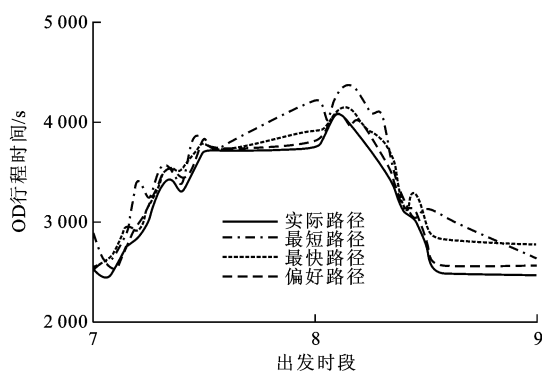


图7 不同方法的比较

Fig. 7 Comparison among different methods

$$E_1 = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \frac{|y_k - x_k|}{x_k} \quad (5)$$

$$E_2 = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \left| \frac{y_k - x_k}{x_k} \right|^2} \quad (6)$$

$$E_3 = \max \left(\frac{|y_k - x_k|}{x_k} \right) \quad (7)$$

式中: x_k 、 y_k 分别为样本 k 对应的实际路径行驶时间与预测路径行驶时间。

图8为3种预测方法的误差分析结果,可见:与最短路径预测方法相比,本文方法平均绝对百分比误差、均方根相对误差、最大相对误差分别降低了66.51%、61.24%、61.47%,平均降低了63.07%;与最快路径预测方法相比,本文方法平均绝对百分比误差、均方根相对误差、最大相对误差分别降低了63.64%、59.70%、58.99%,平均降低了60.78%,在预测精度上具有明显优势。

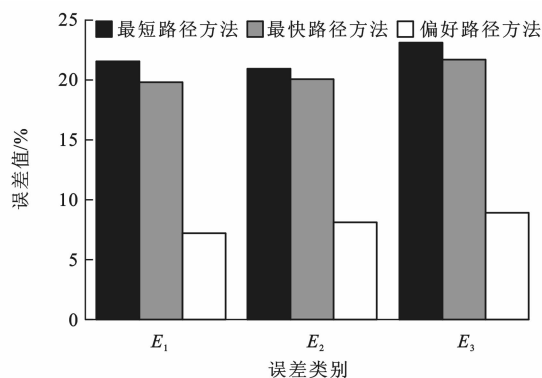


图8 误差分析结果

Fig. 8 Result of error analysis

5 结 语

(1)传统基于路段的OD行程时间预测假设驾驶人沿着理想的最短路径或最快路径行驶,本文通过对深圳市海量出租车驾驶人行驶路线分析,证明了驾驶人实际行驶路径与理想路径存在较大

区别,会导致预测的OD行程时间误差较大。本文利用GIS与出租车浮动车数据,对路径选择偏好进行分析,建立了基于路径选择的OD行程时间预测模型。

(2)基于深圳市出租车FCD数据的实证结果证明,模型预测的行驶路径与实际行驶路径具有更高拟合度。基于预测路径对OD行程时间的分析结果表明,预测OD行程时间与实际行程时间的误差较传统基于最短路径或最快路径的预测方法降低约60%。

(3)本文研究成果可用于城市动态路径诱导与拥堵收费,对于缓解交通拥堵与提高交通效率有着较好意义。

参考文献:

References:

- [1] 苏永云,晏克非,杨晓光,等. VNS中动态行程时间与多端动态最短路径算法[J]. 中国公路学报, 2001, 14(1): 97-99, 103. SU Yong-yun, YAN Ke-fei, YANG Xiao-guang, et al. Study of the algorithm of dynamic travel time and multi-end shortest path in VNS[J]. China Journal of Highway and Transport, 2001, 14(1): 97-99, 103. (in Chinese)
- [2] MIWA T, SAKAI T, MORIKAWA T. Route identification and travel time prediction using probe-car data[J]. International Journal of ITS Research, 2004, 2(1): 1-9.
- [3] 姚丽亚,关宏志,魏连雨,等. 基于实时交通信息的行程时间估算及路径选择分析[J]. 公路交通科技, 2006, 23(11): 86-89. YAO Li-ya, GUAN Hong-zhi, WEI Lian-yu, et al. Study on link travel time estimation and route selection method based on real-time traffic information[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2006, 23(11): 86-89. (in Chinese)
- [4] KWON J, COIFMAN B, BICKEL P. Day-to-day travel time trends and travel time prediction from loop detector data[J]. Transportation Research Record, 2000(1717): 120-129.
- [5] YGNACE J L, DRANE C, YIM Y B, et al. Travel time estimation on the San Francisco Bay Area network using cellular phones as probes[R]. Berkeley: University of California, 2000.
- [6] BERRY D S, GREEN F H. Techniques for measuring overall speeds in urban areas[C]//CRUM R W, BURGGRAD F, JR W N C. Proceedings of the Twenty-Ninth Annual Meeting of the Highway Research Board. Washington DC: TRB, 1950: 311-318.
- [7] 陈小鸿,冯均佳,杨超. 基于浮动车数据的行程时间可靠性特征研究[J]. 城市交通, 2007, 5(5): 42-45, 37. CHEN Xiao-hong, FENG Jun-jia, YANG Chao. Research on travel time reliability characteristics based on floating car data[J]. Urban Transport of China, 2007, 5(5): 42-45, 37. (in Chinese)

- [8] LI Yan-ying, MCDONALD M. Link travel time estimation using single GPS equipped probe vehicle[C]//IEEE. The IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Systems. New York: IEEE, 2002: 932-937.
- [9] NANTHAWICHIT C, NAKATSUJI T, SUZUKI H. Application of probe vehicle data for real-time traffic state estimation and short-term travel time prediction on a freeway[J]. Transportation Research Record, 2003(1855): 1-16.
- [10] 张和生,张毅,温慧敏,等.利用GPS数据估计路段的平均行程时间[J].吉林大学学报:工学版,2007,37(3):533-537. ZHANG He-sheng, ZHANG Yi, WEN Hui-min, et al. Estimation approaches of average link travel time using GPS data[J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2007, 37(3): 533-537. (in Chinese)
- [11] 李慧兵,杨晓光,罗莉华.路段行程时间估计的浮动车数据挖掘方法[J].交通运输工程学报,2014,14(6):100-109,116. LI Hui-bing, YANG Xiao-guang, LUO Li-hua. Mining method of floating car data based on link travel time estimation[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2014, 14(6): 100-109, 116. (in Chinese)
- [12] RICE J, ZWET E V. A simple and effective method for predicting travel times on freeways[C]//IEEE. Proceedings of the 2001 IEEE Intelligent Transportation Systems. New York: IEEE, 2001: 227-232.
- [13] 方路平,陈仕骏,赵飞帆.基于小样本浮动车系统的平均行程时间估计[J].计算机仿真,2012,29(9):367-370. FANG Lu-ping, CHEN Shi-xiao, ZHAO Fei-fan. Average link travel time estimation based on floating car of small sample size[J]. Computer Simulation, 2012, 29(9): 367-370. (in Chinese)
- [14] 杨兆升,于悦,杨薇.基于固定型检测器和浮动车的路段行程时间获取技术[J].吉林大学学报:工学版,2009,39(增2): 168-171. YANG Zhao-sheng, YU Yue, YANG Wei. Acquisition of travel time based on inductive coil detector and probe vehicle[J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2009, 39(S2): 168-171. (in Chinese)
- [15] HAYNES R, JONES A P, SAUERZAPF V, et al. Validation of travel times to hospital estimated by GIS[J]. International Journal of Health Geographics, 2006, 5(12): 1-8.
- [16] SUN Jian, ZHANG Chun, ZHANG Li-hui, et al. Urban travel behavior analyses and route prediction based on floating car data[J]. Transportation Letters, 2014, 6(3): 118-125.
- [17] 陈宇飞,智明,秦国锋.基于GIS的最优路径自适应规划算法[J].计算机工程,2007,33(1):53-55,58. CHEN Yu-fei, ZHI Ming, QIN Guo-feng. Optimal shortest-path and auto-adapted plan algorithm based on GIS[J]. Computer Engineering, 2007, 33(1): 53-55, 58. (in Chinese)
- [18] 孙健,刘琼,彭仲仁.城市交通拥挤成因及时空演化规律分析——以深圳市为例[J].交通运输系统工程与信息,2011, 11(5):86-93. SUN Jian, LIU Qiong, PENG Zhong-ren. Research and analysis on causality and spatial-temporal evolution of urban traffic congestions—a case study on Shenzhen of China[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2011, 11(5): 86-93. (in Chinese)
- [19] MINELLI S, IZADPANAH P, RAZAVI S. Evaluation of connected vehicle impact on mobility and mode choice[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering: English Edition, 2015, 2(5): 301-312.
- [20] QIN Xiao, SHEN Zhao, WEHBE N, et al. Evaluation of truck impact hazards for interstate overpasses[J]. Transportation Research Record, 2014(2402): 1-17.
- [21] 孙健,张纯,陈书恺,等.基于季节模型及Kalman滤波的道路行程时间预测[J].长安大学学报:自然科学版,2014,34(6): 145-151. SUN Jian, ZHANG Chun, CHEN Shu-kai, et al. Route travel time estimation based on seasonal model and Kalman filtering algorithm[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2014, 34(6): 145-151. (in Chinese)