

利用低频时空 GPS 轨迹进行交叉口通行时间探测

唐炉亮¹ 阚子涵¹ 黄方贞¹ 李清泉¹ SHAW Shihlung^{1,2} 董 坤³

1 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,湖北 武汉,430079

2 田纳西大学诺克斯维尔分校地理系,美国 田纳西州, TN37996

3 航天恒星科技有限公司(503 所),北京,100086

摘 要:交叉口是城市交通网络中各向交通流汇聚和转向的核心部位,往往形成城市交通的“瓶颈”和“堵点”,其通行时间具有很大的不确定性。利用低频时空 GPS 轨迹数据,本文分析了交叉口的不同通行模式,动态确定不同通行模式下的交叉口范围,建立了交叉口通行时间的模糊回归模型,实现了交叉口通行时间的准确探测。以武汉市路网和 GPS 轨迹数据为例进行了实验验证,结果表明本文方法能够有效探测交叉口通行时间。

关键词:交叉口;通行时间探测;时空轨迹;通行模式

中图法分类号:P208

文献标志码:A

在日益复杂和拥堵的城市交通中,交叉口成为交通网络的关键部位,导致车辆的通行时间具有很大的不确定性。统计表明,车辆在交叉口的通行时间约占全程行驶时间的 30% 以上^[1]。准确、有效地探测交叉口通行时间是城市道路运行分析和评价的核心指标之一,对于城市交通优化具有十分重要的作用和意义。

早期探测车辆通行时间的技术有探测车、车辆自动识别传感器、线圈探测器等,其中,专用探测车和车辆自动识别的方式由于成本高、覆盖率低而没有大规模采用。环形线圈是探测车辆通行时间的较常用的方式,一些学者在此基础上提出了相关统计模型^[2-3]和分析模型^[4],描述路段通行时间与交通流量、通行能力、信号控制等参数的关系。估算交叉口通行时间的另外一种方式是建立交叉口延误与交叉口基本参数之间的函数关系,如文献[5]改进了路段行程时间样本函数,分析了左转、直行两个方向的交叉口延误;文献[6]分析了交叉口进口方向非饱和、过饱和状态下的延误与信号控制参数、车辆到达率之间的动态关系。以上这些方法都需要交叉口基本参数以及交通流比率、通行能力等信息,不适用于大规模实时交叉口通行时间的探测。

时空轨迹数据是位置大数据的重要组成部分,从中可以提取出丰富的人类活动信息和交通流信息^[7]。基于高频 GPS 轨迹数据,文献[8]估计了交叉口不同转向的平均延误时间。基于低频时空 GPS 轨迹数据,文献[9-11]进行了路网的拓扑检测以及公众出行路径优化,文献[12]分析了平面交叉口的转向特性。由于 GPS 定位精度的限制,结合 GPS 轨迹数据和道路网络分析时会出现轨迹偏离道路的现象,因此首先要进行地图匹配等预处理^[13-14]。利用 GPS 轨迹数据估算路段通行时间的常用模型主要有速度-时间积分模型和坐标-时间内插模型两种^[15]。文献[16-17]应用速度-时间积分模型,通过估算道路区间内车辆的平均速度来探测通行时间。文献[18-20]利用坐标-时间内插模型,用插值的方法估算车辆通行时间。以上两种模型在一定程度上可以估算车辆的通行时间,但是对于 GPS 数据的采样精度要求很高,而一般的轨迹数据具有准确度低的特点^[7]。本文利用低频时空 GPS 轨迹数据,分析交叉口的不同通行模式,动态确定不同通行模式下交叉口的范围,建立了交叉口通行时间的模糊回归分析模型,实现针对低频时空 GPS 轨迹数据的交叉口通行时间的准确探测。

收稿日期:2015-05-26

项目资助:国家自然科学基金(41571430,41271442,40801155);中国航天科技集团公司卫星应用研究院创新基金(2014_CXJJ-DSJ_02);深圳市北斗卫星应用工程技术研究中心项目。

第一作者:唐炉亮,博士,教授,主要从事时空 GIS、交通 GIS(GIS-T)、时空轨道大数据分析等研究。tll@whu.edu.cn

通讯作者:阚子涵,博士生。kzh@whu.edu.cn

1 交叉口通行模式

本文根据车辆通过交叉口的受阻情况,分为无阻通过(M1)、受阻但不停车通过(M2)、一次停车通过(M3)、N(N>1)次停车通过(M4)4种通行模式(如图1所示)。

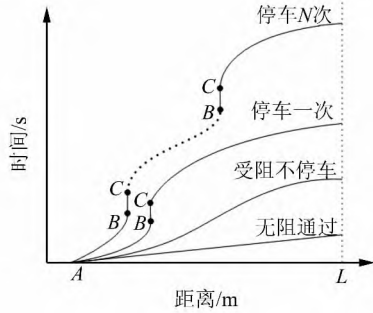


图1 交叉口4种通行模式示意图

Fig. 1 Sketch of 4 Travel Patterns at Intersection

本文GPS轨迹采样频率为40s,交通调查统计交通流拥堵时速一般不会超过5m/s,通畅时速一般在10m/s左右^[21]。因此,选择交叉口入口段400m作为判别距离,根据判别距离内每条轨迹的GPS点数量和瞬时速度确定和反演车辆通过该交叉口的4种通行模式。

1) M1:无阻通过。车辆经过交叉口时,没有遇到红灯或其他阻碍,以交通流速度通过,此时入口方向400m道路上每条轨迹只留有一个轨迹点,轨迹总数记为 n_1 。

2) M2:受阻但不停车通过。车辆经过交叉口时,受到车流或行人阻碍,减速但不停车通过交叉口,此时入口方向400m道路上每条轨迹留有2~3个轨迹点,且瞬时速度均不为0,轨迹总数记为 n_2 。

3) M3:一次停车通过。车辆经过交叉口时,受到红灯或车流等阻碍,停车等待一次,此时入口方向400m道路上每条轨迹留有2~4个轨迹点,且其中有一个轨迹点瞬时速度为0,轨迹总数记为 n_3 。

4) M4:多次停车通过。车辆经过交叉口时,受到红灯、车流等多种阻碍,停车等待N(N>1)次,此时入口方向400m道路上每条轨迹留有2~4个轨迹点,且其中有多点瞬时速度为0,轨迹总数记为 n_4 。

2 基于低频时空GPS轨迹的交叉口通行时间探测

基于低频GPS轨迹数据的交叉口通行时间探测流程如图2所示,主要分为以下5个部分。

1) 数据预处理。选取交叉口400m范围内的轨迹进行数据预处理,包括地图匹配、轨迹还原等等。

2) 交叉口通行模式分类。将GPS轨迹按照§1节所述进行通行模式分类,得到M1~M4 4种通行模式下的轨迹。

3) 动态确定交叉口范围。不同通行模式下的交叉口范围不同,本文采用点密度法^[24],对不同的通行模式下的交叉口范围进行动态划分。

4) 不同通行模式下的交叉口通行时间建模。根据每一种通行模式下的轨迹,对交叉口通行时间建模,得到4种通行模式下的交通流速度和延误时间。

5) 交叉口平均通行时间计算。根据不同通行模式下的交叉口范围、交通流速度和延误,计算不同通行模式下交叉口的通行时间,最后确定交叉口平均通行时间。

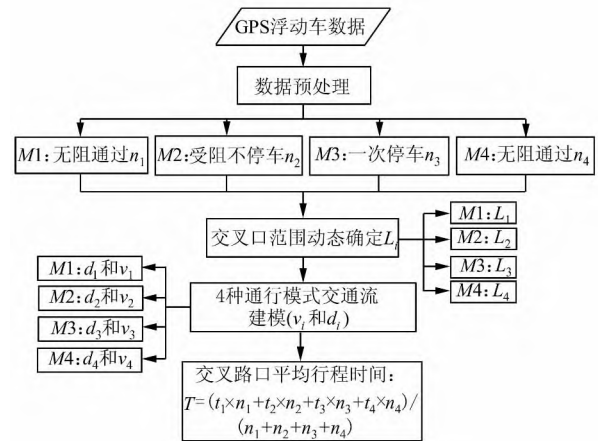


图2 基于低频时空GPS轨迹数据的交叉口通行时间探测流程图

Fig. 2 Flowchart of Intersection Travel Time Detection Based on Low-Frequency Spatial-Temporal GPS Trajectory Data

2.1 4种通行模式下交叉口范围的动态划分

道路交叉口范围的划分方法主要有静态划分法和动态划分法^[22],静态划分法按照各条道路的相交部分及其入口道、出口道和展宽渐变段所围成的几何固定区域^[23]确定交叉口范围;动态交叉口划分法需要根据不同通行模式和排队长度对交

叉口范围进行动态确定和划分。本文针对交叉口的4种通行模式,采用点密度法动态划分交叉口范围,该方法将GPS轨迹点分为间距不变、间距先减小再增大、间距减小在某一位置聚集后再增大三种情况,选择点密度由疏变密发生突变的位置作为车辆排队和交叉口的开始位置,过交叉口后点密度由密变疏发生突变的位置作为交叉口结束的位置,分别对每种通行模式下的交叉口范围进行动态划分和确定,如图3所示。本文中M1无阻通行模式下,直接按照静态划分法^[23]确定交叉口范围(L_1),后三种通行模式(M2~M4)中,根据点密度法确定交叉口范围(L_2 、 L_3 、 L_4)。

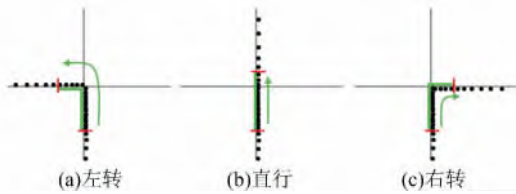


图3 点密度法确定交叉口范围
Fig. 3 Intersection Range Determined by Point Density Method

2.2 4种通行模式下的通行时间模糊回归分析与建模

通过分析车辆经过交叉口的通行模式,可将通行时间 Δt 分为两个部分:①理想通行时间 t_i ,即车辆没有遇到任何阻碍以交通流速度 v 通过交叉口所需时间。设 ΔS 为车辆行驶距离,则有 $t_i = \frac{\Delta S}{v}$ 。②延误 t_d ,即车辆通过交叉口的信号灯控制延误、驶入延误、排队等候延误等,由于延误成分复杂,本文将各种延误统一为延误时间 t_d 。

车辆通过交叉口的通行时间 Δt 为理想通行时间 t_i 与延误 t_d 之和,即:

$$\Delta t = t_i + t_d = \frac{\Delta S}{v} + t_d \quad (1)$$

1) 交通流回归分析。交通流速度 v 和延误 t_d 在某时段内的平均值可视为为定值,因此,由式(1)可知,车辆通行时间 Δt 与行驶距离 ΔS 成线性关系。将交叉口两侧的通行距离 ΔS 和通行时间 Δt 带入(1)式,就可回归拟合出交通流速度 v 和延误 t_d 。对于任一条轨迹,选择交叉口两侧的所有轨迹进行拟合,就可得到该时段内交通流速度 v 和延误 t_d 。拟合过程由最小二乘法确定,如式(2)所示,其中 $\hat{\Delta t}$ 为 Δt_i 的拟合估计值:

$$\sum_{i=1}^n (\Delta t_i - \hat{\Delta t}_i)^2 = \min \quad (2)$$

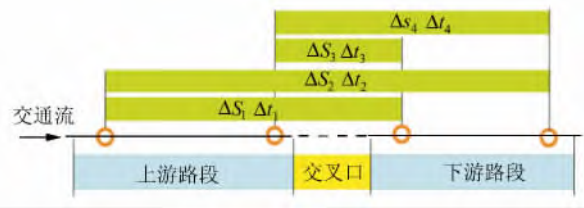


图4 一条轨迹位于交叉口两侧的轨迹点
Fig. 4 Track Points in a GPS Trajectory on Both Sides of an Intersection

2) 交通流模糊回归建模。GPS轨迹受定位精度的影响,使得GPS点位置与真实值有较大差距,同时,低采样频率损失了轨迹点之间的连续性和线性特征。为了保持轨迹点的线性特征,使得误差较大的轨迹点对拟合结果的影响较小,误差较小、更具有线性特征的轨迹点对拟合结果的影响较大,本文采用模糊回归方法,使拟合出的交通流速度 v 和延误 t_d 具有更高的真实性。

(1) 确定GPS轨迹数据模糊集与权重隶属函数。建立 A 为GPS轨迹数据集合 X 到 $[0,1]$ 的一个映射,即:

$$A: X \rightarrow [0,1], x \rightarrow A(x)$$

则 A 是GPS轨迹数据集 X 上的模糊集, $A(x)$ 为 X 中的元素 x 对模糊集 A 的隶属度^[25]。本文中,将每一组 $X_i(\Delta S_i, \Delta t_i)$ 与线性方程的偏离程度描述为 $X_i(\Delta S_i, \Delta t_i)$ 的模糊隶属度 μ_i (见图5)。与线性方程偏离越大,隶属度 μ_i 越小;与线性方程偏离越小,隶属度 μ_i 越大。 μ_i 的大小由式(3)确定:

$$\mu_i = \frac{1}{e^{(y_i - \hat{y}_i)^2}}, i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

(2) 模糊最小二乘法确定回归参数。在交叉口通行时间模糊回归建模中,采用模糊最小二乘法确定回归参数。首先对各个点 $X_i(\Delta S_i, \Delta t_i)$ 进行直接拟合建模,求得线性方程,并得到各个点对线性方程的偏离程度 Δy_i ,由 Δy_i 确定各个点的隶属度 μ_i ,将隶属度 μ_i 参与建模,得到一次模糊拟合方程;再根据各个点到一次模糊拟合方程的偏离程度 $\Delta y_i'$ 重新确定其隶属度 μ_i' ,进行二次模糊拟合。依此类推,将模糊拟合结果趋于稳定时的拟合结果作为最终拟合结果。模糊最小二乘法的参数由式(4)确定:

$$\sum_{i=1}^n \mu_i (\Delta t_i - \hat{\Delta t}_i)^2 = \min \quad (4)$$

对于4种不同的交叉口通行模式,可以通过

解模糊最小二乘方程组,确定回归参数 $\frac{1}{v}$ 和 t_d 。在 M1 无阻通行模式中,车辆几乎没有受到任何阻碍, $t_{d1} \approx 0$,其交通流速度 v_1 近似等于该条轨迹上所有点瞬时速度的平均值 \bar{v} 。在 M2~M4 3 种通行模式中,采用上述模糊回归模型对其通行时间进行建模,分别得到三种模式下的交通流速度 v_2, v_3, v_4 和延误 t_{d2}, t_{d3}, t_{d4} 。

2.3 交叉口通行时间探测

对于交叉口每种行驶方向,在确定 4 种通行模式下的交叉口范围 $L_i (i=1, 2, 3, 4)$ 的基础上,通过模糊回归建模得到每种通行模式下的交通流速度 v_i 和延误 t_{di} ,进而得到交叉口单个行驶方向上不同模式的通行时间 T_i :

$$T_i = \frac{L_i}{v_i} + t_{di} \quad (5)$$

不同方向上的交叉口平均通行时间 T 可由式(6)确定,其中 $n_i (i=1, 2, 3, 4)$ 为每种通行模式下的轨迹数量:

$$T = \frac{\sum_{i=1}^4 T_i \cdot n_i}{\sum_{i=1}^4 n_i} \quad (6)$$

3 实验与比较

本文选取武汉市 2009-03-09 T17:00~

19:00 共 11 283 辆出租车的 GPS 轨迹,采样间隔为 40 s,定位精度大约为 10 m,实验区域选择汉阳区龙阳大道和汉阳大道的王家湾十字路口(如图 5 所示)。实验中随机选取了 15 辆出租车的轨迹(左转、直行、右转三个方向各 5 辆车),记录车辆从进入交叉口范围减速开始直至加速驶离路口的时间,作为该交叉口通行时间的真实值。



图 5 王家湾十字路口

Fig. 5 Intersection Region of Wangjiawan

实验中使用线性模糊回归方法分别对 M2~M4 共 3 种通行模式、3 个方向上的通行时间进行建模,拟合结果如图 6~8 所示,4 种模式的交叉口范围、拟合参数(交通流速度 v 和延误 t_d)及通行时间的探测结果如表 1 所示,将本文提出的模糊回归模型对交叉口通行时间的估计结果与真实值进行比较如表 2 所示。

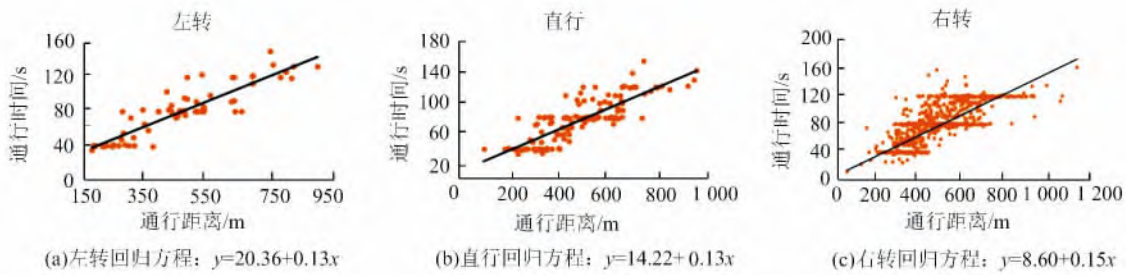


图 6 受阻但不停车模式(M2)拟合图

Fig. 6 Fitting Function Diagram of Travel Pattern M2

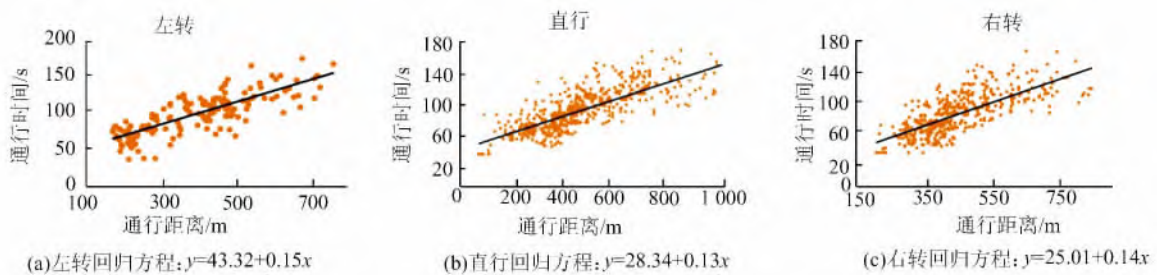


图 7 一次停车模式(M3)拟合图

Fig. 7 Fitting Function Diagram of Travel Pattern M3

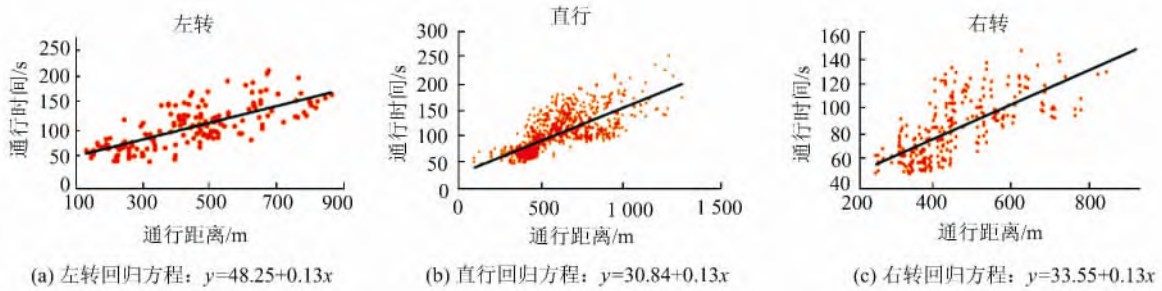


图8 多次停车模式(M4)拟合图
Fig.8 Fitting Function Diagram of Travel Pattern M4

表1 4种通行模式下的交叉口通行时间探测结果

Tab.1 Results of Intersection Travel Time Detection in Four Traffic Patterns

通行模式	通行方向	轨迹数 n	交叉口范围/m	交通流速度/($m \cdot s^{-1}$)	延误时间/s	通行时间/s
M1	左转	24	55.0	6.49	0.00	8.47
	直行	140	50.0	7.94	0.00	6.29
	右转	12	32.0	7.84	0.00	4.08
M2	左转	32	63.0	7.69	20.36	28.55
	直行	61	57.0	7.69	14.22	21.63
	右转	11	36.0	6.67	8.60	14.00
M3	左转	130	88.0	6.67	43.32	56.51
	直行	102	80.0	7.69	28.34	38.74
	右转	39	51.0	7.14	25.01	32.15
M4	左转	25	105.0	7.69	48.25	61.90
	直行	29	96.0	7.69	30.84	43.32
	右转	13	61.0	7.69	33.55	41.48

表2 本文方法与直接拟合法、通行时间
真实值的比较

Tab.2 Comparison of Direct Fitting Method and
this Paper's Method with True Travel Time

通行方向	真实通行时间/s	直接拟合法		本文方法	
		探测值/s	准确率/%	探测值/s	准确率/%
左转	45.30	41.86	92.4	47.44	95.5
直行	21.60	18.41	85.2	22.44	96.2
右转	23.90	19.94	83.4	26.61	89.8

从表1、表2可以看出,相比于直接拟合模型,本文设计的模糊回归模型能更好地利用低频GPS轨迹数据对交叉口通行时间进行建模和拟合,能够实现交叉口通行时间的准确探测,且结果符合实际交通情况。

4 结 语

本文以低频GPS轨迹数据为研究对象,提出了基于模糊回归的交叉口通行时间探测方法。该方法在分析交叉口的4种通行模式的基础上,对不同模式下交叉口范围进行动态划分与确定,采用模糊回归方法对不同通行模式下交叉口通行时间进行建模与分析,实现了基于低频时空GPS轨

迹数据的交叉口通行时间的探测,并以武汉市路网和出租车GPS轨迹数据进行了实验分析和比较,结果表明本文提出的方法能有效探测交叉口的通行时间。

参 考 文 献

- [1] Qian Hongbo. Study on Traffic Design and Control of Unconventional Intersection [D]. Shanghai: Tongji University, 2007(钱红波.非常规平面交叉口交通设计与控制研究[D].上海:同济大学,2007)
- [2] Turner S M, Lomax T J, Levinson H S. Measuring and Estimating Congestion Using Travel Time-Based Procedures [J]. *Journal of the Transportation Research Board*, 1996, 1 564(1): 11-19
- [3] Zhang H M. A Link Journey Speed Model for Arterial Traffic [J]. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1999, 1 676(1):109-115
- [4] Skabardonis A, Geroliminis N. Real-Time Monitoring and Control on Signalized Arterials [J]. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 2008, 12(2): 64-74
- [5] Li Qingquan, Li Hanwu, Xie Zhiying, et al. On the Road Travel Time for Dynamic Route Choice[J].

- Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2006, 31(6):519-522(李清泉,李汉武,谢智颖,等. 面向动态路径选择的路段行程时间的分析研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版,2006,31(6):519-522)
- [6] Liu Guangping, Pei Yulong. Study of Calculation Method of Intersection Delay under Signal Control [J]. *China Journal of Highway and Transport*, 2005, 18(1): 104-108(刘广萍,裴玉龙. 信号控制下交叉口延误计算方法研究[J]. 中国公路学报, 2005,18(1):104-108)
- [7] Liu Jingnan, Fang Yuan, Guo Chi, et al. Research Progress in Location Big Data Analysis and Processing[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2014, 39(4): 379-385(刘经南,方媛,郭迟,等. 位置大数据的分析处理研究进展[J]. 武汉大学学报·信息科学版,2014,39(4):379-385)
- [8] Zhao Minyue, Li Xiang. Deriving Average Delay of Traffic Flow around Intersections from Vehicle Trajectory Data[J]. *Front Earth Sci*, 2013, 7(1): 28-33
- [9] Tang Luliang, Huang Fangzhen, Zhang Xueyan, et al. Road Network Change Detection Based on Floating Car Data[J]. *Journal of Networks*, 2012, 7(7): 1 063-1 070
- [10] Tang Luliang, Chang Xiaomeng, Li Qingquan, et al. Public Travel Route Optimization Based on Ant Colony Opimization Algorithm and Taxi GPS Data [J]. *China Journal of Highway and Transport*, 2011, 24(2):89-95(唐炉亮,常晓猛,李清泉, et al. 基于蚁群算法与出租车 GPS 数据的公众出行路径优化. 中国公路学报,2011,24(2):89-95)
- [11] Tang Luliang, Li Qingquan, Chang Xiaomeng, et al. Modeling of Taxi Drivers' Experience for Routing Applications[J]. *Science China Technological Sciences*, 2010, 53(1): 44-51
- [12] Wang Zhiqiang, Kan Zihan, Huang Fangzhen, et al. Path Optimization Based on City Intersection Turning Analysis from Floating Car Data[J]. *Applied Mechanics and Materials*, 2014, 577:1 055-1 060
- [13] Li Qingquan, Huang Lian. A Map Matching Algorithm for GPS Tracking Data [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinca*, 2010, 39(2): 207-212(李清泉,黄练. 基于 GPS 轨迹数据的地图匹配算法[J]. 测绘学报,2010,39(2):207-212)
- [14] Li Qingquan, Hu Bo, Yue Yang. Flowing Car Data Map-Matching Based on Constrained Shortest Path Altorithm[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*. 2013, 38(7):805-808(李清泉,胡波,乐阳. 一种基于约束的最短路径低频浮动
- 车数据地图匹配算法[J]. 武汉大学学报·信息科学版,2014,38(7):805-808)
- [15] Zhu Weigang, Li Ning. Travel Time and Intersection Travel Delay Estimation Models Based on GPS Data [J]. *Journal of Shenyang Jianzhu University (Natural Science)*, 2011, 27(1): 52-55(朱伟刚,李宁. 基于 GPS 数据的通行时间及交叉口延误估计模型[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2011, 27(1): 52-55)
- [16] Zhang Cunbao, Yang Xiaoguang, Yan Xiping. Traffic Data Collection System Based on Floating Cars [J]. *Computer and Communications*, 2006, 24(5): 31-34(张存保,杨晓光,严新平. 基于浮动车的交通信息采集系统研究[J]. 交通与计算机, 2006, 24(5): 31-34)
- [17] Li Hao, Luo Xia, Yao Chen. Vehicle Routing Based on Floating Car Data[J]. *Journal of Southwest Jiaotong University*, 2007, 42(6): 748-752(李昊,罗霞,姚琛. 浮动车数据在车辆路径问题中的应用[J]. 西南交通大学学报,2007,42(6): 748-752)
- [18] Sun Ling, Li Jing. An Approach of Intersection Delay Estimate Based on Floating Vehicles[C]. The 3rd International Conference on Power Electronics and Intelligent Transportation System, 2010
- [19] Rui W. Validation Of An Improved Method To Estimate Expressway Travel Time By The Combination Of Detector And Probe Data[J]. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 2003,5(1):2 003-2 004
- [20] Quddus M A, Nnland R B, Ochieng W Y. A High Accuracy Fuzzy Logic Based Map Matching Algorithm for Road Transport[J]. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 2006, 10(3): 103-115
- [21] Shao Chunfu, Xiao Chongzi, Wang Bobin et al. Speed-density Relation Model of Congested Traffic Flow Under Minimum Safety Distance Constraint [J]. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 2015, 15(1):93-99(邵春福,肖崇紫,王博彬,等. 最小安全间距约束下拥挤交通流速度-密度关系模型[J]. 交通运输工程学报,2015,15(1): 93-99)
- [22] Xiong Yingge, Xu Zhuoli, Liu Haode. Methods of Intersection Dynamic Subsections Based on Floating Car Data[J]. *Journal of Transport Information and Safety*, 2009,27(151):38-42(熊英格,徐卓立,刘好德. 基于浮动车数据的交叉口范围动态划分方法[J]. 交通信息与安全, 2009, 27(151): 38-42)
- [23] Tongji University. DGJ08 96-2001 the Shanghai Public Security Bureau Traffic Patrol Police Corps.

Design Regulations for At-grade Intersections on Urban Street in Shanghai[S]. Shanghai: Shanghai Construction and Management Committee, 2001(同济大学,上海市公安局交通巡逻警察总队. DGJ08 96-2001 上海城市道路平面交叉口规划与设计规程

[S]. 上海:上海市建设和管理委员会,2001)
[24] Hu Baoqing. Fuzzy Theory Basis[M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2004:1-2(胡宝清. 模糊理论基础[M]. 武汉:武汉大学出版社,2004:1-2)

Travel Time Detection at Intersections from Taxis' Trace Data

TANG Luliang¹ KAN Zihan¹ HUANG Fangzhen¹ LI Qingquan¹
SHAW Shihlung^{1,2} DONG Kun³

1 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China

2 The Department of Geography, University of Tennessee, Knoxville TN37996, USA

3 Space Star Technology Co., Ltd, Beijing 100086, China

Abstract: Intersections are the critical points of urban transportation, acting as bottlenecks and clog points in urban traffic. The travel time through intersections is highly uncertain and comprises a large proportion of the overall travel time. Detecting the intersection travel time in different turning directions could contribute to improved efficiency in urban transportation. Based on low-frequency spatial-temporal GPS trajectory data, this paper presents a method to detect the intersection travel time. We analyzed four different travel patterns of vehicles according to the trajectory points through intersections. An improved point density method was used to determine the range of an intersection with different travel patterns, reasonably and dynamically. A fuzzy regression model was established to detect intersection travel time accurately. Traffic free flow speed and delays can also be obtained from the proposed method. Wuhan road network and GPS trajectory data were tested in experiments, and the results illustrate the effectiveness of the proposed method in detecting intersection travel time.

Key words: intersection; travel time detection; space time trajectory; travel pattern

First author: TANG Luliang, PhD, professor, specializes in time-space GIS, GIS for transportation, big trace data mining, change detection. E-mail: tll@whu.edu.cn

Corresponding author: KAN Zihan, PhD candidate. E-mail: kzh@whu.edu.cn

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China, Nos. 41571430, 41271442, 40801155; Open Research Fund of the Academy of Satellite Application, No. 2014_CXJJ-DSJ_02; the Fund of the Shenzhen Science Technology Bureau.