

城市主干道交通运行状况分析与影响因素研究

王雪松¹, 陈铭¹, 邓滨²

(1. 同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804; 2. 通用中国科学研究院, 上海 200165)

摘要: 为深层次地理解城市主干路的交通运行状况的影响因素, 研究利用出租车作为数据源获取的浮动车数据, 综合地分析了上海市主干道 176 个路段的平均车速、速度方差等运行状况指标, 同时运用多元线性回归的方法, 探究了路段的几何设计特征、接入口特征、交叉口渠化、流量、区位及用地特征共 6 类道路与运行环境特征对主干路路段平均速度及速度方差的影响。结果表明, 道路长度、曲线角度、中央分隔形式、公交专用道设置、车道数、左/右转专用道设置、土地利用复合度、接入口特征等道路与环境特征道路特征均显著影响主干路路段的运行状况。

关键词: 城市交通; 影响因素; 多元线性回归; 浮动车数据; 运行状况特征

中图分类号: U 491.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-0645(2012)增刊 1-0129-05

Analyses of Traffic Operational Condition and Impact Factors on Urban Arterials

WANG Xue-song¹, CHEN Ming¹, DENG Bin²

(1. Transportation Engineering School, Tongji University, Shanghai, 201804;
2. China Science Lab, GM Global R&D, Shanghai 200165, China)

Abstract: In order to better understand the impact factors of the traffic operational conditions on urban arterials, this study used the floating car data (FCD) from taxis to investigate the average speed, speed variance on 176 arterials segments in Shanghai. Multiple linear regression was used to analyze the effect of various road and environment features including road geometry, access points, intersection canalization, volume, region and land use on speed and speed variance. The results indicated that road and environment features (e. g., length of segment, curvature degree, median separator, number of lanes, left turn or right turn protection, land use and number of access points) would significantly influence the operational conditions on the urban arterial segments.

Key words: urban traffic; impact factors; multiple linear regression; floating car data; traffic operational conditions

国外对于运行状况的分析与评价指标大体分为以下几类: 拥堵定义指标、出行影响指标、交通流参数指标、服务水平和其他指标。Highway Capacity Manual(2000)^[1] 中通过定义服务水平(level of service, LOS)以描述城市路段的运行状况, 主要通过通过路段的平均行程车速进行分级, 而平均车速

相同的路段上可能存在着完全不同的车速差异, 因此采用 LOS 单一指标描述运行状况是不恰当的。

Oppenlander^[2], Jessica^[3] 回顾了以往的速度影响因素研究, 发现平曲线线型、坡度长度、坡度、车道数、视距、交叉口数量和路面类型等道路特征是运行车速显著的影响因素。Poe^[4] 等在 Pennsylvania 的

收稿日期: 2012-09-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51008230); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目; 道路与交通工程教育部重点实验室(同济大学)基金资助项目

作者简介: 王雪松(1977—), 男, 博士, 副教授, E-mail: wangxs@tongji.edu.cn.

中心城区选取 27 个观测点,采用地磁传感器收集了车辆的运行速度,并探讨了道路环境对其的影响。Jun^[5]以 200 辆装有全球定位系统(GPS)设备的测试车为数据采集基础,深入研究了驾驶员行驶速度与道路环境之间的关系,建立并校正了低速城市道路的运行速度模型。针对其他道路设施,如郊区公路^[6]、交叉口进口道^[7]和快速路^[8]等,以往研究多数以固定断面的车速值代表路段运行状况。

国内外针对城市道路实际运行状况的影响因素研究较为缺乏,而浮动车数据采集技术(floating car data, FCD)为研究提供了更好的数据基础。上海市白天有超过 45 000 辆装有 GPS 的出租车持续行驶在路网中,为获取主干路运行状况提供了数据支持。论文通过对 FCD 进行处理,提取了行程车速和速度方差指标描述交通运行状况并分析了其影响因素。

1 数据准备

1.1 路段选取

选取上海中心城区的主干路作为研究对象,考虑设计车速、分隔形式、车道数、车道功能、交通组成等因素,首先选取 23 条宏观路段;其次将宏观路段在信号交叉口处打断,交叉口之前的路段作为微观路段。论文最终采集了 176 个微观路段,共 352 个分析单元(每条微观路段按车流行驶方向分为两侧)。

1.2 浮动车数据处理

浮动车数据处理的基本流程包含地图匹配、单辆车速度计算和路段速度指标计算。原始浮动车数据中包含车辆 ID、时间、经纬度、速度、方位角等信息,地图匹配可以通过车辆的经纬度和方位角信息将其定位至指定路段上。通过连续两条 FCD 记录中的信息,可以获得单辆车通过路段时两相邻 GPS 位置间的距离 s_i 和时间间隔 t_i ,并计算出两点间的平均行程车速(包含行驶和怠速状态)。假设某辆车经过整条路段留下 $n+1$ 个 GPS 点记录(包括路段起终点外的记录),则可按下两式计算该辆车经过路段的平均速度。

按时间加权形式

$$\bar{v}_k = \frac{t_1}{t}v_1 + \frac{t_2}{t}v_2 + \dots + \frac{t_n}{t}v_n, \quad (1)$$

按距离加权形式

$$\bar{v}_k = \frac{s_1}{s}v_1 + \frac{s_2}{s}v_2 + \dots + \frac{s_n}{s}v_n. \quad (2)$$

式中: k 代表第 k 辆浮动车; t_i 为第 i 个时间间隔的时间; s_i 为第 i 个时间间隔内样本车通过的里程; t 为样本车经过路段的总时间; s 为路段长度。

根据指定时段内经过路段累积的样本,就可以提取在该时段内路段层面的速度指标,包括平均速度和速度方差等。

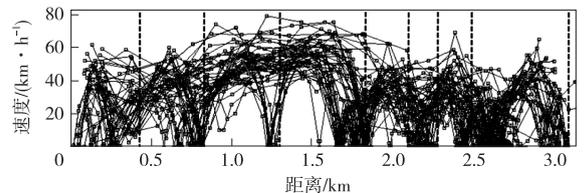
1.3 道路与运行环境特征

通过卫星图片辨识、实地勘察,采集每条研究路段的道路与环境特征,并将其归类为道路几何、横断面特征、接入口特征、流量、道路线型、车道渠化和周边土地利共 6 类。

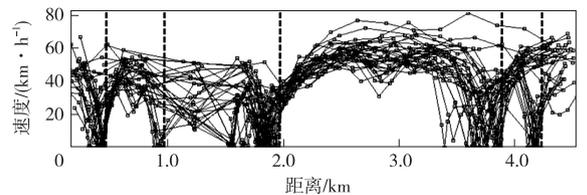
2 运行状况特征分析

2.1 道路速度变化曲线

利用浮动车数据能够得到车辆在各时刻对应的道路位置和速度特征,如图 1 为浦西海宁路与浦东杨高中路在早高峰时段内的车速曲线。浦西主干路的典型特征是交通组成复杂,行人及非机动车较多,交叉口较密集,在交叉口间距较大的区域内车速略高,在小间距区域内车速分布很低且非常凌乱;浦东的主干路设计规格相对较高,其整体车速分布比浦西高。



(a) 海宁路(乌镇路-吴淞路)



(b) 杨高中路(云山路-浙桥路)

• 为单车速度轨迹; — 为单车速度曲线; | 为信号交叉口

图 1 车速变化曲线(早高峰)

Fig. 1 Speed profile (during peak hour)

2.2 路段运行状况指标

若选定指定时段,能够计算出该路段的平均行车速度、车速方差等运行状况指标。参考 Sanwal & Walrand^[9]的研究,本文中研究路段的浮动车样本数最小为整体交通流的 4%~6%。此外,根据主干路上流量的时变规律,选取 8:00~9:00 作为高峰时段,12:00~13:00 为平峰时段。

① 平均行程速度 \bar{v}_H . 平均行程速度反映了一定时段内路段上的平均车速水平,它以微观(或宏观)路段为计算单位,计算指定时段内所有样本车经过路段的车速均值,如下式:

$$\bar{v}_H = \sum_{k=1}^N \frac{\bar{v}_k}{N}, \quad (3)$$

式中: \bar{v}_k 为单辆车样本 k 经过路段的平均速度; N 为一定时段内经过路段的样本总数.

② 速度方差 σ_v . 速度方差是指定时段内所有经过路段的车辆样本平均行程速度的样本方差,该指标能够衡量路段上车辆间速度差异的程度,速度方差越大,则表明该路段上的速度波动程度越大.

3 影响因素分析

3.1 车速影响因素模型

在 SAS 软件中运用 GLM 过程建立多元线性回归模型(表 1). 模型整体的 F 检验值为 16.83, $Pr < 0.0001$ (高峰)和 9.82, $Pr < 0.0001$ (平峰),具有统计意义. R^2 值为 0.314(高峰)和 0.455(平峰). 模型结果表明,区域、中央分隔形式、路段内行人横道线设置、曲线角度、公交专用道设置、车道数、左转专用道设置、右转专用道设置、土地利用复合度、接入口特征和道路长度共 11 项因素会显著影响道路平均车速.

表 1 车速影响因素模型结果

Tab. 1 Results of modeling speed factors

影响因素	高峰时段			平峰时段		
	系数值	标准差	Pr 值	系数值	标准差	Pr 值
常数项	21.71	3.97	$<10^{-4}$	24.334	3.264	$<10^{-4}$
区域			$<10^{-4}$			$<10^{-4}$
浦东 vs. 浦西内环以外	15.53	2.61	$<10^{-4}$	19.385	2.506	$<10^{-4}$
浦西内环以内 vs. 浦西内环以外	-1.35	1.55	0.384	1.947	1.303	0.135 8
中央分隔形式			不显著			0.002 9
无分隔 vs. 分隔带				-3.784	1.167	0.001 3
分隔栏 vs. 分隔带				-0.459	1.181	0.697 5
路段内行人过街设置			不显著			0.045 7
无 vs. 1 处或 1 处以上				2.428	1.211	0.045 7
曲线角度			0.070 6			0.097 8
0° vs. >30°	7.30	3.12	0.019 7	4.212	2.661	0.114 3
<15° vs. >30°	6.33	3.34	0.058 0	3.345	2.830	0.237 9
15°~30° vs. >30°	4.9	3.47	0.159 0	1.096	2.889	0.704 5
车道数			0.042 9			不显著
≥5 vs 2	7.42	2.67	0.005 8			
4 vs 2	1.95	1.80	0.277 4			
3 vs 2	1.4	1.38	0.308 5			
公交专用道设置			$<10^{-4}$			$<10^{-4}$
无 vs. 有	-8.43	1.71	$<10^{-4}$	-9.008	1.143	$<10^{-4}$
交叉口左转专用道设置			$<10^{-4}$			$<10^{-4}$
2 条以上 vs. 禁左	-8.78	2.04	$<10^{-4}$	-5.246	1.668	0.001 8
1 条 vs. 禁左	-3.17	1.22	0.009 7	-2.255	1.007	0.025 8
直左 vs. 禁左	0.27	1.51	0.854 1	2.353	1.298	0.070 7
交叉口右转专用道设置			0.010 3			0.040 4
1 条 vs 禁右	-4.35	1.49	0.003 8	-2.619	1.233	0.034 3
直右 vs. 禁右	-1.11	1.24	0.369 5	-0.028	1.032	0.978 6
土地利用复合度			0.011 8			0.000 7
1 种 vs 2 种以上	2.55	1.73	0.140 0	2.127	1.427	0.136 9
2 种 vs 2 种以上	3.91	1.31	0.003 0	4.028	1.066	0.000 2
接入口数量			0.097 6			0.039 9
0 处 vs 1 处或 1 处以上	1.78	1.07	0.097 6	1.870	0.907	0.039 9
道路长度			不显著	0.005	0.002	0.035 6
R-Square		0.31			0.455	

不同区域的平均车速存在显著差异. 以浦西内环以外为参照层,浦东地区的车速高于浦西内环以外地区 15.53(高峰),19.385(平峰)km/h;曲线线型会对车速造成显著的影响,随着平曲线角度的增大,道路车速受到影响而下降.

以曲线角度 $>30^\circ$ 的路段为参照,直线路段车速比其高 7.3(平峰),4.212(高峰)km/h,曲线角度 $<15^\circ$ 的路段车速比其高 6.33(高峰),3.345(平峰)km/h,曲线角度在 $15^\circ \sim 30^\circ$ 的路段相对高 4.9(高峰),1.096(平峰)km/h.

主干路车速受公交车运行的影响很大,通过设置公交专用道可以一定程度地缓解公交车与小汽车之间的影响,提高道路车速. 未设置公交专用道的路段车速比设有公交专用道的路段低 8.43(高峰), 9.008(平峰)km/h. 此外,高峰时道路使用空间有限,故车道数对车速具有显著影响. 以两车道路段为参照层,车道数 ≥ 5 ,四车道和三车道路段分别相对高 7.42,1.95 和 1.4 km/h.

不同于公路上的路段,城市道路的车速很大程度上受到交叉口部分的影响,合理地左右专用道设置对改善路段车速具有明显的作用. 以禁左的路段作为参照,设置 2 条或 2 条以上的左转专用车道,会导致车速相对下降 8.78(高峰),5.25(平峰)km/h;设置 1 条左转专用道的路段,车速相对下降 3.17(高峰),2.26(平峰)km/h;直左专用道的路段,车速相对高了 0.27(高峰),2.35(平峰)km/h. 以禁右的路段作为参照,设置 1 条以上的右转专用道的路段,车速相对下降 4.35(高峰),2.62(平峰)km/h;直右专用道的路段车速相对下降 1.11(高峰),0.03(平峰)km/h.

周边土地利用程度和接入口设置均会一定程度

影响平均车速. 与周边 2 类以上的复合土地利用的路段相比,周边仅 1 类或 2 类土地利用的路段车速相对高 2.55(高峰),2.13(平峰)km/h 和 3.91(高峰),4.03(平峰)km/h. 无接入口的路段车速相对高 1.78(高峰),1.87(平峰)km/h.

此外,平峰时中央分隔形式、行人横道线设置、道路长度对车速具有显著影响作用. 以分隔带作为参照,具有分隔带的路段车速比无分隔情况下高出 3.784 km/h;而具体的分隔形式,即分隔栏和分隔带不会对车速造成显著地影响. 路段内设置 1 处或者 1 处以上行人横道线,会造成道路车速下降 2.43 km/h. 道路长度每增加 1 个单位的道路长度(m),就会导致车速增加 0.01 km/h.

3.2 速度方差影响因素模型

在 SAS 软件中运用 GLM 过程建立速度方差的回归模型(表 2). 模型整体的 F 检验值为 2.33, $Pr < 0.0001$ (高峰)和 5.82, $Pr < 0.0001$ (平峰),具有统计意义. R^2 值为 0.199(高峰)和 0.181(平峰). 模型结果表明,区域、机非分隔形式、曲线角度、车道数、公交专用道设置、左转专用道设置、土地利用复合度共 6 项因素会对车速有较显著的影响.

表 2 速度方差影响因素模型结果
Tab. 2 Results of modeling speed variance factors

影响因素	高峰时段			平峰时段		
	系数值	标准差	Pr 值	系数值	标准差	Pr 值
常数项			0.012 2	122.73	25.20	<0.000 1
区域			0.002 3			0.001 2
浦东 vs. 浦西内环以外	36.61	19.35	0.059 2	47.70	16.52	0.004 1
浦西内环以内 vs. 浦西内环以外	-30.34	11.97	0.011 7	-17.46	9.91	0.079 0
机非分隔形式			0.002 9			不显著
非机动车道 vs. 无机非分隔	-32.28	14.57	0.027 3			
机非分隔带 vs. 无机非分隔	-3.27	14.18	0.817 4			
机非分隔栏 vs. 无机非分隔	-33.34	12.45	0.007 7			
曲线角度			0.005 1			0.009 2
0° vs. >30°	34.30	12.29	0.005 5	29.82	20.02	0.137 1
<15° vs. >30°	15.32	15.09	0.310 5	28.42	21.39	0.184 9
15°~30° vs. >30°	11.63	24.67	0.637 8	-5.05	22.25	0.820 5
车道数			0.002 0			0.048 8
≥ 5 vs 2	72.31	18.76	0.000 1	47.05	16.92	0.005 7
4 vs 2	21.90	13.02	0.093 4	20.21	11.38	0.076 7
3 vs 2	10.12	9.93	0.308 7	4.49	8.77	0.608 2
公交专用道设置			0.070 8			0.072 9
无 vs. 有	-22.38	12.35	0.070 8	-19.67	10.94	0.072 9
交叉口左转专用道设置			0.000 9			0.019 3
2 条以上 vs. 禁左	-39.90	14.35	0.005 7	8.13	12.93	0.530 0
1 条 vs. 禁左	12.05	8.60	0.161 8	18.86	7.74	0.015 3
直左 vs. 禁左	18.86	10.79	0.081 3	27.13	9.55	0.004 7
土地利用复合度			0.007 9			不显著
1 种 vs 2 种以上	30.06	12.35	0.015 4			
2 种 vs 2 种以上	27.29	9.09	0.002 9			
R-Square		0.20			0.18	

浦东地区速度方差比浦西内环以外高 36.61 (高峰), 47.7 (平峰) km^2/h^2 , 浦西内环以内区域的道路比内环以外区域低 30.34 (高峰), 17.5 (平峰) km^2/h^2 .

曲线角度为 0° 及 $<15^\circ$ 的路段分别比曲线角度 $>30^\circ$ 的路段高了 34.3 km^2/h^2 (高峰), 29.8 km^2/h^2 (平峰) 和 15.32 km^2/h^2 (高峰), 28.4 (平峰) km^2/h^2 , 对于平曲线角度较大的路段, 车速和速度方差均会受到限制而下降。

以 2 车道的路段为参照, 5 车道或以上、4 车道和 3 车道的路段速度方差分别相对高 72.31 (高峰), 47.00 (平峰), 21.90 (高峰), 20.2 (平峰) 和 10.12 (高峰), 4.94 (平峰) km^2/h^2 . 车道数的增加给予驾驶员更宽阔的行驶空间, 速度选择存在更自由, 因此造成道路的速度方差较高。

未设公交专用道路段的速度方差相比设了公交专用道的路段要低 22.38 (高峰), 19.67 (平峰) km^2/h^2 , 意味着对于未设公交专用道的路段, 车辆由于受公交车影响相对较大, 行驶空间受限而速度波动程度较小。

相对于禁止左转的路段, 采用直左专用道的路段速度方差高了近 27.1 个单位, 而设置 1、2 条或 2 条以上左转专用道的路段高了近 18.8 和 8.12 个单位. 这可能是因为左转车流与直行车流在路段上混合行驶状态, 而邻近交叉口时则必须分流. 路段采用直左专用道的形式时, 左转车流与直行车流的相互影响作用最大, 故导致速度波动程度最大。

4 结束语

浮动车数据相对于传统速度采集方法, 具有能够描绘整条路段运行特征的优势. 论文介绍了利用 FCD 描述道路运行状况的方法: 首先通过速度-里程变化曲线, 直观地反映车辆行驶的车速变化规律; 其次, 以平均车速、速度方差指标定量地描述运行状况, 其中平均车速反映了道路运行效率, 速度方差代表车辆间的速度差异程度 (速度方差高往往易导致发生事故). 同时, 本文调查了上海城市主干路的横断面、道路几何、接入口特征、流量、道路线型、车道

渠化和土地利用等道路与环境特征, 建立多元线性回归模型, 分析了各类道路与环境特征对平均车速、速度方差的影响程度。

参考文献:

- [1] Transportation Research Board. Highway capacity manual (2000)[M]. Washington D. C. : Transportation Research Board, 2000.
- [2] Oopenlander J C. Variables influencing spot-speed characteristics: review of the literature[R]. Washington D. C. : Highway Research Board Special Report, 1966:39.
- [3] Edquist J, Rudin-Brown C M, Lenne M G. Road design factors and their interactions with speed and speed limits [R]. Melbourne: Melbourne Accident Research Centre, Monash University, 2009:30.
- [4] Poe C M, Tarris J P, Mason J M. Operating speed approach to geometric design of low-speed urban streets [R]. Washington D. C. : Transportation Research Board, 1998.
- [5] Wang J. Operating speed models for low speed urban environments based on in-vehicle GPS data [D]. Atlanta, USA: Atlanta Georgia Institute of Technology, 2006.
- [6] Fitzpatrick K, Carlson P, Brewer M, et al. Design factors that affect driver speed on suburban streets[R]. Washington D. C. : Transportation Research Record, 1751, 2001:18-25.
- [7] Liu B S. Association of intersection approach speed with driver characteristics vehicle type and traffic conditions comparing urban and suburban areas [J]. Accident Analysis and Prevention, 2007,39:216-223.
- [8] 李洪萍, 裴玉龙, 杨中亮. 快速路自由流速度及影响因素 [J]. 吉林大学学报:工学版, 2007,37(4):772-776. Li Hongping, Pei Yulong, Yang Zhongliang. Factors influencing free flow speed on expressway[J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology ed, 2007,37(4):772-776. (in Chinese)
- [9] Sanwal K K, Walrand J. California PATH working paper UCB-ITS-PWP-95-11 [R]. Berkley: Institute of Transportation Studies, University of California, 1995.

(责任编辑:刘雨)