

文章编号:1005-0523(2018)02-0066-07

山区小城市机非混行道路行程时间修正模型研究

张 翀,陈金山,郭建钢,李 林,罗文婷

(福建农林大学交通工程研究所,福建 福州 350002)

摘要:为准确估计山区小城市路段行程时间,以山区小城市道路为研究对象,在分析其交通特性和传统 BPR 模型的基础上,通过定义路段累计流量,构造了基于路段累计流量的机非混行道路行程时间修正模型。采用人工记录法获取非拥堵状态下的实测数据,并通过 VISSIM 仿真得到拥堵状态下的实验数据,根据大量数据标定修正 BPR 模型的主要参数,并对两种模型进行误差分析。结果表明:山区小城市干路行程时间估计中,修正 BPR 模型的误差均值为 4.597%,传统 BPR 模型的误差均值为 35.021%;支路行程时间估计中,修正 BPR 模型的误差均值为 3.120%,传统 BPR 模型的误差均值为 46.737%。修正 BPR 模型的估计效果明显优于传统 BPR 模型,且非机动车干扰对支路路段行程时间的影响更为显著。

关键词:山区小城市;行程时间;累计流量;机非混行;BPR 模型

中图分类号:U491.1

文献标志码:A

行程时间是交通出行者路径选择的重要依据,大量的出行者路径决策又决定了路网交通分配,行程时间的估计对均衡时空资源和提高道路利用率具有现实意义。目前,对于行程时间的估计已有多种专门的技术方法^[1-3],但因模型形式复杂,难以在实际交通规划中得以应用。由美国公路局(Bureau of Public Roads)提出的 BPR 模型具有可导性和单调性等良好的数学性质,国内外学者以美国公路局提出的 BPR 函数为基础,对路阻函数模型进行了不懈的探索和改进^[4-5]。

针对拥挤状态下,交通量降低而行程时间增加的现象,目前比较普遍的修正方法是将交通量转化为密度或将模型分为畅通、拥挤两种状态进行描述^[6];或根据交通拥挤指数的不同,将模型划分为自由流状态、阻滞流状态和拥挤流状态进行分状态模型标定^[7];也有学者引入累计流量的概念,建立累计流量修正模型以使行程时间随累计流量单调递增^[8]。此外,城市道路的交通环境往往比较复杂,将影响行程时间的因素以线性形式引入 BPR 模型中,建立启发式 BPR 函数能够全面考虑各因素对行程时间的影响,但该模型过于依赖路段实况,使其普适性不足^[9-11]。根据我国城市混合交通的特点,已有学者对不同路幅形式和不同横向干扰程度下的路阻函数模型进行研究^[12],并提出相关参数的标定方法^[13-14],但上述研究均是建立在道路组成完整、非机动车道能够发挥功能的前提下进行。由于山区城市受山体和河流等自然条件制约,道路等级较低,道路横断面组成相对不完善,尤其是非机动车道缺失所导致的机非交通流之间相互干扰较大,很大程度上增加了行车延误;在小城市的交通组成中,非机动车比例较大,混合交通特征明显,但其交通设施发展相对滞后,机非干扰比大中城市更为严重。现有的路段行程时间估计模型难以准确反映山区小城市的实际情况。以山区小城市道路为研究对象,根据《城市道路交通规划设计规范》^[15],从

收稿日期:2017-11-24

基金项目:国家自然科学基金(51608123);福建省自然科学基金(2017J01682)

作者简介:张翀(1993—),女,研究方向为交通运输规划与管理。

通讯作者:郭建钢(1962—),男,教授,博士,研究方向为交通管理规划、智能交通等。

规划层面将道路分为干路和支路,在大量实测数据的基础上,辅以交通仿真,旨在建立基于累计流量的机非混行道路行程时间修正模型。

1 方案设计

1.1 实验方案

以福建省安溪县河滨南路(干路)和八三一路(支路)为例展开研究,于 2017 年 9 月,在正常天气条件下对上述路段开展调查,每次连续调查时间为 2 h。调查采用人工记录法记录路段横断面形式、路段长度和路段两端交叉口控制方式等道路情况,见表 1。运用车牌照法记录路段起终点机非交通量和车辆路段起终点通过时间等交通情况,其中车辆通过路段起终点截面均为交叉口停止线的反向延长线位置。交通量调查起点也为停止线的反向延长线位置,但其终点为下游交叉口进口道停止线位置,见图 1。为保证样本量、提高调查效率和数据精度,以 5 min 为统计时间间隔获取观测样本,路段交通量按《城市道路工程设计规范》进行折算^[16]。

表 1 路段单向道路状况一览表
Tab.1 One-way road condition

道路名称	道路等级	起点	终点	路段长度/m	机动车道数	车道宽度/m	非机动车道	起点交叉口控制方式	终点交叉口控制方式
河滨南路	干路	建安大道	龙飞路	181	2	3.25	无	信号控制	无信号控制
八三一路	支路	凤山路	民主路	149.5	2	3.25	无	无信号控制	无信号控制

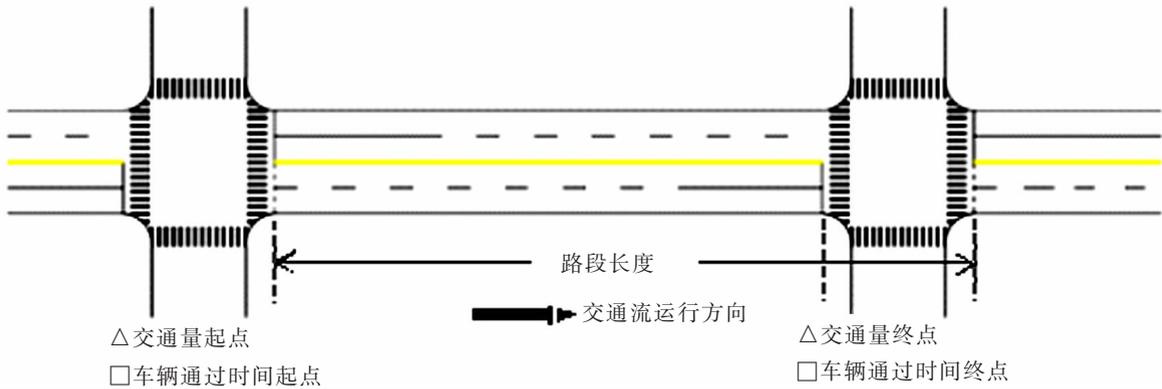


图 1 路段调查点示意图

Fig.1 Investigation point positioning in the road section

1.2 仿真实验

山区小城市出行高峰时段短、机非出行高峰不重合,路段车流普遍处于畅通状态或拥挤状态,不易出现拥堵现象。为表征机非交通流同处高峰的阻滞交通状态,借助 VISSIM 仿真软件连续获得从实际的畅通状态到仿真的拥堵状态的交通运行数据。仿真过程中,交通检测器设置位置与路段实地调查的调查点位置相同,非机动车交通量按照实地调查的最大非机动车交通量输入;机动车交通量在 $[0, 300)$ s 时间段内按实测最小机动车交通量输入,在 $[300, 600)$ s 时间段内按实测机动车交通量的均值输入,在 $[600, 900)$ s 时间段内按实测最大机动车交通量输入,在 $[900, 1 200)$ 、 $[1 200, 1 500)$ s 和 $[1 500, 1 800)$ s 时间段内分别按实测机动车交通量的 1.2 倍、1.4 倍和 1.6 倍输入,见表 2。

表2 VISSIM 仿真实验的输入交通量
Tab. 2 Traffic volumes for simulation in VISSIM

时间段/s	机动车交通量/(veh·5 min ⁻¹)	非机动车交通量/(辆 5 min ⁻¹)
[0,300)	实测最小机动车交通量	实测最大非机动车交通量
[300,600)	实测机动车交通量均值	实测最大非机动车交通量
[600,900)	实测最大机动车交通量	实测最大非机动车交通量
[900,1200)	实测最大机动车交通量的 1.2 倍	实测最大非机动车交通量
[1 200,1 500)	实测最大机动车交通量的 1.4 倍	实测最大非机动车交通量
[1 500, 1 800)	实测最大机动车交通量的 1.6 倍	实测最大非机动车交通量

通过 VISSIM 仿真软件输出各检测点的交通量、行程时间等交通运行数据,将[0,900) s 时间段内的运行数据与实测数据进行对比,调整仿真参数,获取[900,1 800) s 时间段内交通拥挤状态和拥堵状态的运行数据。

2 建模与分析

2.1 传统 BPR 模型

传统 BPR 模型是关于路段行程时间与路段交通负荷之间的关系模型

$$t(t)=t_0[1+\alpha[Q(t)/C(t)]^\beta] \quad (1)$$

式中: $t(t)$ 为车辆在 t 时间段内通过路段的行程时间; t_0 为车辆通过路段的自由行驶时间; $Q(t)$ 为 t 时间段内路段的机动车交通量; $C(t)$ 为 t 时间段内路段的实际通行能力; α,β 为待标定参数,建议取 $\alpha=0.15,\beta=4$ 。

尽管传统 BPR 模型是目前应用最为广泛的行程时间估计模型,但同一 Q/C 值可对应畅通和拥挤两个交通状态,显然两个交通状态下路段的行程时间不同;且 $t-1$ 时段未驶出路段的交通量仍会对 t 时段驶入路段的车辆造成影响,导致行程时间的增加;此外,山区小城市受地形条件限制,非机动车道缺失导致机非混行现象严重,传统 BPR 模型无法反映非机动车干扰对路段机动车行程时间的影响。

2.2 修正 BPR 模型

传统 BPR 模型虽然不完全符合山区小城市的交通实际,且在拥挤状态的估计效果不佳,但其构型能够很好地反映畅通状态下行程时间随交通负荷的变化趋势,而且具有良好的数学性质。在保留传统 BPR 模型构型的基础上,通过路段起终点交通量差值确定当前时段(t 时段)未驶出路段的车辆数,将前一时段($t-1$ 时段)未驶出调查路段的交通量和 t 时段路段起点交通量之和定义为路段累计流量,以累计流量与 t 时段通行能力之比确定路段 t 时段的机动车交通负荷,构造机非混行道路条件下的修正 BPR 模型

$$t(t)=t_0[1+\alpha_1[Q_{cs}(t)/C(t)]^{\beta_1}+\alpha_2[Q_{cs}(t)/C(t)]^{\beta_2}] \quad (2)$$

$$Q_{cs}(t)=Q_{c1}(t)+Q_r(t-1) \quad (3)$$

$$Q_r(t)=Q_{c1}-Q_{c2}+Q_r(t-1) \quad (4)$$

式中: $Q_{cs}(t)$ 为 t 时间段内路段累计机动车交通量; $Q_r(t)$ 为 t 时间段内未驶出路段的机动车交通量; $Q_{c1}(t)$ 为 t 时间段内路段起点机动车交通量; $Q_{c2}(t)$ 为 t 时间段内路段终点机动车交通量; $Q_b(t)$ 为 t 时间段内路段非机动车交通量; $\alpha_1,\alpha_2,\beta_1$ 和 β_2 为待标定参数。

2.3 修正模型参数标定

修正 BPR 模型中, t_0 和 $Q_b(t)$ 由调查直接得到, $Q_{cs}(t)$ 和 $C(t)$ 可通过实验数据间接计算确定。针对不同等级道路,根据实测和仿真实验数据,运用 Matlab 标定修正 BPR 模型的参数,得到山区小城市道路行程时间与机动车交通负荷、非机动车辆数的关系模型见图 2,相应的检验参数见表 3。可以看出,支路的 α_2,β_2 标定值大于干路的 α_2,β_2 标定值,支路非机动车的干扰对路段行程时间的影响更为显著。

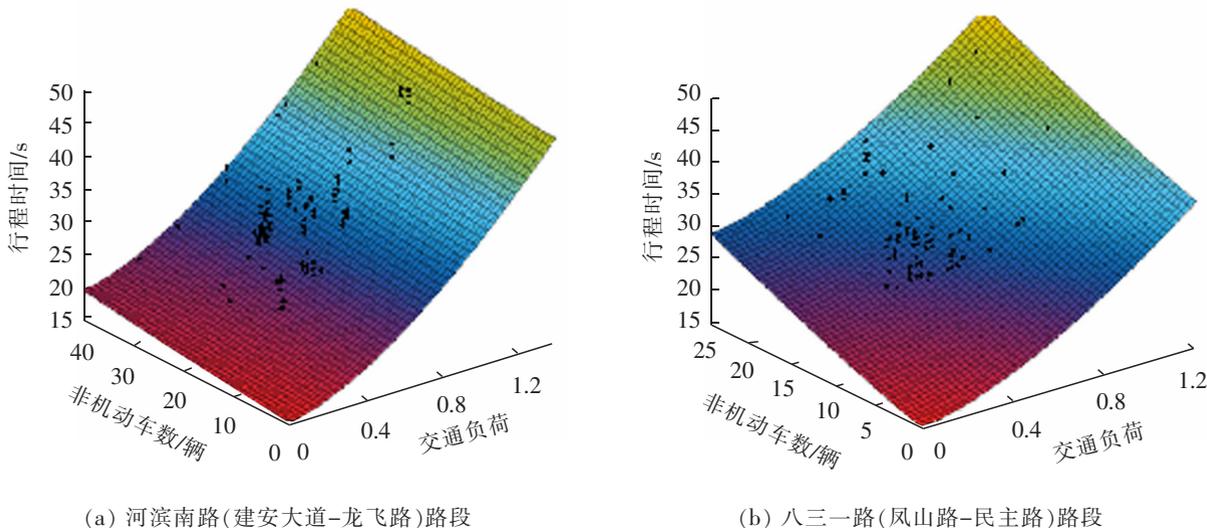


图 2 交通负荷-非机动车辆数-行程时间三维关系拟合图
 Fig.2 Relation fitting of traffic load-the number of non-motor vehicle-travel time

表 3 修正模型标定结果
 Tab.3 Calibrated result of BPR model modification

道路等级	修正 BPR 模型	R^2	RMSE
干路	$t(t)=t_0[1+1.244[Q_{cs}(t)/C(t)]^{1.526}+0.004819Q_b(t)^{1.107}]$	0.981 6	0.798
支路	$t(t)=t_0[1+1.134[Q_{cs}(t)/C(t)]^{1.513}+0.02464Q_b(t)^{1.122}]$	0.958 0	0.896

2.4 误差分析

采用同为山区小城市的福建省松溪县的工农中路(干路)和河东路(支路)道路交通调查数据对修正 BPR 模型和传统 BPR 模型的估计值进行误差分析,见表 4 和表 5。从表 5 可看出,工农中路的修正 BPR 模型估计值与实测值的相对误差的绝对值均值为 4.597%,传统 BPR 模型估计值与实测值的相对误差的绝对值均值为 35.021%;河东路的修正 BPR 模型估计值与实测值的相对误差的绝对值均值为 3.120%,传统 BPR 模型估计值与实测值的相对误差的绝对值均值为 46.737%。显然,修正 BPR 模型的估计效果明显优于传统 BPR 模型,说明传统 BPR 模型不适用于估计山区小城市路段的行程时间。

由表 4 可见,在干路上,随着机动车交通负荷的不断增大,修正 BPR 模型的相对误差值无明显变化趋势,而传统 BPR 模型相对误差总体上随之增大,这是因为随着累计流量的增加,机非交通流相互的干扰逐渐增大,但传统 BPR 模型只体现了交通负荷对行程时间的影响。在支路上,随着机动车交通负荷的不断增大,两种模型的相对误差均无明显变化趋势,但传统 BPR 模型误差值较大。从整体估计效果来看,传统 BPR 模型的估计值均小于路段行程时间实测值。这主要是因为修正 BPR 模型考虑了前一时段未驶出路段的车辆以及路段非机动车干扰对路段行程时间的影响。因此,修正 BPR 模型相对于传统 BPR 模型,能够更好地表达山区小城市道路交通特性,进而取得更为贴近实际的路段行程时间估计值。

表4 路段行程时间估计结果与误差
Tab.4 The results and error about road section travel time

道路名称 (道路等级)	机动车交通负荷 (非机动车辆数)	实测均值/s	修正 BPR 模 型估计值/s	相对误差/%	传统 BPR 模 型估计值/s	相对误差/%
工农中路 (干路)	0.297(17)	32.750	33.957	3.686	26.069	-20.400
	0.364(32)	39.182	38.728	-1.159	26.250	-33.005
	0.396(34)	39.286	40.081	2.024	26.344	-32.943
	0.444(37)	40.125	42.191	5.149	26.536	-33.867
	0.489(27)	39.500	41.670	5.494	26.516	-32.871
	0.563(29)	43.643	44.670	2.353	26.860	-38.455
	0.628(36)	45.750	48.522	6.059	27.502	-39.886
	0.687(33)	47.176	50.249	6.534	27.868	-40.916
	0.747(39)	49.818	53.956	8.306	28.824	-42.141
	0.839(50)	57.282	60.264	5.206	31.092	-45.721
河东路 (支路)	0.198(26)	90.667	92.302	1.803	45.252	-50.090
	0.200(19)	76.528	79.642	4.069	45.125	-41.035
	0.256(17)	81.600	78.127	-4.256	45.185	-44.626
	0.326(24)	88.333	93.576	5.936	45.612	-48.364
	0.367(16)	80.250	81.080	1.034	45.453	-43.361
	0.391(13)	75.400	77.036	2.170	45.437	-39.739
	0.411(19)	88.125	88.464	0.385	45.764	-48.069
	0.432(21)	93.667	93.091	-0.615	46.015	-50.874
	0.443(20)	85.714	91.848	7.156	46.03	-46.298
0.549(29)	107.667	110.352	3.780	47.937	-54.918	

表5 路段行程时间误差均值对比
Tab.5 The error comparison between the traditional and modified BPR models

道路名称	道路等级	修正 BPR 模型误差均值/%	传统 BPR 模型误差均值/%
工农中路	干路	4.597	35.021
河东路	支路	3.120	46.737

3 结论与讨论

3.1 结论

针对目前 BPR 行程时间估计难以反映山区小城市交通实际的现状,以安溪县河滨南路和八三一路为实验对象,构建修正 BPR 模型,并通过松溪县工农中路和河东路进行模型验证,得出以下主要结论:

- 1) 以传统 BPR 模型为基础,以 $t-1$ 时段未驶出路段的交通量和 t 时段路段起点交通量之和构建路段累计流量表达式,并构造了基于累计流量的山区小城市机非混行道路行程时间修正模型;
- 2) 根据实验数据,分别标定了山区小城市干路、支路修正 BPR 模型的关键参数,由标定值得出支路非机动车干扰对路段行程时间的影响更为显著;
- 3) 以同类城市实测数据进行误差分析,表明相较于传统 BPR 模型,修正 BPR 模型能够取得更为贴近实际的路段行程时间估计值。

3.2 讨论

修正 BPR 模型考虑了山区小城市的道路交通特性,可移植到同类山区小城市运用。然而,由于路段的行程时间可能受到行人过街、施工干扰等影响,下一步需要采集更多的有效数据,研究考虑因素更为全面的修正 BPR 模型。

参考文献:

- [1] EMILY K M. Moylan, Taha hossein rashidi. latent-segmentation, hazard-based models of travel time[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2017, 18(8): 2174-2180.
- [2] 王志建, 马超锋, 李梁. 低频 GPS 数据和交叉口延误下的行程时间估计[J]. 西南交通大学学报, 2015, 50(2): 361-367.
- [3] LADINO A, KIBANGOU A Y, CANUDAS D W C, et al. A real time forecasting tool for dynamic travel time from clustered time series[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2017, 80: 216-238.
- [4] DAVIDSON K B. The theoretical basis of a flow-travel time relationship for use in transportation planning [J]. Australian Road Research, 1978, 8(1): 32-35.
- [5] SPIESS H. Conical volume-delay functions[J]. Transportation Science, 1990, 24(2): 153-158.
- [6] 潘义勇, 余婷, 马健霄. 基于路段与节点的城市道路阻抗函数改进[J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2017, 36(8): 76-81.
- [7] 孙兆祖. 路径行程时间及其可靠性研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2017: 22-29.
- [8] 姜桂艳, 李继伟, 张春勤. 城市主干路路段行程时间估计的 BPR 修正模型[J]. 西南交通大学学报, 2010, 45(1): 124-129.
- [9] 刘宁, 赵胜川, 何南. 基于 BPR 函数的路阻函数研究[J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2013, 37(3): 545-548.
- [10] 何南, 刘宁, 赵胜川. 基于 BPR 函数的道路阻抗研究[J]. 南京工程学院学报: 自然科学版, 2013, 11(1): 6-11.
- [11] 何南, 赵胜川. 城市道路阻抗函数模型研究——以大连市为例[J]. 公路交通科技, 2014, 31(2): 104-108.
- [12] 骆伟, 吴克晴. 基于改进的阻抗函数下的混合交通均衡模型[J]. 华东交通大学学报, 2013, 30(4): 46-53.
- [13] 四兵锋, 钟鸣, 高自友. 城市混合交通条件下路段阻抗函数的研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2008, 8(1): 68-73.
- [14] 任刚, 刘晓庆, 全林花. 混合交通条件下的城市道路实用路阻函数[J]. 中国公路学报, 2009, 22(4): 92-95.
- [15] 中华人民共和国建设部. GB 50220-95 城市道路交通规划设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 1995.
- [16] 中华人民共和国住房和城乡建设部. CJJ 37-2012 城市道路工程设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.

Study on Modification Model of Mixed Traffic Travel Time in Small Mountainous Cities

Zhang Chong, Chen Jinshan, Guo Jiangang, Li Lin, Luo Wenting

(Traffic Engineering Research Institute, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: To accurately estimate road section travel time in small mountainous cities, the travel time modification model was proposed based on traffic property analysis, traditional BPR model analysis, as well as the accumulative traffic flow analysis of mixed traffic road sections. In this paper, the manual recording method was adopted to collect field data under non-congestion state, and VISSIM software was simulated to acquire experimental data under congestion state. Then, the traditional BPR model was modified based on a large amount of traffic flow data, and an error comparison between the traditional and modified BPR models was made. The research results show that the traditional and modified BPR models respectively produce the average errors of 35.021% and 4.597% in travel time for arterial roads, and of 46.737% and 3.120% in travel time for access roads. It can be concluded that the estimation performance of the modified BPR model is better than that of the traditional BPR model, and the effects of non-motor vehicle interference on access road travel time is more significant.

Key words: small mountainous cities; travel time; accumulative traffic flow; mixed traffic; BPR model