

基于中观模型的福州快速路动态交通仿真研究^{*}傅成红¹, 凌新和², 李博洋¹

(1.福建工程学院 交通运输学院, 福建 福州 350118; 2.福州市规划设计研究院, 福建 福州 350118)

摘要: 分析了经典交通流模型的特点与适用性;以福州市快速路及主干道为对象构建仿真路网模型,引入中观交通流模型,利用仿真软件 DynuStudio 对路网进行交通分区、OD 交通量估计、交通流模型主要参数标定,对快速路进行动态交通分配仿真分析。结果表明,福州市三环快速路交通服务水平稳定且通畅,但二环快速路情况复杂,高峰时段拥堵严重,与现实情况基本一致。

关键词: 城市交通;快速路;动态交通;中观模型;仿真分析

中图分类号: U491.2

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2019)01-0026-04

交通拥堵导致市民出行时间、能源消耗、污染物排放急剧增加,严重制约城市的可持续发展。而且近年来城市交通拥堵已由点到面蔓延,演变成路网层面的交通问题,交通管控措施必须关注到城市(区域)路网,以最大限度改善城市路网通行能力。

以前的交通流模型主要关注路段交通运行规律,如速度-密度线性关系模型、Greenberg 模型、Underwood 模型、Pipes 模型等。该文引入中观仿真(Anisotropic Mesoscopic Simulation, AMS)模型,利用中观层次的交通仿真软件 DynuStudio 对福州市主城区骨干路网交通进行仿真研究。

1 交通流模型简介

1.1 经典交通流模型

交通流理论的速度-密度-流量模型用于描述宏观交通流的基本规律。1933 年, Greenshields B. D. 等提出速度-密度线性关系模型[见式(1)],该模型适用于交通流密度较大的情况。

$$u = u_f \left(1 - \frac{k}{k_j} \right) \quad (1)$$

式中: u 、 k 分别为交通流的速度和密度; u_f 为自由流状态下的行车速度(km/h); k_j 为堵塞状态下的车流密度。

后来学者们对 Greenshields 模型进行改进,先后提出了 Greenberg 模型[见式(2)]、Underwood 模型[见式(3)]和 Pipes 模型[见式(4)]等。其中: Greenberg 模型、Underwood 模型在密度特别小时

(趋近零)速度无限大,不符合实际,因而不适用于密度较小的情况; Pipes 模型的幂参数 n 可调整,其适用范围比 Greenshields 模型广, $n=1$ 时即为 Greenshields 模型。

$$u = u_f \ln \left(\frac{k_j}{k} \right) \quad (2)$$

$$u = u_f e^{-k/k_j} \quad (3)$$

$$u = u_f \left(1 - \frac{k}{k_j} \right)^n \quad (4)$$

1.2 中观仿真模型

沿用 Greenshields 模型的基本思路, Y. C. Chiu 等提出 AMS 模型:

$$u - u_0 = (u_f - u_0) \left[1 - \left(\frac{k}{k_j} \right)^\beta \right]^\alpha$$

式中: u_0 为交通流接近阻塞时的最大速度; α 、 β 为可调整参数。

理论阻塞速度应为零。但实践中,当阻塞导致速度低于某个值时,如 $u_0 = 5$ km/h,则认为是阻塞。

针对快速路、城市干道交通流的特点, AMS 模型有单阶段、两阶段两种形式(见图 1)。单阶段模型适用于主干道,其最高行驶速度因车流过大不能达到自由流速度;两阶段模型适用于快速路,当车流密度很小时,其速度通常受到路段限速、车辆技术速度的限制而有一个最高值,即自由流速度。

2 道路网的仿真处理

2.1 道路的主要属性

仿真路段的主要属性包括道路等级(快速路、主

^{*} 基金项目: 福州市社科规划项目(2017FZB15);福建省自然科学基金项目(2016J01725);福建工程学院科研发展基金项目(GY-Z160133;GY-Z160123)

干道、次干道、支路)、车道数、长度和限速(见表 1)。

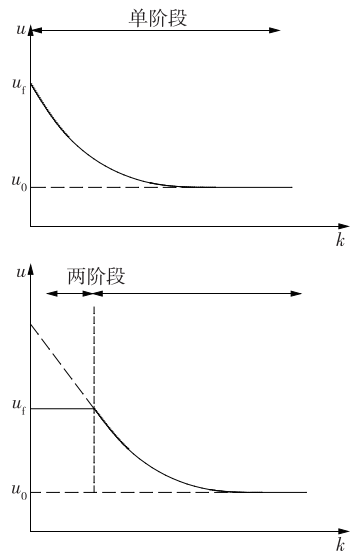


图 1 两种形式的 AMS 模型曲线

表 1 路段的主要属性

道路等级	车道数/条	限速/(km · h ⁻¹)
快速路	2,3,4	60,80,100,120
主干道	2,3	55,70
次干道	2	45,55
支路	1,2	30

交叉口(点)采用多时段固定相位方式,根据其交通流特征,相位分为多个阶段设置,24 h 最多分为 8 个阶段,其中早、中、晚 3 个高峰时段独立设置。

2.2 路段及交叉口的处理

2.2.1 路段通行方向

仿真路段用有起止点的有向曲线表示,根据需要,设置为单向或双向通行。快速路、干道的主线路段,车辆分方向行驶,路段仅允许单向通行;快速路出入口、交叉口左右转向路段只允许车辆按规定方向单向通行[见图 2(a)];支路一般路宽有限,允许车辆双向通行,用一条路段表示[见图 2(b)]。

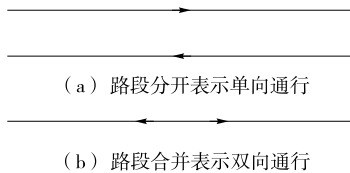


图 2 路段通行方向示意图

2.2.2 路口交叉

为实现在仿真路网的路口(交叉点)设置红绿灯相位控制,对路口交叉进行处理。如果相交的两条

路段均为图 2(b)的形式,则直接在交叉口设置通行相位。对于路段仅允许单向通行的双向道路交叉口,需作如下处理:对图 3 所示井字交叉口进行处理,使其表现为十字交叉口;对图 4 所示 T 字交叉口也作类似处理;处理后的交叉口相位控制设置在交叉点处。处理完成后的路网见图 5。

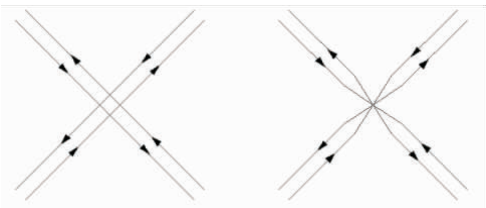


图 3 处理前后的十字交叉口

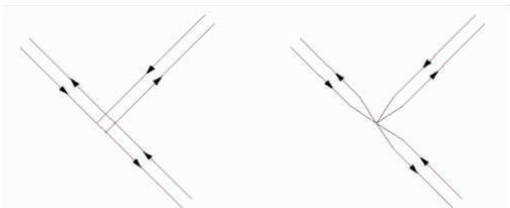


图 4 处理前后的 T 字交叉口



图 5 福州市主城区骨干路仿真路网

3 交通小区划分与 OD 数据准备

3.1 交通小区划分

该文研究对象为福州市快速路,路网构建只关注快速路、干道等级层次,即骨干路网。福州市骨干路网主要由二环快速路、三环快速路、接二连三(二、三环连接路段)和“五纵七横”的干道构成。以骨干路网的道路为分界线,将研究区域分为 40 个交通小区,其中 1~16 号小区在二环内,17~28 号小区在二、三环之间,29~40 号小区居于三环外(见图 6)。

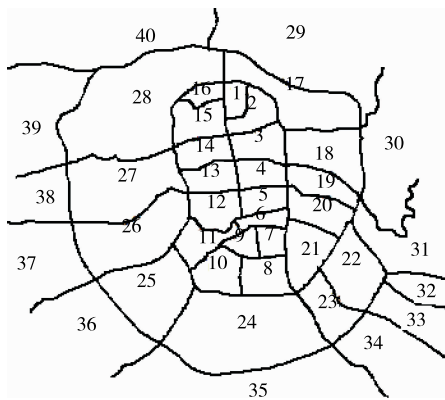


图6 福州市主城区骨干路网交通小区划分示意图

3.2 OD 估计

受条件限制,无法获得实际 OD 交通量。采用已有的 2012 年福州主要路口交通调查数据,借助 2012—2017 年常住人口密度、车辆保有量统计数据,采用增长系数法估算 OD 交通量为 114.3 万辆(见表 2),其中车型比例=大型车:小型车=1:9。

表 2 交通小区 OD 交通量 辆

小区编号	O	D	小区编号	O	D
1	10 374	9 620	21	11 316	11 084
2	21 767	21 596	22	4 773	5 075
3	24 950	22 480	23	4 177	4 295
4	20 763	21 429	24	16 709	15 586
5	15 838	16 970	25	22 469	21 468
6	7 090	7 256	26	26 237	24 109
7	6 380	5 851	27	12 221	11 256
8	18 094	16 455	28	15 004	13 705
9	7 162	7 253	29	9 237	9 764
10	10 248	10 934	30	5 028	5 065
11	5 761	5 952	31	3 964	3 944
12	38 866	35 161	32	7 220	6 931
13	34 990	35 514	33	6 724	6 854
14	41 545	43 468	34	11 321	10 861
15	21 329	20 795	35	13 033	12 083
16	12 223	12 122	36	12 526	12 165
17	11 919	11 465	37	6 275	6 886
18	7 693	8 242	38	6 279	5 989
19	26 952	27 293	39	5 614	5 565
20	27 305	26 683	40	5 918	6 339

3.3 模型参数取值

AMS 模型中,改变 α 和 β 的值会使 AMS 曲线的斜率发生变化。 α 值越大,曲线斜率越小,即当路网车流密度增大时,车辆速度损失相对缓慢;相反,

β 值越大,曲线斜率越大,路网会变得相对“脆弱”一些,车流密度稍有增大,速度就会很快下降。

通过实地(杨桥东路冰心故居路段、浦上大道西二环黎明路段、西三环洪塘水闸路段)调查获得路段交通流数据。为简化,设定 $\beta = 1$,采用回归方法标定主干道 $\alpha_1 = 8.5$ 、二环路 $\alpha_2 = 5.5$ 、三环路 $\alpha_3 = 3.9$ 。

4 仿真结果分析

4.1 三环快速路

选取福州市三环快速路 8 个路段断面进行观察,其 24 h 流量见图 7;以 5 min 为间隔,将 24 h 划分为 288 个时段,各时段车流平均速度见图 8。

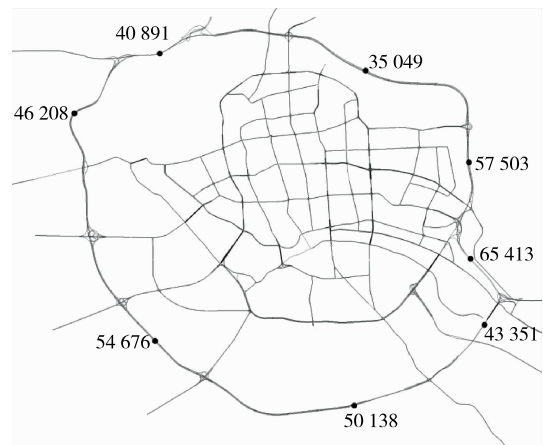


图7 三环快速路 24 h 流量(单位:辆)

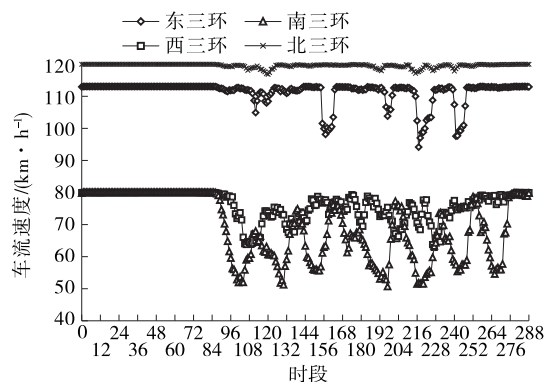


图8 三环快速路 24 h 平均速度

福州三环快速路分为东、北、西、南四段,全长约 50 km,全程不设红绿灯。东、北三环主路限速 120 km/h、隧道限速 100 km/h;西、南三环路限速 80 km/h。由图 7、图 8 可知:三环快速路车流行驶速度较稳定,除个别路段在早晚高峰时段稍受影响外,其余时间能达到畅通的行驶状态。

4.2 二环快速路

二环快速路路网条件和交通需求情况均较复

杂,全长约 28 km,主路限速 70 km/h,隧道限速 50 km/h。选取有代表性的西二环、南二环路段进行观察,其车流平均速度见图 9、图 10。

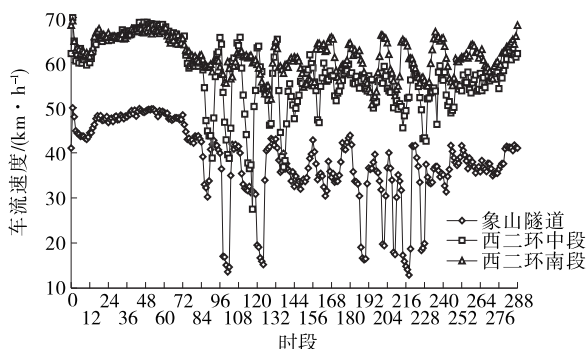


图9 西二环的平均车速

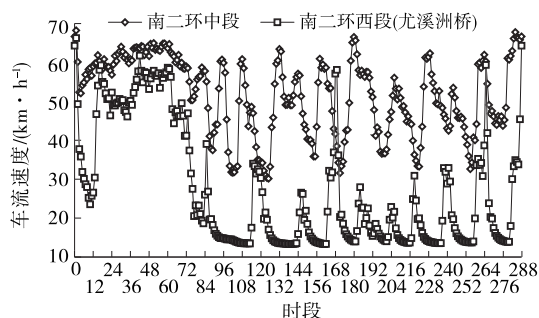


图10 南二环的平均车速

由图 9、图 10 可知:西二环北段(象山隧道)的车流在早晚高峰时段的平均速度相对缓慢;中段南向北方向在高峰时段的车流平均速度处于较低水平,已达到中度拥堵程度。南二环中段较畅通,最低速度达 30 km/h;西段(尤溪洲大桥)车流在早晚高峰时段的平均速度处于很低的水平,只有 15 km/h 左右,已达到严重拥堵程度。

北二环由北环西路、北环中路和北环东路构成,根据仿真结果,北环西路高峰期车辆行驶状态最好,能达到基本畅通的水平;北环中路早高峰较拥堵;北环东路东向西路段高峰期持续时间较长,但对车流平均速度的影响不是很大,高峰时段能达到基本畅通的水平。

东二环路段在高峰期车流受到的影响较小,能达到基本畅通的水平。

4.3 仿真结果评析

总体而言,福州市三环快速路在高峰时段的平均车速处于较平稳的状态;早晚高峰时段由于车流密度增大会对车流速度有所影响,但影响并不大,依旧能达到自由流的水平。

二环快速路的情况较复杂,高峰期基本处于饱和和甚至过饱和状态。出现这种状况的路段多集中在西二环和南二环的部分路段,如象山隧道段、西二环中路、尤溪洲大桥在高峰时段堵塞较严重,东二环和北二环的部分路段在高峰期会出现轻微拥堵。

将上述仿真结果与 2018 年 4 月 16—20 日(工作日)高德地图报告的路网交通状况进行比较,两者显示的二、三环快速路主要路段拥堵趋势基本一致。

5 结语

该文引入中观 AMS 模型,利用 DynuStudio 仿真软件对福州市骨干路网的动态交通进行仿真,从仿真结果观察到的快速路交通状况与实际交通状况基本一致,表明基于中观 AMS 模型的 DynuStudio 动态交通仿真能较好地接近实际。但仿真所加载的 OD 交通量估算较粗略,模型参数标定也偏简单,进一步的研究中需改进 OD 估算方法或结果,并详细、准确地标定仿真参数。

参考文献:

- [1] Greenshields B D, Thompson J T, Dickinson H C et al. The photographic method of studying traffic behavior[J]. Highway Research Board Proceedings, 1933, 13.
- [2] Greenberg H. An analysis of traffic flow[J]. Operations Research, 1959, 7(1).
- [3] Underwood R T. Speed, volume, and density relationships: quality and theory of traffic flow[R]. Yale Bureau of Highway Traffic, 1961.
- [4] Pipes L A. Vehicle acceleration in the hydrodynamic theory traffic flow[J]. Transportation Research, 1969, 3(2).
- [5] Geroliminis N, Daganzo C F. Existence of urban-scale macroscopic fundamental diagrams: some experimental findings[J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2008, 42(9).
- [6] 马万经, 廖大彬. 网络交通流宏观基本图: 回顾与前瞻[J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2014, 38(6).
- [7] Y C Chiu, L Zhou, H Song. Development and calibration of the anisotropic mesoscopic simulation [J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2010, 44(1).
- [8] 杨志勇, 马红伟. 基于 ALINEA 控制的高速公路入口匝道及主线交通流仿真研究[J]. 公路与汽运, 2014(5).
- [9] 荣建, 向怀坤, 冯天科. 基于 GIS 的城市快速路交通仿真模

(下转第 36 页)

- [25] 蒋惠园,王晚香.主成分分析法在综合评价中的应用[J].武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2004,28(3).
- [26] 王俊人.道路交通安全综合评价方法及对策研究[D].太原:中北大学,2006.
- [27] 范东凯,曹凯.基于主成分分析法的城市道路交通安全评价[J].中国安全科学学报,2010,20(10).
- [28] 李相勇,田澎,蒋葛夫.道路交通安全综合评价的人工神经网络方法[J].西南交通大学学报,2006,41(4).
- [29] 陈君,李聪颖,丁光明.基于BP神经网络的高速公路交通安全评价[J].同济大学学报:自然科学版,2008,36(7).
- [30] 李聪颖,王肇飞.基于BP神经网络的高速公路交通安全评价系统设计与实现[J].武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2010,34(3).
- [31] 陈光,李珊珊,董博,等.基于PCA-BP神经网络的城市轨道交通线网方案评价研究[J].铁道运输与经济,2016,38(2).
- [32] 蔡文.新学科《物元分析》[J].广东工业大学学报,1992(4).
- [33] 朱梦一,刘文超.基于物元分析的道路交通安全评价方法[J].道路与安全,2010,10(1).
- [34] 安冠宇,唐伯明,唐江,等.基于物元分析的公路交通安全评价[J].公路交通技术,2011(1).
- [35] 罗杰.山地城市道路交通安全评价指标与评价方法研究[D].重庆:重庆交通大学,2013.
- [36] 崔健.基于道路交通安全法的高速公路交通安全评价研究[D].西安:长安大学,2017.
- [37] 孙璐,李颜平,钱军,等.基于交通冲突技术的交织区交通安全评价[J].中国安全科学学报,2013,23(1).
- [38] 牛世峰,郑永雄,冯萨丹,等.基于事故树的公路路段交通安全评价方法[J].重庆交通大学学报:自然科学版,2013,32(1).
- [39] Gomes S V, Cardoso J L, Azevedo C L. Portuguese mainland road network safety performance indicator [A]. 14th World Conference on Transport Research [C]. 2017.
- [40] Rocha J M, Henriques A A, Calçada R. Safety assessment of a short span railway bridge for high-speed traffic using simulation techniques [J]. Engineering Structures, 2012, 40(7).
- [41] Derbel O, Mourllion B, Basset M. Safety assessment of mixed traffic based on accident scenario [J]. IFAC Proceedings Volumes, 2012, 45(24).
- [42] Kustra W, Jamroz K, Budzynski M. Safety PL-A support tool for road safety impact assessment [J]. Transportation Research Procedia, 2016, 14.
- [43] Pardillo Mayora J M, Jurado P R. An assessment of the skid resistance effect on traffic safety under wet-pavement conditions [J]. Accident Analysis & Prevention, 2009, 41(4).
- [44] Minderhoud M M, Bovy P H L. Extended time-to-collision measures for road traffic safety assessment [J]. Accident Analysis and Prevention, 2001, 33(1).
- [45] Kazaras K, Kirytopoulos K, Rentizelas A. Introducing the STAMP method in road tunnel safety assessment [J]. Safety Science, 2012, 50(9).
- [46] Olszewski P, Buttler I, Czajewski W, et al. Pedestrian safety assessment with video analysis [J]. Transportation Research Procedia, 2016, 14.
- [47] 成卫,李江.模糊聚类法在基于交通冲突技术的交叉口安全评价中的应用[J].交通运输系统工程与信息,2004,4(2).
- [48] 孙慧芝.城市道路交通安全的风险评价[D].青岛:山东科技大学,2006.
- [49] 马聪.基于OBD技术的驾驶行为习惯评价方法研究[D].南京:南京大学,2016.
- [50] 闵泉.基于模拟驾驶的道路交通安全评价方法及应用[D].武汉:武汉理工大学,2014.
- [51] 张志鸿.基于OBD数据分析的驾驶行为研究[D].西安:长安大学,2017.
- [52] 窦亚春.我国城镇道路交通安全评价研究[D].南京:南京林业大学,2009.
- [53] 邱安邦.道路交通安全的影响因素与综合评价[D].南京:南京林业大学,2008.
- [54] 马社强,邵春福,刘东,等.基于差异驱动原理的道路交通安全评价[J].吉林大学学报:工学版,2010,40(4).
- [55] 马明.基于多元统计方法的城市道路交通事故分析研究[D].武汉:武汉理工大学,2010.

收稿日期:2018-07-17

(上接第29页)

型研究[J].公路交通科技,2004,21(2).

- [10] 干宏程,孙立军.城市快速路动态网络交通流建模及仿真研究[J].交通与计算机,2005,23(2).

- [11] 罗嵩.城市快速路微观交通仿真系统模型的研究实现[D].上海:同济大学,2008.

收稿日期:2018-09-20