

微观交通仿真流程及其应用

Application of Microscopic Traffic Simulation

杨 嘉¹, 孙 剑²

(1.中国城市规划设计研究院,北京 100037; 2.同济大学交通运输工程学院,上海 201804)

YANG Jia¹, SUN Jian²

(1.China Academy of Urban Planning & Design, Beijing 100037, China; 2.School of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

摘要: 目前国内微观交通仿真缺乏系统的规范和指引,在仿真软件的应用过程中普遍采用系统默认的推荐值进行建模分析,往往忽略系统参数标定和模型校验。针对这一问题,总结微观仿真的研究和应用经验,系统梳理了微观交通仿真分析的基本流程,并结合 VISSIM 仿真案例对微观交通仿真模型的建立、参数校准及仿真评价等进行具体说明。

Abstract: Due to lack of specifications and effective guidelines in application of microscopic traffic simulation models in China, the many applications of traffic simulation usually follow system default values and ignore parameters calibration and model validation for individual cases. To address this problem, this paper summarizes the procedure of microscopic traffic simulation through reviewing the research and application experience. Based on a VISSIM simulation case study, the paper elaborates the procedure of model development, parameters calibration, and assessment of simulation results.

关键词: 交通模型; 微观仿真; 仿真流程; 模型校验; VISSIM

Keywords: transportation model; micro-simulation; simulation procedure; model validation; VISSIM

中图分类号: U491.1*23 文献标识码: A

收稿日期: 2009-12-07

作者简介:杨嘉(1984—),女,山西曲沃人,硕士,工程师,主要研究方向:城市交通规划、交通仿真。E-mail:littleguy-1984@163.com

随着交通仿真技术的广泛应用,仿真模型的准确性、可靠性及仿真软件使用的规范化越来越受到交通专业领域的关注和重视。我国在交通仿真评价分析技术的应用方面还缺乏系统的规范指引,模型校准和验证在当前交通仿真分析中比较容易被忽视,这将直接影响仿真评价分析的结果^[1]。本文以微观交通仿真应用技术为研究重点,系统阐述微观交通仿真分析的流程框架,并结合 VISSIM 仿真案例进行具体说明。

1 微观交通仿真分析流程框架

系统的微观交通仿真分析主要包括三个流程:1)基础仿真模型的建立。首先明确研究对象、研究范围和研究目的。根据建模需要进行基础数据的收集和处理,利用仿真软件建立基础仿真模型,输入基础数据并对模型进行初步检查。2)模型校验。这是确保仿真有效性、可靠性的关键。根据实测数据,对仿真模型参数进行调整,使模型尽可能精确反映仿真对象的交通运行特征。3)模型应用,即案例评价分析。根据具体的规划设计方案,为模型输入不同的参数,通过仿真得到相应的评价指标,从而为规划方案的对比选择提供参考。微观交通仿真分析流程见图1^[2]。

2 基础仿真模型的建立

1) 数据的收集和处理。

微观交通仿真建模所需基础数据一般包括道路几

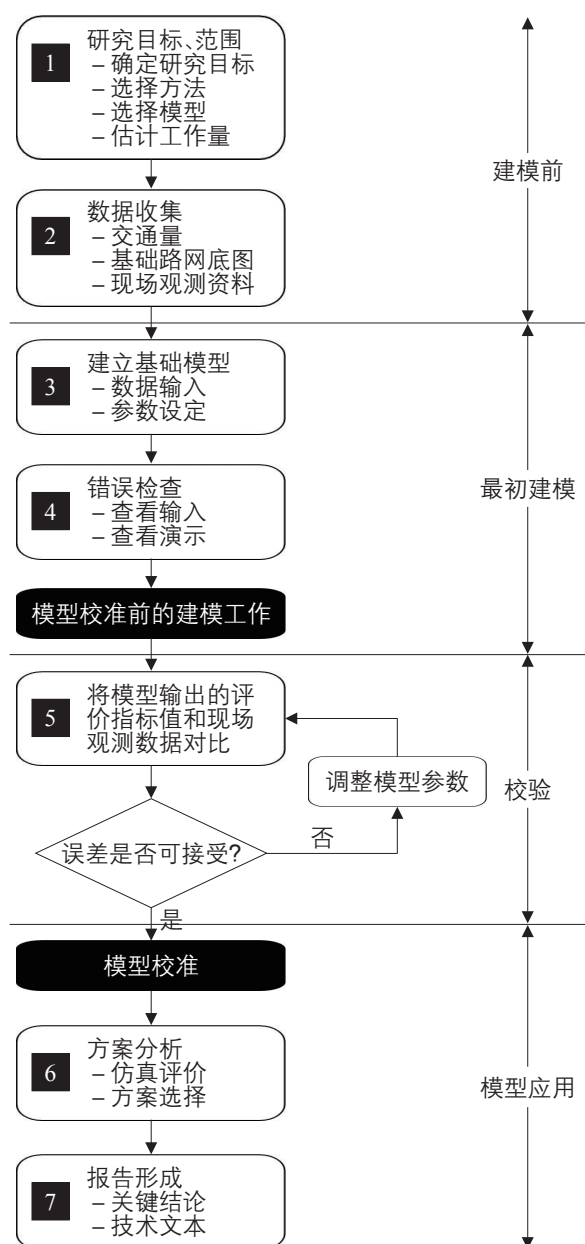


图1 微观交通仿真分析流程

Fig.1 Procedure of microscopic traffic simulation analysis

表1 微观交通仿真所需数据及要求

Tab.1 Input data required in microscopic traffic simulation models

数据	要求
几何数据	仿真区域路段及交叉口的详细设计图
交通量	高峰小时各路段及出入口的交通量
车辆速度	各车型期望速度曲线、路段平均车速
交通组成	机动车、公共汽(电)车和非机动车的组成
交通管制	各交叉口配时、交通管理情况,如禁行、限速等

何数据、交通量数据等,具体视研究对象而定。数据样本量应确保满足最小样本量的要求,以便对模型进行标定和有效性检验。数据处理方式通常包括计算均值和方差、确定数据的分布形式和相互关系、进行回归分析和单位转换等。表1列出了微观交通仿真所需的一般性基础数据。若进行行人仿真,还应对行人步行行为特征进行具体分析。

2) 仿真模型的建立。

微观交通仿真通过静态路网描述模型、交通生成模型、动态驾驶行为模型等,模拟车辆在不同道路和交通条件下的运行状况,并以动态形式显示出来。从仿真技术应用角度,仿真模型的建立因研究对象及所用仿真软件的不同而略有差异。一般来说,首先是路网的建立,然后是交通流特性的输入及交通规则、信号控制方案的设置,最后是仿真模型的校准、验证及测试。表2列出了微观交通仿真的常用模型及输入、输出数据。

3 模型校验

模型校验是根据实地交通运行状况,对仿真模型参数进行调整,使模型能够准确模拟仿真对象的交通运行特征及过程。

目前,国内使用的微观交通仿真软件以国外引进为主,如VISSIM、PARAMICS、CORSIM、SYNCHRO、AIMSUN等。各种仿真软件的模型参数缺省值大多以软件开发地的交通系统特性为基础设置,并不一定适合我国交通运行状况,需要对模型参数缺省值进行校准,以确保仿真模型的准确性和可靠性。

对于仿真模型的校准和验证,文献[3—6]在1996—2005年陆续进行了相关研究。根据已有研究和相关经验总结,给出微观交通仿真模型校验的一般流程,见图2。

1) 模型参数缺省值检验。

在使用模型参数缺省值的情况下,对比仿真输出结果与实际测量数据,若符合要求,则认为该仿真模型参数缺省值是合适的;若不符合要

求, 则需要对模型参数进行校准。

2) 模型校准初始化。

模型校准初始化包括4个步骤: ① 校准参数的确定; ② 参数经验取值设计; ③ 仿真实验设计; ④ 仿真次数的确定。

3) 可行性测试。

可行性测试是为了找到一组最优参数组合, 使得仿真输出结果与实际测量数据的差异最小, 否则需要调整校准参数的取值范围。

4) 参数校准。

建立参数校准目标函数, 选择优化算法。通过参数调整, 寻找最优解, 使仿真输出结果与实际测量值的差异最小。例如, 道路通行能力校准是使仿真模型检测的最大流率与实测通行能力的平均方差(MSE)最小, 其公式为

$$MSE = \frac{1}{R} \sum_r (M_{lpr} - F_l)^2,$$

$$\text{约束条件: } p_m^{\min} \leq p_m \leq p_m^{\max},$$

式中: MSE 为平均方差; R 为总仿真次数; M_{lpr} 为在地点 l 、时间为 t 、模型参数为 p 时, 第 r 次仿真输出的通行能力; F_l 为在地点 l 的实测通行能力; p_m 为编号为 m 的模型参数。

5) 模型验证。

使用校准后的参数值进行多次仿真, 并输出模型验证所需数据。选取另外一组在参数校准过程中未使用过的实测数据, 重复校准过程中使用的方法, 对比分析模型输出数据是否符合要求。若符合要求, 则模型校验过程结束; 若不符合要求, 仍需进一步校准模型。

4 应用示例

本文结合上海世博园区出入口客流集散 VISSIM 仿真案例, 对仿真模型的建立、校准、应用过程进行具体说明。

1) 仿真测试背景。

根据 2010 年上海世博会客流需求预测, 在 184 天的会期内, 将迎来 7 000 万人次的参观客流, 平均日客流量 40 万人次, 预计高峰日参观人数将达到 60~80 万人次。如此高强度的客流将对

园区交通设施带来很大压力。本文以上南路入口广场(世博园区主出入口)为仿真背景, 通过仿真入园客流, 评价高峰小时票检设施服务水平。

2) 仿真模型的建立。

使用 VISSIM 软件, 通过 link 和 connector 构建横向为 100 m、纵向为 150 m 的行人仿真实际通行空间。入园通道由预排队通道、安检通道和票检通道组成。安检和票检设施按照 3:1 的比例设置, 安检设施 120 个, 票检设施 40 个。在 VISSIM 仿真模型中, 票检、安检的过程通过 Stop Signs(停车线)和 Reduced Speed Areas(减速带)来实现, 分时段到达的人流通过流量输入和路径选择来实现。

3) 仿真参数校准。

影响仿真模型的关键参数包括步行行为参数、行人刷卡停留时间分布、行人在闸机通道的

表 2 微观交通仿真系统常用模型及输入、输出数据
Tab.2 Commonly used traffic micro-simulation models and input/output data

输入数据	常用模型	输出数据
交通设施设计参数	道路设施模型	行程时间
交通流特性	交通生成模型	车速、延误
交通组成	车辆跟驰模型	排队长度
交通规则	换道模型	停车次数
交通信号	事件反应模型	油耗、噪声等

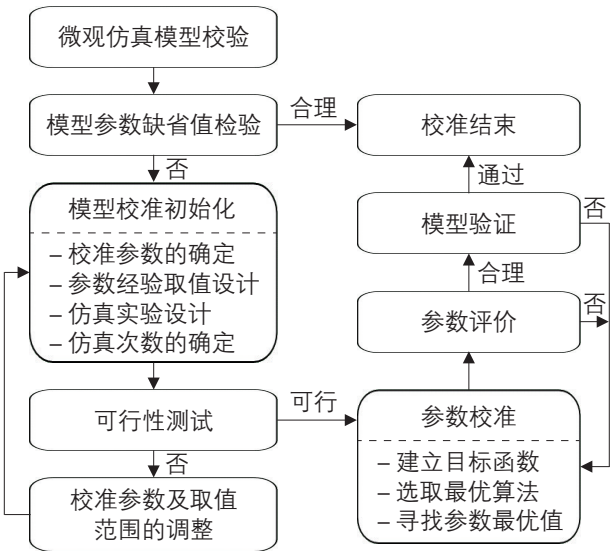


图 2 微观交通仿真模型校验流程
Fig.2 Procedure of model validation in microscopic traffic simulation

通过速度分布。本文通过分析上海市人民广场地铁站出、入口闸机视频,对模型参数进行校准。

① 步行行为参数校准。在 VISSIM 4.3 及之前版本中默认的行人行为模型是 Footpath(no interaction),不能很好地体现行人排队,因此改为 Wiedemann 99 模型。该模型需要校准 CC0 (Standstill Distance, 驻足间距)和 CC1(Headway Time, 行走时距)两个关键参数。根据视频数据分析,确定 CC0 的取值为 0.2~0.3, CC1 的取值为 0.1~0.2。

② 刷卡停留时间分布。通过调查乘客刷卡时

表 3 行人刷卡停留时间分布
Tab.3 Distribution of delays caused
by pedestrian swiping cards

分布状态	停留时间/s	比例/%	累计百分比/%
经验分布 (自定义)	0.1	34.0	34.0
	0.5	35.0	69.0
	1.0	21.0	90.0
	2.0	7.9	97.9
	3.0	1.4	99.3
	4.0	0.7	100.0

表 4 行人通过速度分布
Tab.4 Distribution of pedestrian speed

分布状态	速度/(km·h ⁻¹)	比例/%	累计百分比/%
经验分布 (自定义)	1.08	1.5	1.5
	1.44	3.3	4.8
	2.16	38.2	43.0
	4.32	54.7	97.7
	5.40	2.3	100.0

间,得出行人刷卡停留时间分布,见表 3。

③ 通过闸机速度分布。对乘客通过闸机所需时间进行调查,得出速度分布,见表 4。

④ 参数校准。

在确定仿真模型的关键参数之后,对可能的参数组合进行多次仿真测试,参数取值组合及仿真测试结果见表 5。根据观测和统计,闸机的实际通行能力为 1 500 人次·h⁻¹,当 CC0 取值为 0.25, CC1 取值为 0.15 时,仿真测试所得闸机通行能力与实际观测值的均方差为最小,因此该组数据即为校准后的仿真模型参数取值。

4) 仿真次数的确定。

仿真程序的运行依赖于随机数,采用不同随机种子的运行可以看作是对系统总体的不同观测。为确保仿真输出结果可靠,需采用不同的随机种子进行多次仿真,在置信水平取 95%、置信区间宽度取样本标准差 2 倍的情况下,确定本次仿真评价所需最小仿真次数为 8 次。

5) 仿真评价。

按照高峰时段 40 000 人次·h⁻¹的入园人数预测,对上南路票检通道进行仿真评价,得到不同的票检闸机数量对应的服务水平,见表 6。

在参观高峰时段,若上南路出入口入园人数达到 40 000 人次·h⁻¹,票检设施为 40 个,其服务水平仅为 D 级。由图 3 可知,票检设施数量与延误呈非线性关系,在高峰时段,当票检设施数量少于 50 个时,游客排队等待延误呈快速增长趋势。因此,若高峰时段服务水平规划预期为 B 级,则该出入口票检设施数量不应小于 50 个。

表 5 模型参数校准
Tab.5 Model parameters calibration

参数组合	驻足间距 CC0	行走时距 CC1	刷卡停留 时间分布	通过闸机 速度分布	模型通行能力 /(人次·h ⁻¹)	MSE (均方差)
1	0.20	0.10	经验分布 (视频观测结果)		1 559	3 448
2	0.25	0.15			1 503	66
3	0.30	0.20			1 377	15 314
4	0.25	0.20			1 467	1 155
5	0.30	0.10			1 448	2 739
6	0.20	0.15			1 398	10 531
7	0.30	0.15			1 403	9 502
8	0.20	0.20			1 427	5 482
9	0.25	0.10			1 337	26 705

5 结语

微观交通仿真作为交通规划设计领域的有效实验手段和辅助工具, 其目的不在于车流、人流的简单模拟与再现, 而是在虚拟的环境中构建近似真实的交通场景, 对未实施或即将实施的交通规划设计方案进行定性或定量分析, 并为方案优化提供决策支持。虽然现有的仿真模型或多或少都存在一些不足和有待改进的地方, 但研究人员可以通过模型修正、参数校准及多次仿真试验来提高仿真精度。

参考文献:

References:

[1] 孙剑, 杨晓光, 刘好德. 微观交通仿真系统参数校正研究[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(1): 48 - 50.
SUN Jian, YANG Xiao-guang, LIU Hao-de. Study on Microscopic Traffic Simulation Model Systematic Parameter Calibration[J]. Journal of System Simulation, 2007, 19(1): 48 - 50.

[2] The Federal Highway Administration. Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software [EB/OL]. 2007 [2009 - 12 - 07]. http://ops.fhwa.dot.gov/trafficanalysisistools/tat_vol3/index.htm.

[3] Park Byungkyu, QI Hong-tu. Development and Evaluation of a Procedure for the Calibration of

Simulation Models[J]. Journal of the Transportation Research Board, 2005(1934): 208 - 217.

[4] Rakha H, Hellinga B, Van Aerde M, Perez W. Systematic Verification, Validation and Calibration of Traffic Simulation Models[EB/OL]. 1996 [2009 - 12 - 07]. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.120.1387&rep=rep1&type=pdf>.

[5] John Hourdakias, Panos G Michalopoulos, Jiji Kottommannil. A Practical Procedure For Calibrating Microscopic Traffic simulation Models [EB/OL]. 2003[2009 - 12 - 07]. <http://www.aimsun.com/trb2003-002167.pdf>.

[6] Lianyu Chu, Henry X Liu. A Calibration Procedure for Microscopic Traffic Simulation[EB/OL]. 2004 [2009 - 12 - 07]. <http://www.its.uci.edu/~lchu/documents/TRB2004-calibration.pdf>.

表 6 固定人流量下不同数量票检设施的仿真评价
Tab.6 Simulation assessment on fare collection facilities under a fixed passenger volume

闸机数量 /个	延误 /(s·人 ⁻¹)	服务水平 ^①
30	687.5	F
40	425.9	D
50	119.4	B
60	23.4	A
70	13.9	A

① 参考美国 HCM 行人设施服务水平评价标准。

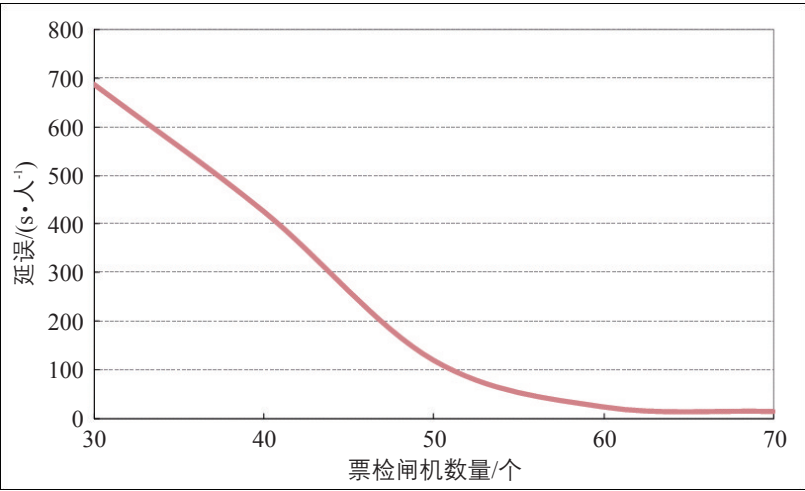


图 3 票检设施数量与延误变化曲线图

Fig.3 Relationship between the number of fare collection devices and pedestrian delay