

# 微观交通仿真模型的验证方法

邢 丽, 王晓原, 吴 芳

XING Li, WANG Xiao-yuan, WU Fang

山东理工大学 交通与车辆工程学院 智能交通研究所, 山东 淄博 255049

Institute of Intelligent Transportation, School of Transportation and Vehicle Engineering, Shandong University of Technology, Zibo, Shandong 255049, China

E-mail: wangxiaoyuan@sdut.edu.cn

XING Li, WANG Xiao-yuan, WU Fang. Validation methods of microscopic traffic simulation models. *Computer Engineering and Applications*, 2010, 46(9): 204-207.

**Abstract:** The microscopic traffic flow simulation models are important content in the study of intelligent transportation systems. The validation is not attracted attention enough in the study or application of microscopic traffic simulation models. The exactitude degree can not be achieved, because the models are short of validation. As a result, simulation results often can not match to the field ones when the models are used. In this paper, the straight comparison method and nonparametric statistical methods are used to validate the car-following model based on AHP in microcosmic level. The validation models are feasible through the test.

**Key words:** micro-simulation; driving behavior; car-following model; wald-wolfowitz runs method; run-length method

**摘 要:** 交通流微观仿真模型是目前广泛开展的智能运输系统项目开发、研究的重要内容。人们在研究、应用交通流微观仿真模型时,对模型验证过程重视不够。模型验证不足,使得模型本身不能达到其应有的精确程度,应用时常发生模拟结果与实际路况不能完全吻合的现象。结合一种基于投影寻踪回归的车辆跟驰模型,着重从微观角度,运用直观对比法和非参数统计方法对模型进行验证。验证结果表明,直观对比法和非参数统计方法用于模型验证是可行的。

**关键词:** 微观仿真; 驾驶员行为; 车辆跟驰模型; 游程总数检验法; 游程长度检验法

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2010.09.058 文章编号: 1002-8331(2010)09-0204-04 文献标识码: A 中图分类号: U491

## 1 引言

驾驶员行为是影响交通安全和通行能力的一种重要因素<sup>[1-2]</sup>。以计算机技术为基础的微观交通流仿真模型,可以再现各种道路、交通条件下交通流的实际动态行为,反映道路网络中单个车辆运行的随机特性和不同驾驶员组在车辆跟驰、车道变换等方面的个人偏好,逐渐成为交通运输领域,特别是目前广泛开展的智能运输系统(Intelligent Transportation Systems, ITS)项目开发、研究的重要手段<sup>[3]</sup>。但是,人们在研究、应用交通流微观仿真模型时,往往注重模型的构建和参数标定等过程,对模型验证过程重视不够,仅对一些宏观指标进行验证或用最简单的直观对比图验证。

模型验证是保证仿真可信度的关键<sup>[4]</sup>,模型验证不足,使得模型本身不能达到其应有的精确程度,以至于在后面使用时,常发生模拟结果与实际路况不能完全吻合的现象<sup>[5]</sup>。微观交通流仿真模型的验证分为两类<sup>[6]</sup>,微观水平和宏观水平。微观水平验证是单个车辆的位置、时刻、车头时距、速度等属性的模拟值与实测值比较;宏观水平验证是车队的平均速度、密度、流量等集合参数的模拟值与实测值比较。微观交通流仿真模型验证的

分类情况如图1所示。

结合一种基于投影寻踪回归的车辆跟驰模型的构建,着重从微观角度,运用直观对比法和非参数统计方法对模型加速度进行验证。

从本质上讲,验证就是把仿真系统与实际系统相比较,模型结果验证就是给模型赋予一定的环境,把模型的参数设置成与实际交通系统一样,然后让模型运行起来,得到仿真结果,最后把仿真结果和实地观测结果相比较,看两者之间的一致程度是否能够满足要求<sup>[4]</sup>。文中重点引入实用性非参数统计中两样本的比较方法,并使用与模型标定过程所用数据相异的另一部分数据验证了模型的有效性,结果表明,提出的模型能够较好地描述交通状况,为网络交通流一体化协同仿真和智能运输系统的研究提供了理论基础。

## 2 跟驰模型

### 2.1 投影寻踪回归模型简介

Friedman 和 Stuetzle 基于投影寻踪的思想给出了投影寻踪回归方法<sup>[7]</sup>。其思想是:找到若干个投影方向,将高维数据投影

基金项目:山东省自然科学基金(the Natural Science Foundation of Shandong Province of China under Grant No.Y2006G32);山东理工大学科研基金重点资助项目(No.2004KJZ02)。

作者简介:邢丽(1982-),女,硕士研究生,现主要从事交通运输系统仿真、建模及优化等方面的研究;王晓原(1970-),男,博士,教授。

收稿日期:2008-09-22 修回日期:2008-12-01



### 3 模型验证

#### 3.1 误差分析与直观对比图

将表 1 中的全部 40 个样本数据输入 PPR 计算程序进行验证,若相对误差绝对值 $|y| \leq 15\%$ 为合格,则此种情况下,样本的预测正确率为 92.5%。车辆跟驰的 PPR 模型的预测效果见表 2。图 2 为实测目标车加速度与预测目标车加速度对比图。

表 2 模型预测结果表

| 时间/s | 项目                            |                                 |                           |             |
|------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------|-------------|
|      | 实测目标车加速度/(m·s <sup>-2</sup> ) | PPR 目标车加速度/(m·s <sup>-2</sup> ) | 绝对误差/(m·s <sup>-2</sup> ) | 相对误差绝对值/(%) |
| 0    | 0                             | 0                               | 0                         | 0           |
| 1    | 0                             | 0                               | 0                         | 0           |
| 2    | 0.90                          | 0.85                            | -0.05                     | 5.5         |
| 3    | 2.08                          | 2.12                            | 0.04                      | 1.9         |
| 4    | 1.10                          | 1.22                            | 0.12                      | 10.9        |
| 5    | 1.58                          | 1.53                            | -0.05                     | 3.2         |
| 6    | 1.80                          | 1.89                            | 0.09                      | 5.0         |
| 7    | 1.77                          | 1.83                            | 0.06                      | 3.4         |
| 8    | 1.29                          | 1.20                            | -0.09                     | 7.0         |
| 9    | 0.62                          | 0.59                            | -0.03                     | 4.8         |
| 10   | 0.35                          | 0.33                            | -0.02                     | 5.7         |
| 11   | 0.53                          | 0.52                            | -0.01                     | 1.9         |
| 12   | 0.33                          | 0.36                            | 0.03                      | 9.1         |
| 13   | 0.16                          | 0.18                            | 0.02                      | 12.5        |
| 14   | -0.07                         | -0.06                           | 0.01                      | 14.3        |
| 15   | 0                             | 0                               | 0                         | 0           |
| 16   | 0                             | 0                               | 0                         | 0           |
| 17   | -0.67                         | -0.64                           | 0.03                      | 4.5         |
| 18   | 0                             | 0                               | 0                         | 0           |
| 19   | 0.06                          | 0.07                            | 0.01                      | 16.7        |
| 20   | 0.17                          | 0.16                            | -0.01                     | 5.9         |
| 21   | -0.09                         | -0.10                           | -0.01                     | 11.1        |
| 22   | 0                             | 0                               | 0                         | 0           |
| 23   | 0.19                          | 0.17                            | -0.02                     | 10.5        |
| 24   | 0.26                          | 0.27                            | 0.01                      | 3.8         |
| 25   | 0.05                          | 0.06                            | 0.01                      | 20.0        |
| 26   | 0                             | 0                               | 0                         | 0           |
| 27   | -0.10                         | -0.09                           | 0.01                      | 10          |
| 28   | -0.14                         | -0.16                           | -0.02                     | 14.3        |
| 29   | 0                             | 0                               | 0                         | 0           |
| 30   | 0.19                          | 0.21                            | 0.02                      | 10.5        |
| 31   | -0.58                         | -0.56                           | 0.02                      | 3.8         |
| 32   | -0.09                         | -0.08                           | 0.01                      | 11.1        |
| 33   | 0                             | 0                               | 0                         | 0           |
| 34   | 0.19                          | 0.18                            | -0.01                     | 5.3         |
| 35   | 0.26                          | 0.28                            | 0.02                      | 7.7         |
| 36   | 0.05                          | 0.04                            | -0.01                     | 20.0        |
| 37   | 0                             | 0                               | 0                         | 0           |
| 38   | -0.10                         | -0.09                           | 0.01                      | 10          |
| 39   | -0.14                         | -0.13                           | 0.01                      | 7.1         |
| ...  | ...                           | ...                             | ...                       | ...         |

应用 PPR 技术建立该车辆跟驰预测模型的预测精度较高,造成误差的主要原因在于车辆跟驰除了受上述紧邻车辆因素的影响外,还会受到非紧邻车辆、路况信息、信号灯信息、可变信息板信息、自行车、行人等因素的影响。第 19、25、36 项检验样本的实测值与预测值相差较大可能就是这些因素不稳定的造成的。

由于车辆跟驰过程影响因素极其繁杂,所以直观对比的方

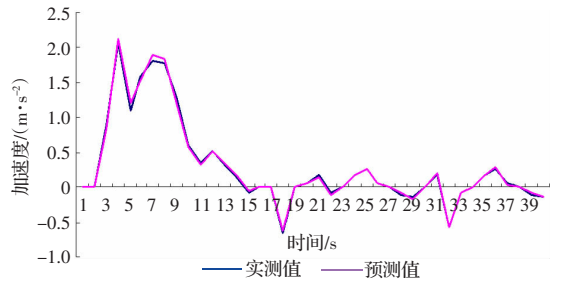


图 2 目标车实测加速度与预测加速度对比图

法用于微观验证的最直接、最简单、但同时也是最有效的首选方法。从图 2 中可以看出,无论是走向还是波动趋势,模拟结果和实际情况都表现出良好的相合性。

除了直观对比图外,还可通过分析数据,从理论上对模型予以确认。分析两样本有无明显差异,模拟值与真实值有无良好的相合性,可归结为非参数统计模型中的两样本是否一致的问题。选择非参数统计法中的游程总数(Wald-Wolfowitz runs)检验法和游程长度(Run-length)检验法对模型的实际数据和相应的模拟结果进行验证。

#### 3.2 游程总数检验法<sup>[12]</sup>

设  $X_1, X_2, \dots, X_m; Y_1, Y_2, \dots, Y_n$  为分别取自分布函数  $F(x), G(x)$  的简单样本,欲检验

$$H_0: F(x)=G(x), H_1: F(x) \neq G(x)$$

把两个样本混合,并按从小到大的顺序排成一行,凡出现  $X_i$  者,均记为  $x$ ,出现  $Y_j$  者,均记为  $y$ ,于是得到一个由  $x, y$  组成的序列,将在该序列中连续出现同一字母的一段称为一个“游程”,一个游程中字母的个数称为该游程的长度。例如当  $m=12, n=8$  时,其相应的一个序列为:

$$xxyyyxyxyxxxxxyxyxxxxyx$$

其中含有 6 个  $x$  的游程,5 个  $y$  的游程,则在上例中  $U=6+5=11$ ,可见,对容量为  $m+n$  的样本  $X_1, X_2, \dots, X_m; Y_1, Y_2, \dots, Y_n, U$  的最小值为 2,最大值为  $2\min(m, n)+1$ 。

若  $F(x)$  与  $G(x)$  完全隔开,即  $X$  与  $Y$  的值域完全不重叠,则  $U$  达到最小值 2;如果  $F(x)$  与  $G(x)$  的均值不相等,则  $X$  的值偏大或偏小, $X$  的“游程”会出现在序列的左端或右端,这必导致序列的游程总数  $U$  偏少;如果  $F(x)$  与  $G(x)$  的均值相等,但  $G(x)$  的方差大时,则样本中的  $y$  值倾向于分散在序列的两头,如

$$yyyyxxxxxxxxxxxxxxxxxyyy(U=1+2=3)$$

则  $U$  亦有取小值的趋势;如果  $H_0$  成立,即  $F(x)$  与  $G(x)$  一致时,在合样本序列中, $x, y$  会均匀混合,如

$$xxxxyxyxyxyxyxyxyxyxx(U=9+8=17)$$

$U$  有取大值的趋势。由此可知  $U$  值的大小反映了  $F, G$  差异的程度。

当  $m, n$  不太大时,对任给的  $\alpha$ ,可确定临界值  $U_\alpha, U_\alpha$  满足下式:

$$P\{U \leq U_\alpha^{(1)}\} = \sum_{i=2}^{U_\alpha^{(1)}} P(U=i) \leq \alpha$$

即当  $U \leq U_\alpha^{(1)}$  时,否定  $H_0$ 。当  $m, n$  不太大时(不超过 20),  $U_\alpha^{(1)}$  的值可由“游程总数检验表”查得,表中  $n_1 = \min\{m, n\}, n_2 = \max\{m, n\}$ ;当  $m=n$  时,表中列出了不超过 100 时的值;当  $m \neq n$ ,且较大时,可用正态近似求得,详见文献[10]。

表3 加速度真实值与模拟值数据表

|         |      |       |      |      |      |       |       |      |       |       |      |      |       |       |       |
|---------|------|-------|------|------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|
| 真实值 $X$ | 0.9  | 2.08  | 1.1  | 1.58 | 1.8  | 1.77  | 1.29  | 0.62 | 0.35  | 0.53  | 0.33 | 0.16 | -0.07 | -0.67 | 0.06  |
|         | 0.17 | -0.09 | 0.19 | 0.26 | 0.05 | -0.1  | -0.14 | 0.19 | -0.58 | -0.09 | 0.19 | 0.26 | 0.05  | -0.1  | -0.14 |
| 模拟值 $Y$ | 0.85 | 2.12  | 1.22 | 1.53 | 1.89 | 1.83  | 1.2   | 0.59 | 0.33  | 0.52  | 0.36 | 0.18 | -0.06 | -0.64 | 0.07  |
|         | 0.16 | -0.1  | 0.17 | 0.27 | 0.06 | -0.09 | -0.16 | 0.21 | -0.56 | -0.08 | 0.18 | 0.28 | 0.04  | -0.09 | -0.13 |

游程总数检验法的具体步骤为:

- (1) 提出假设:  $H_0: F(x)=G(x), H_1: F(x) \neq G(x)$ ;
- (2) 显著性水平  $\alpha=?$  样本容量  $m, n=?$   $n_1=?$   $n_2=?$ ;
- (3)  $H_0$  的拒绝域:  $U < U_{\alpha}^{(1)}$  查表?;
- (4) 将  $X, Y$  的数据按从小到大次序排成  $x, y$  序列, 可得出游程总数  $U$ , 若此  $U \leq U_{\alpha}^{(1)}$ , 则拒绝  $H_0$ , 否则接受  $H_0$ 。

下面用 Wald-Wolfowitz runs 检验法对模型进行验证。设加速度的真实值、模拟值分别为  $X, Y$ , 所需数据如表3所示, 其分布函数为  $F(x), G(x)$ , 若真实值与模拟值无显著差异, 则  $F(x), G(x)$  应一致。由于真实值与模拟值相同的数据可确定是一致的, 故表3中已将相同的0值去掉, 以便于方法的运用。

- (1) 提出假设:  $H_0: F(x)=G(x), H_1: F(x) \neq G(x)$ ;
- (2) 根据题意, 得  $\alpha=0.05, m=30, n=30, n_1=30, n_2=30$ ;
- (3)  $H_0$  的拒绝域:  $U < U_{\alpha}^{(1)} = 24$  (查游程总数检验表);
- (4) 将  $X, Y$  的数据从小到大混合排列, 得  $x, y$  的合样本序列:

$x y x y y x x y x x y x x y y y x y y x$   
 $x x y y x y x y y y x x x y x x y y x y$   
 $x y y x y x y x x y y x y x x x y y x y$

故根据合样本序列得游程总数  $U=19+39=38 > U_{\alpha}^{(1)} = 24$ , 所以接受  $H_0$ , 认为两样本无显著差异。

### 3.3 游程长度检验法

游程长度检验法<sup>[2]</sup>的思想是: 当  $H_0: F(x)=G(x)$  成立时, 游程总数  $U$  不应太小, 这等价于每个“游程”都不应太长, 所以, 用最大“游程”的长  $L$  作判据也是一样的。但需指出, 游程的长度与  $m, n$  的相对大小有关, 若  $m, n$  相差太多, 最大游程必定很长, 所以用游程长度作检验时, 应要求样本容量  $m=n$ 。类似于游程总数检验法, 游程长度检验法的具体步骤为:

- (1) 提出假设:  $H_0: F(x)=G(x), H_1: F(x) \neq G(x)$ ;
- (2) 显著性水平  $\alpha=?$  样本容量  $m=n=?$ ;
- (3)  $H_0$  的拒绝域:  $L > L_{\alpha}$ , 其中,  $L$  为最大游程长,  $L_{\alpha}$  满足  $P\{L > L_{\alpha}\} = \alpha$ , 其值可查游程长度检验表得到;
- (4) 将  $X, Y$  的数据按从小到大排成  $x, y$  的合样本序列, 找出最大  $L$ , 若  $L > L_{\alpha}$ , 则拒绝  $H_0$ ; 否则接受  $H_0$ 。

下面用 Run-length 检验法对模型进行验证。设加速度的真实值、模拟值分别为  $X, Y$ , 所需数据如表3所示, 其分布函数为  $F(x), G(x)$ , 若模拟值与真实值无显著差异, 即  $F(x), G(x)$  应一致。

根据题意, 检验步骤如下:

- (1) 提出假设:  $H_0: F(x)=G(x), H_1: F(x) \neq G(x)$ ;
- (2) 据题意, 得  $\alpha=0.05, m=n=30, n_1=30, n_2=30$ ;
- (3)  $H_0$  的拒绝域:  $L > L_{\alpha} = L_{0.05}(30)$ ;
- (4) 将  $X, Y$  的数据按从小到大排成  $x, y$  的合样本序列:

$x y x y y x x y x x y x x y y y x y y x$   
 $x x y y x y x y y y x x x y x x y y x y$   
 $x y y x y x y x x y y x y x x x y y x y$

可见  $L=3 < L_{0.05}(20)=8$  (查表得)  $< L_{0.05}(30)$ , 故接受  $H_0$ , 认为真实

值和模拟值无显著差异。

从上述两种检验结果看, 实测数据同模型的模拟结果吻合程度较好, 说明采用的跟驰模型可以描述我国道路车辆运行的实际状况。受交通调查人员、设备精度及其他客观条件的限制, 输入模拟模型的原始数据和用来验证模型的数据, 本身存在一定误差; 模拟时所采用的模型是对实际系统的一种抽象, 不能完全代表实际系统, 必然导致模拟结果与实测数据之间存在一定误差, 因此, 模型验证过程中存在误差是难免的。

## 4 结论

交通流模拟作为一种分析工具, 是再现交通流运行规律, 对交通系统进行控制和优化的重要实验手段和工具, 也是交通运输领域广泛开展的智能运输系统(ITS)及其先进的交通管理系统(ATMS)和先进的出行者信息系统(ATIS)开发和实验研究的重要工具<sup>[3]</sup>。以往人们在研究、应用交通流微观仿真模型时, 对模型验证重视不足, 使得模型本身不能达到其应有的精确程度, 应用时常发生模拟结果与实际路况不能完全吻合的现象。

该文结合一种基于投影寻踪回归的车辆跟驰模型的构建, 着重从微观角度, 运用直观对比法和非参数统计方法对模型进行验证。由于车辆跟驰过程影响因素极其复杂, 直观对比的方法是用于微观验证的最直接、最简单、但同时也是最有效的首选方法。非参数方法有相当好的稳健性, 计算简单、处理问题广泛, 并且在多数分布未知的情况下也很有效, 它的优势归结为以下几点<sup>[4]</sup>:

(1) 非参数统计方法无需假定总体是在何种类型分布条件下, 即可仅通过样本所获得的信息对关心的问题做出判断, 适用面较宽。

(2) 非参数统计方法只采用了样本中的“一般”信息, 而扔掉了其“特殊”信息, 即主要是根据实际数据中蕴含的“一般”信息来构成估计量或检验统计量用于估计与假设检验。包括那些难以测量, 只能以严重程度优劣等级、次序先后等表示的资料, 或有的数据一端或两端是不确定数值的资料。

(3) 非参数统计具有良好的稳健性。非参数统计方法对总体模型的限制少, 一般并不假定其具有何种形状, 仅依据样本中的“一般”信息对总体的形状、特征进行估计, 可见当总体模型稍有变动时, 对这种估计也并无太大影响。

(4) 易于理解和掌握, 计算简单。

文中仅选择了两种非参数检验方法对跟驰模型进行验证, 以后还可对其他检验方法进行研究, 将其应用于模型验证, 丰富微观交通仿真的验证过程。

## 参考文献:

- [1] 王晓原. 基于心理物理综合认知结构的微观交通仿真模型[J]. 计算机仿真, 2005, 11(11): 233-236.
- [2] 王晓原, 王雷, 杨新月. 驾驶员多源信息融合协同仿真算法研究[J]. 计算机工程与应用, 2006, 42(24): 195-198.