

文章编号:1005-0523(2011)06-0068-05

基于驾驶行为的车道变换模型研究及仿真

徐锦强¹,陈竹师²,丁 艺¹

(1. 福建农林大学交通学院,福建 福州 350002; 2. 泉州市市政工程开发总公司,福建 泉州 362001)

摘要:可靠合理的车道变换模型能提高微观交通仿真精度。为了研究车道变换行为意图起因及行为过程的规律,利用高空摄像法分析了城市干道基本路段驾驶人变道驾驶行为的特征,获取了变道车辆与其周围车辆距离、车速等的数值关系,提出期望车道的概念,总结了期望车道选择和车辆车道变换的基本规律,建立了基于驾驶行为的直线路段车道变换模型。最后编写VB程序进行计算机仿真,证明了模型具有较高的可靠性。

关键词:驾驶行为;车道变换模型;期望车道;仿真

中图分类号:U491.2

文献标识码:A

车道变换模型^[1]是微观交通仿真的一个重要组成部分,国外一些先进的仿真软件如VISSIM、PARAMICS、FLOWSIM等^[2-3],虽然有较完整的车道变换模型,但对于国内城市交通构成和特点,其适用性受到一定限制。国内研究开展较晚,缺乏成熟的交通模型^[4]。以福州市主干道交通为例,采用高空摄像法^[5]采集路段上不同车型的车道变换数据,研究驾驶人驾驶行为特征,分析驾驶行为与车辆变道之间的影响因素,得出车辆车道变换和车道选择的基本规律,建立直线路段的车道变换模型,并以VB程序进行计算机仿真。对建立符合我国国情的车道变换模型具有借鉴意义。

1 车道变换行为决策的关键参数

驾驶员变换车道行为主要受路段上不同的车流特征、相邻车辆行驶状态等因素影响^[6]。行车过程中,驾驶员往往根据本车速度、与前车的车速差、与前车距离、相邻车道车辆车速车距等信息来决策是否可以进行车道变换操作。这些信息是驾驶员判断能否进行车道变换操作的关键参数,如图1所示。

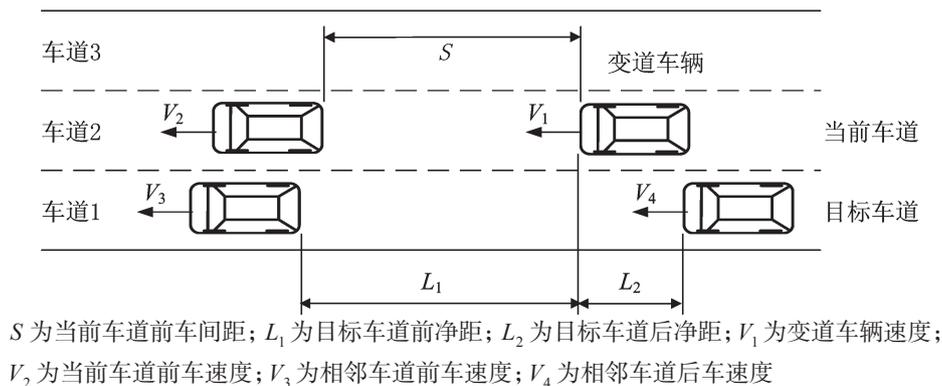


图1 车道变换行为决策的关键参数

Fig.1 Key parameters of lane changing decision

2 数据调查与统计分析

收稿日期:2011-05-05

基金项目:福建省教育厅科学基金资助项目(JA09064);福建农林大学青年教师科研基金项目(04B39)

作者简介:徐锦强(1976—),男,硕士,讲师,研究方向为交通运输规划与管理。

2.1 调查实测数据及误差修正

为了获取车道变换行为决策的关键参数,采用高空摄像法进行数据采集,调查地点为福州市杨桥中路,选择了一段远离交叉口、平直且无横向干扰的双向6车道路段,从路边高层建筑往下拍摄。由于在路边高层建筑上拍摄与直接在道路正上方进行拍摄存在一定的视角,因此拍摄到的录像存在一定的透视误差。摄像机安放的高度越高,视角越小,透视误差越小。为了消除透视误差,采用Google Earth™高空摄像为假设的标准俯视图,利用透射变换^[7-8]将拍摄到的画面转换为实地画面。以画面中心为坐标原点建立直角坐标系,对于画面上的某一点 $A(x, y)$, 变换到实地坐标为 $A'(x', y')$, 则有

$$\left. \begin{aligned} x' &= \frac{x}{t_d} \\ y' &= \frac{yt_{22}}{t_d} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中: $t_d = yt_{23} + t_{33}$, 其中 t_{22}, t_{23}, t_{33} 为转换公式中的修正参数。

对于不同的路段样本,拍摄场景不同,每次都需要进行参数的重新修正。选取调查路段起终点作为样点,实地精确测量两样点间距离,以长度计算为基准,手工调整,直至其误差在1%以内^[9]。消除透视误差后,标定视频的长度标尺,逐帧分析视频^[10],排除存在干扰的样本后,得到有效的车辆变道样本410个。整理得到的数据见表1。

表1 车辆变换关键参数实测数据(列举部分)

Tab.1 Measuring data of key parameters of lane changing (partial listing)

样本序号	样本车型	本车车速 V_1 / km·h ⁻¹	前车车速 V_2 / km·h ⁻¹	速度差 V_Δ /km·h ⁻¹	前车间距 S/m	目标车道前 净距 L_1 /m	目标车道 后净距 L_2 /m	当前 车道	目标 车道
1	小客车	33.43	28	5.43	5.5	4.5	13	1	2
2	公交车	35.60	30.4	5.20	8.5	19.0	14.5	2	1
3	出租车	25.71	28	-2.28	5.5	11.5	5.5	1	2
4	小客车	27	25.71	1.28	7.5	8	6	2	1
.....

*注:前后车速度差 $V_\Delta = V_1 - V_2$ 。

2.2 期望车道分布

通过分析调查视频数据,发现不同车型都有其特定的期望车道,即车辆在自由流状态下行驶时所优先选择的行驶车道。分析自由流状态下车辆行驶特征,得到不同车型期望车道分布情况见表2。

表2 不同车型的期望车道分布

Tab.2 Lane distribution of diferent types of vehicle

车型	期望车道分布比例/%		
	车道1(左侧车道)	车道2(中间车道)	车道3(右侧车道)
小客车	51.7	48.3	0.0
出租车	14.6	85.4	0.0
公交车	0.0	100.0	0.0

由表2可知,在自由行驶状态下,小客车优选左侧车道和中间车道的比重相当,出租车大部分优选中间车道,公交车全部优选中间车道。由于路侧行人及非机动车的干扰等因素,3种车型在自由流行驶状态下均不在右侧车道上行驶。

2.3 不同车型车道变换行为数值关系

利用累积频率分布曲线确定各关键参数15%位指标数值及85%位指标数值,作为模型中关键参数的下限值和上限值。不同车型变道时关键参数的数值关系如表3所示。

表3 不同车型变道时关键参数的数值关系

Tab.3 Numerical relations of key parameters of lane changing for different vehicles

样本 车型	关键参数	前后车速度差		目标车道前		目标车道后	
		$V_{\Delta}/\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	前车间距 S/m	净距 L_1/m	净距 L_2/m		
小客 车	样本数值范围	-2.57~12.86	4.5~22.5	2.0~19.5	2.0~18.0		
	下限值(15%位指标)	$v_1 = -2.03$	$s_1 = 5.89$	$l_1 = 2.10$	$l_2 = 3.63$		
	上限值(85%位指标)	$v_2 = 5.41$	$s_2 = 15.68$	$l_{1\max} = 14.35$	14.35		
出租 车	样本数值范围	-7.71~12.85	3.1~17.2	1.5~19.5	1.5~20		
	下限值(15%位指标)	$v_1 = -4.69$	$s_1 = 5.28$	$l_1 = 1.56$	$l_2 = 1.6$		
	上限值(85%位指标)	$v_2 = 6.81$	$s_2 = 12.49$	$l_{1\max} = 11.2$	12.6		
公交 车	样本数值范围	-4.52~11.60	4.2~19.5	6.5~20.3	8.9~22.4		
	下限值(15%位指标)	$v_1 = -3.35$	$s_1 = 6.28$	$l_1 = 8.50$	$l_2 = 9.4$		
	上限值(85%位指标)	$v_2 = 7.13$	$s_2 = 12.49$	$l_{1\max} = 15.2$	16.3		

3 基于驾驶行为的车道变换模型

车辆变换车道的过程包括变道意图的产生、变道可行性条件的分析及变道行为的实施3个阶段^[11]。建立的车道变换模型是一组模仿驾驶员驾驶行为的连续循环条件判断,即当上一条件满足,才进入下一条件继续进行判断,当所有条件均满足时,就产生一次车道变换行为。模型考虑自由流和约束流^[12]两种车流状态下,车道变换需求产生的条件、目标车道前后净距条件及驾驶员主观因素影响等。

3.1 车流状态判断

处于不同车流状态下的车辆,其车道变换行为不同。模型考虑自由流和约束流两种状态。当 $S > s_2$ 且 $L_1 > l_{1\max}$ 时,车辆处于自由流状态;当 $S < s_2$ 或 $L_1 < l_{1\max}$ 时,车辆处于约束流状态。

3.2 自由流车道变换模型

处于自由流状态的车辆,由于没有周围车辆的制约,车辆行驶自由度大,驾驶员一般都行驶在自己喜欢的车道,车道变换需求不大。本模型中,当车辆处于期望车道,不变换车道,保持车速行驶;未处于期望车道,车道变换至邻近期望车道。

3.3 约束流车道变换模型

处于约束流状态下的车辆,交通密度较大,驾驶员驾驶车辆受到一定制约,因此车道变换模型考虑的因素也较多,主要有:

1) 车道变换需求产生条件:若 $v_1 \leq V_{\Delta} \leq v_2$ 且 $s_1 \leq S \leq s_2$, 则产生车道变换需求;否则车道变换需求难以形成。

2) 目标车道前净距条件:

$$\begin{cases} L_1 > S & \text{当 } V_{\Delta} \geq 0 \text{ 时} \\ L_1 > l_1 > S & \text{当 } V_{\Delta} < 0 \text{ 时} \end{cases} \quad (2)$$

当公式(2)满足时,表明目标车道前净距满足车道变换的要求。

3) 目标车道后净距条件:若 $L_2 > l_2$, 表明目标车道后净距满足车道变换要求。若 $L_2 \leq l_2$ 则无法继续变换车道。

4) 驾驶员主观因素修正:在实际调查发现,当变道条件满足后,出租车全部变换车道,而个别小客车却放弃车道变换,在本模型中用驾驶员主观因素修正系数进行修正,小客车为0.95,出租车为1。

3.4 跟车状态模型

变换车道前及变换车道结束后的车辆均为跟车状态。通过前后车速度差 V_{Δ} 来控制跟车状态。

当 $V_{\Delta} < 0$ 时,加速跟车行驶,将车速缓慢提高至与前车一致;当 $V_{\Delta} = 0$ 时,保持原车速行驶;当 $V_{\Delta} > 0$ 时,减速跟车行驶,将车速缓慢减少至与前车一致。

综上所述,基于驾驶行为的车道变换模型逻辑结构图2。

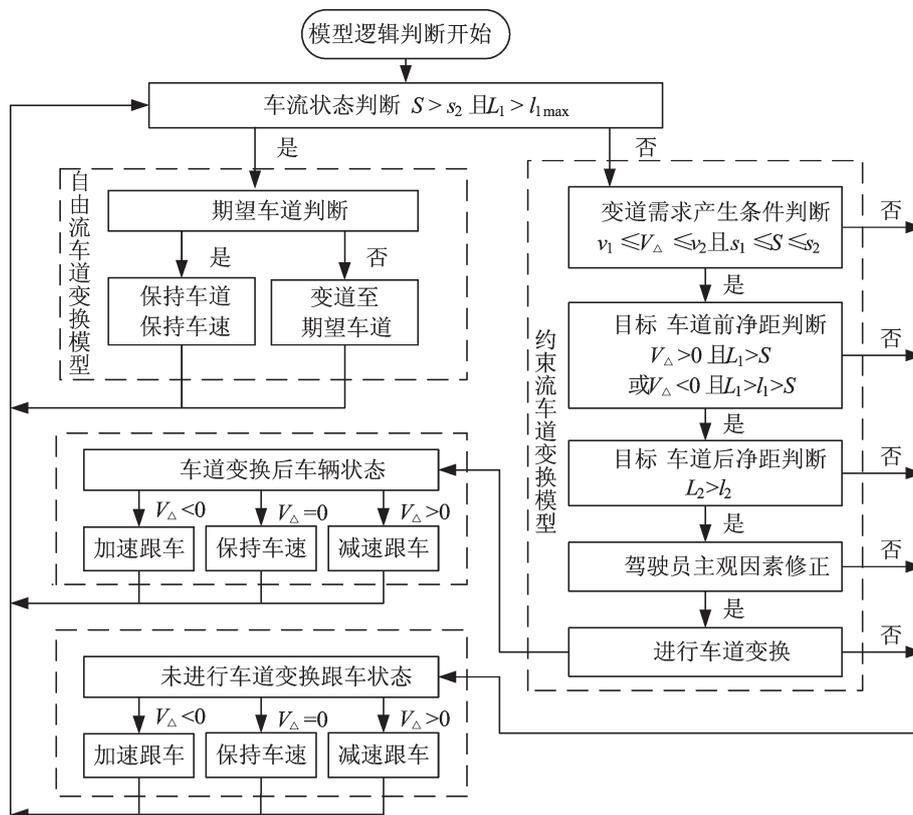


图2 模型逻辑结构图

Fig.2 Logic structure diagram of model

4 模型仿真与验证

为了验证模型的合理性,运用VB程序对所建立模型的条件判断过程进行仿真。同时用高空摄像法调查另一路段数据,统计实际变换车道总次数。将仿真值和实际值做相对误差率分析,见公式(3)。

$$\gamma = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{|X_j - Y|}{Y}}{n} \quad (3)$$

式中: Y 为实际调查的变道车辆总数; X_j 为第 j 次仿真统计的变道车辆总数; n 为仿真次数。相对误差率 γ 越小,即仿真中车道变换的发生次数与实际次数越接近,表明模型可靠性越高。

仿真程序中,路段流量及车型比例由用户输入。每辆车的运行状态都由独立的3个时钟控制^[13],分别控制车辆的跟车运行、车道变换条件判断及车道变换行为控制,因此每辆车都有各自的“行驶思维”^[14]。从仿真的结果来看,车辆在符合模型条件的时候即可进行车道变换,仿真模拟效果较好,能够对实际调查中所观测到的不同车道变换行为进行再现。程序运行界面如图3所示。

仿真程序运行1000次后,通过对比分析获得平均相对误差率 $\gamma=14.8\%$ 。相对误差率较小,即仿真中车道变换的发生与实际情况绝大部分都吻合,表明模型具有较高的可靠性。



图3 计算机仿真程序界面

Fig.3 Program interface of computer simulation

5 结论

通过研究城市干道基本路段车辆变道行为,确定了车道变换行为决策的关键参数,通过摄像法调查标

定了变道车辆与其周围车辆距离、车速等的数值关系,建立了基于驾驶行为的路段车道变换模型。最后,编写VB程序进行计算机仿真,通过相对误差率分析,验证了模型的可靠性。

模型提出期望车道的概念,分析了不同类型车辆期望车道的分布情况。建立的车道变换模型针对自由流和约束流状态下不同的交通流特性,视车辆为行为主体,是一组模仿驾驶员驾驶行为的连续循环条件判断。用于模型构建的基础数据采集于城市主干道平直无横向干扰的单向多车道路段,这类路段在城市路网中有较大的代表性,模型对城市中类似路段的仿真模拟有较高的吻合度。

本模型对较显著的关键因素如车辆速度差和间距等进行分析,对于驾驶员个性差异^[15]等主观因素影响分析较少,模型仅以不同车型的驾驶员主观因素系数加以修正。由于采集的数据样本量有限,一些关键参数数值的确定也受到一定影响,今后可进一步修正模型的条件及参数。

参考文献:

- [1] 王晓原,孟昭为,宿宝臣. 微观仿真车道变换模型研究[J]. 山东理工大学学报:自然科学版,2004,18(7):1-5.
- [2] 魏明,杨方廷,曹正清. 交通仿真的发展及研究现状[J]. 系统仿真学报,2003,15(8):1179-1183.
- [3] 毛保华,杨肇夏,陈海波. 道路交通仿真技术与系统研究[J]. 北方交通大学学报,2002,26(5):37-46.
- [4] 郭昕,王慧. 交通分析仿真软件的研究进展与展望[J]. 中南公路工程,2005,30(1):144-149.
- [5] 王建军,严宝杰. 交通调查与分析[M]. 北京:人民交通出版社,2004:56-58.
- [6] 张凤,李永娟,蒋丽. 驾驶行为理论模型研究概述[J]. 中国安全科学学报,2010,20(2):23-28.
- [7] 牛彦. 关于透视变换的研究[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2001,13(6):549-551.
- [8] 罗晓晖,杜召彬. 基于双灭点的图像透视变换方法[J]. 计算机工程,2009,35(15):212-214.
- [9] 杨建国,刘勇,贾凡. 从高空摄像中获取车辆瞬态信息和驾驶行为[J]. 西安交通大学学报,2009,43(4):116-120.
- [10] 张学武,徐立中,梁瑞宇,等. 基于视频的交通流参数测量方法研究[J]. 仪器仪表学报,2010,31(11):2542-2548.
- [11] 邹智军,杨东援. 微观交通仿真中的车道变换模型[J]. 中国公路学报,2002,15(2):105-108.
- [12] 王殿海. 交通流理论[M]. 北京:人民交通出版社,2002:46-59.
- [13] 高春艳,刘彬彬,等. Visual Basic 程序开发范例宝典[M]. 北京:人民邮电出版社,2006:770-772.
- [14] 林宇洪,沈嵘枫,邱荣祖. 南方林区林产品运输监管系统的研究[J]. 北京林业大学学报,2011,33(5):130-135.
- [15] 楼中艳,时勤. 驾驶员的个性特点与驾驶安全的关系[J]. 人类工效学,2011,17(1):91-93.

A Model Study and Simulation of Lane Changing Based on Driving Behaviors

Xu Jinqiang¹, Chen Zhushi², Ding Yi¹

(1. School of Traffic, Fujian Agriculture and Forest University, Fuzhou 350002; 2. Quanzhou Municipal Project Developing Corporation, Quanzhou 362001, China)

Abstract: Reliable and reasonable lane-changing model can improve the accuracy of microscopic traffic simulation. In order to study the cause of lane changing purpose and rules of behavior progress, high-altitude photography is used to analyze the characteristic of drivers' lane-changing behavior in the basic section of city main roads, which leads to the acquisition of some numerical relations like distance and speed between lane changing vehicles and surrounding vehicles. By proposing favorite lane conception and options and summarizing lane changing rules, the basic section lane changing model based on driving behaviors is established. Finally, VB program is built for computer simulation to prove the high reliability of this model.

Key words: driving behaviors; lane changing model; favorite lanes; simulation