

# 混杂交通微观仿真中驾驶员对黄信号灯的反应行为模型

孙志强, 杨建国, 王忠民, 肖永剑, 岳超, 邓雯

(西安交通大学电气工程学院, 710049, 西安)

**摘要:** 首先,将遇到黄灯时车辆所处状态细分为进退两难、减速停车、匀速通过和选择通过 4 种状态,驾驶员根据车辆当前的位置和速度来确定其处于何种状态.其次,在考虑不同的驾驶员具有不同的驾驶技术和攻击性性格的基础上,驾驶员根据车辆当前所处的状态做出相应的反应行为,这就是整个决策过程的建模思路.通过计算机仿真以及对信号交叉口车辆的实地测量表明:模型能够表现驾驶技术带来的判断和操作偏差,并能够表现出现实中存在于黄灯期车辆加速、减速、匀速和紧急刹车 4 种典型行为,以及其中的违规现象.从统计比对结果来看,仿真表现与现实是近似的,但还是有局部的差异,这种差异主要源于仿真中对行人行为的忽略.该仿真模型可以用来表现混杂交通中驾驶员遇到黄信号灯时的反应行为,并可以作为微观交通仿真中机动车模型的一部分.

**关键词:** 微观仿真;驾驶行为;黄信号灯;进退两难状态

**中图分类号:** TP391.19 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-987X(2004)12-1260-04

## Driving Behavior Modeling During an Amber Light under the Mixed and Disordered Traffic MicroSimulation

Sun Zhiqiang, Yang Jianguo, Wang Zhongmin, Xiao Yongjian, Yue Chao, Deng Wen

(School of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

**Abstract:** When a driver meets with the yellow running, he is facing to four alternates - dilemma, braking, straight2through running, and option. The driver judges which situation he is in according to his current speed and location; and then the instantaneous situation hints the driver to make the corresponding operation based on the driver's skill and aggressive character. This driving behavior model for the amber light is confirmed by the simulation result that the model not only represents four types of driving behaviors: accelerating, braking, straight2through running and full braking, but also represents red2running violations during an amber light, which is attributed to driving skill and aggressive character. It can be concluded from the contrast that the simulation result is rather statistically similar to the data acquired from the spot; but there is the partial difference which mainly derives from the neglect of the pedestrians and bicycles behaviors in the simulation. Therefore, this model, as a part of vehicle model, can offer a theory base to the algorithm of driving behavior during an amber light under the mixed and disordered traffic micro2simulation.

**Key words:** microscopic simulation; driving behavior; amber light; dilemma situation

信号交叉口是混杂交通<sup>[1]</sup>仿真的重点区域.在信号交叉口,机动车除具有对其他交通参与者的反应行为外,还具有对信号灯的反应行为.传统的有序交通流中,机动车对信号灯的反应是简单和规范的:

红灯停,绿灯行.在混杂交通系统中,红灯开始阶段的侥幸闯灯、绿灯结束前的加速、黄灯或者绿灯闪烁期间的犹豫,都是较为明显的客观存在现象.加之 3 种交通参与者(机动车、自行车、行人)之间互相挤

收稿日期: 2004-05-13. 作者简介: 孙志强(1978~),男,硕士生;杨建国(联系人),男,副教授.

压和试探,都表现出机动车对信号灯反应行为的复杂性.要表现混杂交通系统的诸多特征,必须构建与现实基本相符的机动车信号反应模型.

1960年,Gazis、Herman和Maradudin开始对黄信号灯的研究,之后又有不少的研究者(如Liu Chi2u、Herman Robert)更深入地研究了黄信号灯,但是他们研究的主要目的是如何设置信号灯相位以消除车辆在黄灯期间进入进退两难状态<sup>[2,3]</sup>.2001年,Hossain M为混杂交通微观仿真中信号交叉口驾驶员的黄灯行为提出了算法.在他的算法中认为,驾驶员在黄灯期间不采取停车的行为主要是需要刹车的减速度大于车辆所能提供的最大减速度,导致车辆无法停止下来<sup>[4]</sup>.Hossain M给出的黄灯期间不刹车的情况实际上就是进退两难状态下的行为.但是,实际的观察和本文的调查,都支持这样的事实:在一个特定的信号交叉口,机动车面对黄灯出现的被动越线违规,只有少数是由于进退两难造成的.仅仅用Hossain M给出的模型,不足以充分表现其他的越线违规行为.

本文认为,在研究驾驶员黄灯反应行为时,驾驶员的驾驶技术和性格是导致其实际行为与理论上最佳行为存在差异的关键因素.驾驶员在操作中对位置的判断偏差、对最佳加速度的计算偏差和其性格对最终行为的影响,都将导致其行为和理论最佳行为存在差异,最终造成大量的、原本在理论计算中可以避免的越线违规.用这种思路构建的驾驶员黄灯反应模型,可能与现实比较接近.

### 1 驾驶员对黄信号灯的反应行为模型

遇到黄信号灯的车辆原则上要停在停车线的位置,如果不能安全停车时可以继续前进,若红灯亮了,车辆就不能越过停车线了.因此,面对黄信号灯时,驾驶员就需要预先判断能否在停车线安全停车,不能安全停车时,能否在变成红灯前越过停车线.如果预测不准就会产生车辆冲突现象.驾驶员对黄信号灯的反映须首先确定车辆所处的状态,再通过车辆状态特点确定驾驶员所采取驾驶决策行为.在这个过程中,引入了驾驶员的驾驶技术和性格两个特征参量来体现驾驶行为的随机性.为了能够体现驾驶员技术的作用,必须将驾驶员的驾驶技术量化.我们将驾驶员的驾驶技术指标 $k_{sk}$ 分为10个等级,假设驾驶员的驾驶技术指标处在0~1之间,值越大表示驾驶员的驾驶技术越高.驾驶员的攻击性性格指标 $k_{ch}$ 分为10个等级,值处于0~1之间,值越大表

示驾驶员攻击性越强.

### 1.1 驾驶员在黄信号灯下所处的状态划分

信号灯只对近道区内的车辆起作用<sup>[5]</sup>,因此处于近道区内的车辆在黄信号灯期间会出现4种状态:进退两难状态,指的是驾驶员既不能按照通常的减速度停止,也不能保持原来的速度不变而通过;

选择通过状态,指既可以按照通常的减速度安全停车,又可以保持原来的速度不变通过<sup>[6]</sup>; 减速停车状态,指的是驾驶员按照通常的减速度能够停止,但是不能保持原来的速度不变而通过; 匀速通过状态,指的是驾驶员不能按照通常的减速度停止,但能保持原来的速度不变而通过.

为了准确地描述这4种状态,引入了临界匀速通过距离和临界减速停车距离.临界匀速通过距离描述的是车辆在变红灯前越过停车线,在黄灯开始时距离停车线的最长距离为 $L_1$ , $t_y$ 为黄灯时间, $v_0$ 为车辆当前的初速度, $L_{veh}$ 为车身长度,则表达式如下

$$L_1 = t_y v_0 - L_{veh}$$

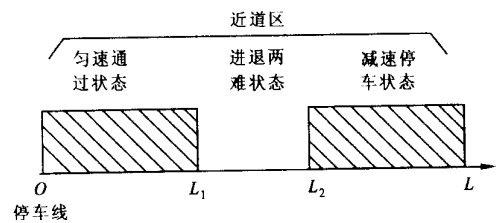
临界减速停车距离描述的是要想停止在停车线的车辆,黄灯开始时距离停车线的最短距离 $L_2$ , $t_f$ 为驾驶员操作反应时间, $t_s$ 为驾驶员对信号灯的反应时间, $a_{ave}$ 为平均减速度,则表达式为

$$L_2 = (t_f + t_s) v_0 + \frac{v_0^2}{2 a_{ave}}$$

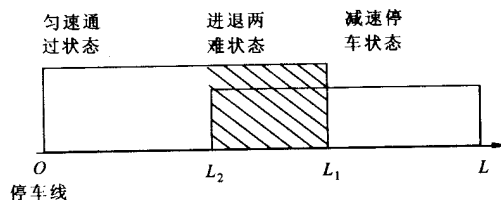
根据 $L_1$ 和 $L_2$ 的不同关系,可以确定4种状态的关系如图1所示.

### 1.2 黄灯期驾驶行为的理论模型

驾驶员遇到黄灯时的行为决策过程如图2所示.若车辆处于减速停车状态,驾驶员将按照减速度



(a) 在 $L_1 < L_2$ 情况下车辆所处状态划分



(b) 在 $L_1 > L_2$ 情况下车辆所处状态划分

图1 黄灯期车辆在近道区所处状态的划分

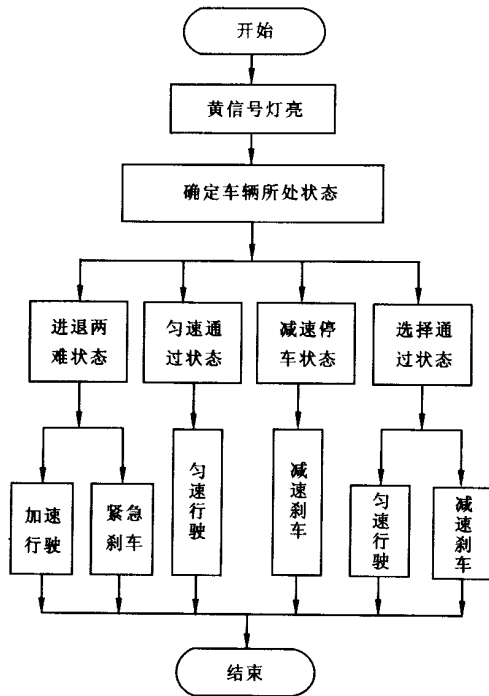


图 2 黄灯期车辆行为决策流程

a. 减速行驶下去. 在此种情况下, 考虑到驾驶员对信号灯的反应时间和刹车操作反应时间, 从而车辆减速行驶的实际路程为

$$S = L - (t_f + t_s) v_0$$

所以驾驶员刹车的期望减速度  $a_-$  的表达式为

$$a_- = \frac{v_0^2}{2S}$$

若车辆处于进退两难状态, 驾驶员可能以大于  $a_{+min}$  的加速度加速行驶, 以便在红灯点亮前闯过停车线, 或者以大于  $a_{-min}$  的减速度紧急刹车. 那么

$$a_{+min} = \frac{2(L + L_{veh} - v_0 t_y)}{(t_y - t_s - t_f)^2}; a_{-min} = \frac{v_0^2}{2S}$$

实际的决策加(减)速度为

$$a_{\pm} = a_{\pm min} + \pm; \pm = k_{ch}(a_{\pm max} - a_{\pm min})$$

其中  $\pm$  与驾驶员的攻击性性格指标. 车辆的最大加(减)速度有关. 车辆的最大加速度与发动机性能有关, 更主要与当时车辆的档位有关<sup>[7]</sup>. 车辆的最大减速度与车辆的刹车装置有关, 也与地面状况有关, 例如在干路面, 具有 ABS 的车辆的最大减速度一般取  $8117 \text{ m/s}^2$ <sup>[8]</sup>.

### 113 黄灯期驾驶行为的实施模型

根据上述分析可以发现, 只有车辆处于进退两难状态, 并且实际车辆的最大加(减)速度小于最小加(减)速度, 才可能出现闯红灯现象. 但是, 通过实际的数据采集发现, 在黄灯期的 4 种状态中都存在

闯红灯现象, 并且这种闯红灯是被动的, 就是说, 驾驶员并不是主动要闯红灯, 是由于失误而误闯红灯. 这可以从红灯点亮后驾驶员的表现得出结论: 这些闯红灯的车辆在红灯点亮后, 都在停车线之外停了下来. 这就说明, 驾驶员的实际动作与理论分析结论存在差异. 只有找到造成这种差异的原因, 并且在模型中考虑这种差异, 才可能在模型运行中表现出 4 种状态下都存在的闯红灯现象.

经过分析, 本文认为造成实际动作和理论分析存在差异的主要原因如下.

(1) 驾驶员存在判断偏差, 主要体现在驾驶员对所处的位置  $L$  的判断, 此偏差的大小与驾驶技术和性格相关. 在模型中, 车辆实际位置为  $L$ , 驾驶员判断得出的位置为

$$L_f = L + (-1) \left( (1 - k_{sk}) + 011r \right) / L_1 - L_2 / \begin{cases} 0 & k_{ch} > 015 \\ 1 & k_{ch} < 015 \end{cases}$$

式中:  $r$  为处于  $0 \sim 1$  之间均匀分布的随机数.

(2) 驾驶员在执行动作时存在操作偏差, 主要表现在加速度  $a$  上, 驾驶员执行的实际加速度为

$$a_{\pm} = a_{\pm} + (-1) \left( (1 - k_{sk}) + 011r \right) \frac{a_{\pm max} - a_{\pm min}}{10}$$

本文的模型在理论分析的基础上, 考虑了判断偏差和执行偏差, 客观地表现出了 4 种状态下都存在的闯红灯现象.

## 2 实测和仿真的比对

2004 年 2 月, 作者在西安市兴庆路和咸宁路交叉口南口, 对黄灯期驾驶行为进行了实测. 其中样本条件为: 黄灯点亮时, 一辆车处于最靠近停车线的位置, 并且已经进入近道区, 则该车可以作为样本. 因此, 一个周期内最多只有一辆车可能是样本.

在每个周期内, 当黄灯点亮时, 人工观察并立即确定第一辆车是否为样本. 如果是样本, 则记录样本行为和样本结果. 样本行为有 4 种, 分别是匀速、加速、一般减速、紧急刹车. 样本结果为违规和不违规. 在采集的时候, 把握了各种驾驶行为的关键特征: 减速的车辆会出现刹车灯亮; 加速的车辆会出现速度急剧提升; 紧急刹车会出现速度急剧下降, 时常还伴有刹车鼓发出来的刺耳声音; 匀速就是在视觉上既看不出加速也看不出减速. 在 15 h 内, 获得 322 个样本, 统计结论如表 1 所示.

表 1 实测的黄灯期驾驶行为分类统计

行为分类	样本数 /个	占总数 百分比 /%	违规样本 /个	违规比例 /%
匀速	81	2511	30	3710
加速	12	317	3	2510
一般减速	215	6618	21	918
紧急刹车	14	414	6	4219
合计	322	100	60	1816

我们对驾驶员黄灯期反应模型进行了仿真实验,仿真的初始条件是:车辆发生器包含车头时距、初速度,用移位负指数模型实现,发生器模型需要的初始化参数,如车流量等,来源于实际调查.驾驶员模型中,驾驶技术指标  $k_{sk}$  为 0.15 ~ 1 的均布随机数,攻击性性格指标  $k_{ch}$  为 0 ~ 1 的均布随机数.仿真实验产生了 465 个样本,统计结果如表 2 所示.

表 2 对驾驶员黄灯期反应模型进行仿真实验获得的分类统计

行为分类	样本数 /个	占总数 百分比 /%	违规样本 /个	违规比例 /%
匀速	152	3217	34	2214
加速	31	617	21	6717
一般减速	250	5317	34	1316
紧急刹车	32	619	20	6215
合计	465	100	109	2314

实测和仿真的比对说明,本文模型可以表现出驾驶员面对黄灯可能采取的 4 种行为,也表现出了 4 种行为中均出现的违规现象,并且在一定程度上体现了 4 种行为的比例,仿真和实测具有近似性.但是,实测数据与仿真数据仍存在一些较为明显的差异,这种差异一方面来自仿真模型中初始条件的设置,另一方面也与仿真中的某些假设有关.

(1) 仿真中匀速样本的比例(3217%)明显高于实测的(2511%),主要原因是仿真中忽略了行人对机动车的干涉.在实际运行中,驾驶员不仅要考虑黄灯信号,还有注意人行横道上的行人行为,一方面,事先减挡、减速是很多驾驶员的习惯,另一方面,在很多实测样本中,由于行人的穿行,有一部分匀速行驶的车辆被行人干扰后转为减速行驶.

(2) 仿真中违规的比例(2314%)明显高于实测的(1816%).在仿真中,之所以产生违规,一种原因是在进退两难状态下不得已的行为,另一种原因是

驾驶员的判断偏差,而判断偏差取决于驾驶员模型中技术指标的设置.本模型中,为了充分体现驾驶技术对行为的影响,人为地降低了“受试者”的驾驶技术,导致出现了这样的结果.

### 3 结 论

本文对驾驶员对黄信号灯的反应行为进行了建模研究,并对其进行了仿真.仿真实验说明,模型可以表现出 4 种典型的黄灯反应行为,可以表现出违规.统计比对表明,仿真与实测既有相似性,也有差异.由于现实中样本存在很大的随机性,并且在仿真中没有考虑行人和自行车行为的影响,这些因素所造成的局部差异在微观仿真中是可以接受的.因此,本文仅仅是解决驾驶员黄灯反应模型的一个初步探索.

驾驶员技术指标、攻击性性格指标对模型的影响是重要的.要准确地获得这些指标,直接调查是极其困难的,并且几乎是不可实现的.在大量的实测和仿真比对中,调整并标定这些参数是可行的.另外,在黄灯期间,驾驶员的行为还受到了其他交通参与者的影响.这些研究都将使驾驶员黄灯反应模型的表现与现实更加吻合.

### 参考文献:

- [1] 杨建国,王兆安,李庆丰. 混杂交通微观仿真初探[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(6): 1115 - 1117.
- [2] Liu C, Herman R. A review of the yellow interval dilemma[J]. Transportation Research: Part A, 1996, 30(5): 333 - 348.
- [3] Lum K M, Tan Y W. Driver response at a signalized T2 intersection during an amber blackout[J]. Transportation Research: Part F, 2003, 6(3): 183 - 195.
- [4] Hossain M. Estimation of saturation flow at signalised in2tersections of developing cities: a micro2simulation mod2elling approach[J]. Transportation Research: Part A, 2001, 35(2): 123 - 141.
- [5] 邹智军. 事件反应仿真模型[J]. 同济大学学报, 2003, 31(4): 437 - 440.
- [6] 陆化普. 城市交通现代化管理[M]. 北京:人民交通出版社, 1993.
- [7] 王 晖. 城市交通微观仿真及建模[D]. 西安:西安交通大学电气工程学院, 2003.
- [8] 梁 博. 机动车制动性能研究及建模[D]. 西安:西安交通大学电气工程学院, 2003.

(编辑 杜秀杰)