

文章编号: 1002-0268 (2000) 06-0073-03

驾驶员轨迹决策行为影响因素的仿真研究

高振海, 管 欣, 郭孔辉
(吉林大学汽车动态模拟国家重点实验室, 吉林 长春 130022)

摘要: 通过分析包括前方道路可行区域、驾驶员体力负担及道路交通法规在内的众多因素对驾驶员开车的影响, 利用模糊决策理论建立了驾驶安全性、驾驶轻便性和驾驶合法性 3 个评价指标, 并进行了在几种典型路况下的驾驶员-汽车-道路闭环系统仿真计算, 有效地描述了驾驶员在开车时动态决策汽车预期轨迹的行为。
关键词: 驾驶员; 道路; 交通法规; 模糊决策; 预期轨迹
中图分类号: U461.6 **文献标识码:** A

Simulation of the Influence Factors on Driver Course Decision Behavior

GAO Zhen-hai, GUAN Xin, GUO Kong-hui
(National Lab of Automobile Dynamic Simulation of Jilin University, Jilin Changchun 130022, China)

Abstract: Through analysis of the influence of some factors including the feasible region of on-going road, driver physical burden and traffic law on the driver, the evaluation indexes of drive safety, handiness and legality are established using fuzzy decision theory, the simulations of driver-vehicle-road closed-loop system under several typical kinds of road circumstances are made, and the behavior character of driver dynamically deciding the vehicle preview course while driving is described effectively.
Key words: Driver; Road; Traffic law; Fuzzy decision; Preview course

驾驶员操纵行为特性研究由来已久, 但以前很少涉及驾驶员是如何动态决策汽车预期行驶轨迹的。为了合理地描述驾驶员轨迹决策行为特性并将其应用于驾驶员模型的研究, 本文在文献[1] 和[2] 的基础上集中分析了一些对驾驶员决策汽车预期行驶轨迹起主要作用的影响因素, 利用多目标模糊决策方法建立了一个较完善的汽车预期轨迹驾驶员决策评价指标体系, 并将其直接应用于驾驶员-汽车-道路闭环系统的仿真计算。

1 驾驶员轨迹决策行为影响因素

驾驶员通过其五官或其它渠道所感知到的驾驶信息来进行轨迹决策。由于汽车所处的道路交通环境错综复杂, 驾驶员可以感知到大量的驾驶信息, 并非对当前驾驶员轨迹决策行为都有影响。驾驶员只是有选择地接受并处理对轨迹决策最有用的一些信息, 其他信息留待以后处理或忽略。因此, 本文通过对这些驾

驶信息的分析, 从中抽取影响驾驶员轨迹决策的主要因素并将其大致分为如下几部分加以讨论: 前方道路的几何特征, 驾驶员自身因素, 公路交通法规及其他一些限制。另外, 本文在研究中假定汽车以定车速行驶, 变车速下的轨迹决策行为及其影响因素在以后的研究中单独讨论。

1.1 前方道路的几何特征

前方道路几何特征实际上给出了前方道路可行行车区域的信息, 主要包括道路宽窄、道路曲率变化及前方是否有障碍物(包括车辆与行人)等。本文认为这些因素主要影响汽车行驶的安全性。

道路宽度体现了道路左右边界与汽车的相对位置, 为了保证汽车安全行驶, 驾驶员驾驶汽车不能过于靠近左边界或过于靠近右边界, 最好在车道中心线附近行驶。同时驾驶员还要考虑汽车的航向角变化与道路曲率变化之间的相对关系, 汽车的航向角与道路的方向角保持一致最好。当前方出现障碍物时, 驾驶员

要操纵汽车合理地绕过障碍物且保证汽车与障碍物有一定的侧向与纵向间距。

1.2 驾驶员自身因素

主要包括驾驶员的操作负担及对所操纵汽车的了解程度等因素。汽车驾驶是一项很繁重的工作，驾驶员开车在保证安全行驶前提下都希望采用尽可能少的操作量来达到其驾驶目的，即体力操作负担越小越好。对驾驶员来说，在定车速行驶条件下其驾驶负担主要来自方向盘的转动所消耗的体力。不转动方向盘，无需消耗任何体力；大角度转动方向盘体力消耗很大。另外，驾驶员开车技术的好坏及对汽车性能的了解程度也决定了驾驶员是否可以很好地控制汽车按照其心目中理想的轨迹行驶。

1.3 道路交通法规

道路交通法规是调整人们在道路交通活动中行车及走路行为规范的总称^[3]。道路交通法规是驾驶员轨迹决策行为的依据和规范，驾驶员必须无条件地遵守交通法规来保证其驾驶行为的合法性和自己及他人的安全性。交通法规的条目很多，本文只是抽取了其中的一些基本原则来分析。本文将我国交通法规规定中与驾驶员开车轨迹决策行为有关的规定分为如下两条：

(1) 车辆右侧通行 我国的《道路交通管理条例》规定驾驶汽车必须遵守右侧通行的原则。驾驶员在开车过程中，在保证安全的前提下大多操纵汽车行驶在车道中心线的右侧附近。

(2) 车辆各行其道 各行其道指车辆必须按照交通管理部门划分的车行道来通行。标准的公路上都有分道线，车辆必须按照规定分道行驶。如图1所示，中心虚线表示在安全情况下车辆超车和向左转弯时可以越线行驶；中心单实线表示不准车辆跨线超车或压线行驶；中心双实线表示严格禁止车辆跨线超车或压线行驶。这些都可理解为对驾驶员轨迹决策行为的限制。

1.4 其他限制

汽车的性能并非无限。如一般汽车侧向运动加速度不超过0.5g，同时方向盘的转动范围也是有限制的。本文认为熟练驾驶员是可以掌握和发挥这些性能来有效地控制汽车。

2 驾驶员轨迹决策评价指标体系

为了模拟上面的众多因素对驾驶员决策汽车理想预期行驶轨迹的影响，本文采用了文献[4]中介绍的系统模糊决策理论来描述驾驶员理想轨迹决策行

为。根据文献[2]的论述，由于汽车所能产生的侧向运动加速度是有限制的，在其限制范围内变化其数值并结合前方道路可行区域，就可以得到一个待决策的汽车可行预期轨迹点集合及其相应的航向角。在得到决策集合后，本文建立了驾驶安全性、驾驶轻便性和驾驶合法性3个基本决策评价指标，其具体决策指标体系如图2所示。

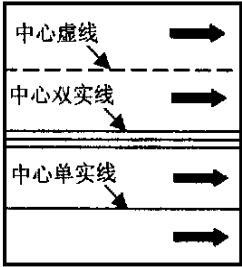


图1 车道中心线示意图

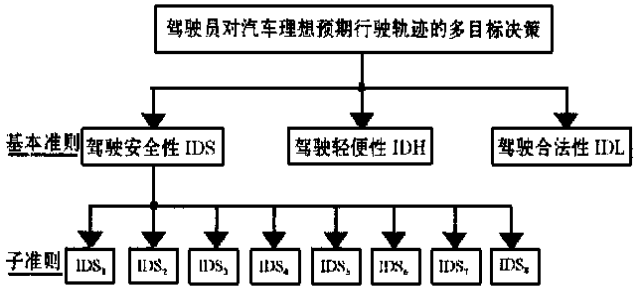


图2 驾驶员轨迹决策评价指标体系示意图

2.1 驾驶安全性指标

本文将驾驶员对前方道路几何特征的考虑定义为驾驶安全性指标IDS (Index of Drive Safety)。该指标由如下8个安全性评价指标组成。

IDS1, IDS2, IDS5, IDS6为驾驶员根据可行预期轨迹点左右及前方的左右道路边界与该可行预期轨迹点的距离而获得的安全性评价指标(按照文献[2]和[4]所述，将这些距离称为评价指标的特征值，下同)；IDS3, IDS4, IDS7, IDS8为驾驶员根据可行预期轨迹点左右及前方左右道路边界曲率变化(或道路方向角)与该轨迹点对应的汽车航向角之间的偏差关系而获得的安全性评价指标。

2.2 驾驶轻便性指标

驾驶员总是希望以最少的操作量来完成驾驶任务，这样可使驾驶负担降至最低。因为方向盘的转动直接引起汽车侧向加速度的变化，因此本文将驾驶负担定义为驾驶轻便性指标IDH (Index of Drive Handiness)，并用对应可行预期轨迹点的侧向加速度增量的绝对值来描述。

2.3 驾驶合法性指标

交通法规的影响可定义为驾驶合法性评价指标 IDL (*Index of Drive Legality*)。交通法规的条目虽然很繁杂,但对正常汽车行驶来说这些规定大多可理解为要求驾驶员必须使汽车与道路上各种标线之间保持有一定的距离(如可以越线,不能压线和靠中心线右侧行驶等,这里的距离可以为零或负值),因此可以用可行预期轨迹点与道路上各种标线之间距离来描述驾驶合法性指标大小。

仿照文献 [2] 和 [4],可以得到上面各评价指标的隶属度公式。这里采用 S 形函数来定义各评价指标隶属度函数。评价指标 IDL_1 的隶属度计算公式如下所示, IDL_2 、 IDL_5 、 IDL_6 、 IDH 计算公式与之类似(这些指标的隶属度越大越好)。

$$r_{lj} = \begin{cases} 0 & x_{lj} < a_1 \\ \left(\frac{x_{lj} - a_1}{b_1 - a_1} \right)^2 & a_1 \leq x_{lj} \leq b_1 \\ 1 & x_{lj} > b_1 \end{cases} \quad (1)$$

IDL_3 的隶属度计算公式如下, IDL_4 、 IDL_7 、 IDL_8 、 IDH 的计算公式又与之类似(这些指标的隶属度越小越好)。

$$r_{3j} = 1 - \left(\frac{x_{3j} - a_3}{b_3 - a_3} \right)^2 \quad (2)$$

在公式 (1) 和 (2) 中, r_{lj} 、 r_{3j} 分别表示评价指标 IDL_1 和 IDL_3 的隶属度; x_{lj} 、 x_{3j} 为评价指标的特征值; a_1 、 b_1 、 a_2 、 b_2 为特征值的阈值。

3 仿真计算

文献[2] 建立了一个汽车预期轨迹驾驶员模糊决策模型,并利用该模型结合郭孔辉院士提出的预瞄最优曲率模型进行了一些仿真计算。本文在其基础上采用前面提出的轨迹决策指标体系,在模拟道路交通环境下进行了驾驶员-汽车-道路闭环系统仿真计算。

对驾驶员自身来说,他所感知到的道路环境的变化基本上就是道路行车道的宽窄和道路线形几何曲率的大小。鉴于此,下面给出单移线形道路和直角转弯形道路两个驾驶员开车经常遇到且较为典型的仿真算例。在单移线行驶路况下,汽车行驶速度为 100km/h,行车道宽度为 3.75m;在直角转弯工况下汽车的行驶速度为 20km/h,行车道宽度为 5m。这里的汽车行驶速度和车道宽度的选取参照了我国道路法规和公路工程技术标准^[3,5]。同时在仿真算例中规定行车道左右车道线为中心单实线,且驾驶员必须遵循交通法规中右侧通行的规定。其仿真计算结果如图 3 和 4 所示(这里假设汽

车初始位置在道路中央)。

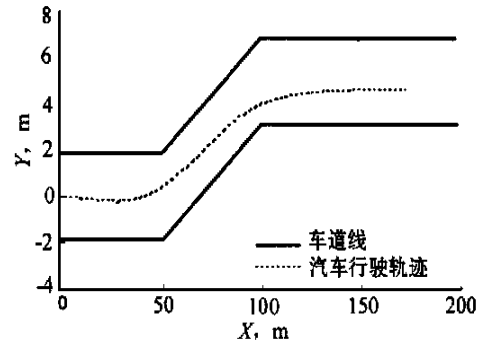


图 3 单移线道路的仿真曲线

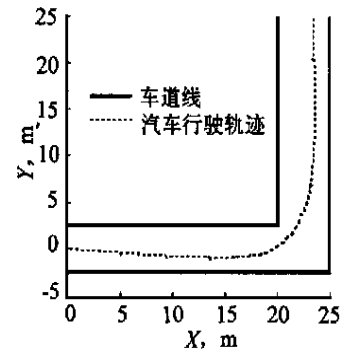


图 4 直角转弯道路的仿真曲线

这两种工况模拟了汽车在缓变道路曲率下的高速转向运动和在突变道路曲率下的低速转向运动。仿真计算得到的汽车运动轨迹表明无论行车道线形是缓变曲率还是突变曲率,按照本文所建立的轨迹决策体系都可以有效地保证汽车在行车道上安全行驶。同时由于车道线及右侧通行规定对驾驶员开车的影响,汽车实际行驶轨迹大多在车道中央偏右一侧,体现出与实际驾驶员开车行为的一致性。

4 结语

本文通过建立驾驶安全性、驾驶轻便性和驾驶合法性 3 个轨迹决策评价指标,合理描述了驾驶员动态决策汽车预期行驶轨迹的行为。以后将引入更多的轨迹决策影响因素,使轨迹决策评价指标体系更为丰富和完善。

参考文献:

- [1] 郭孔辉著. 汽车操纵动力学. 吉林科学技术出版社, 1991
- [2] 高振海等. 驾驶员确定汽车预期行驶轨迹的模拟决策模型. 吉林工业大学自然科学学报, 2000(1): 2—5
- [3] 车主丛书编委会. 汽车安全驾驶. 机械工业出版社, 1997
- [4] 陈守煜. 工程模糊集理论与应用. 国防工业出版社, 1998
- [5] 中华人民共和国交通部. 公路工程行业技术标准. 人民交通出版社, 1998