

基于主客观紧急度判断的车辆行驶模糊控制

陈雪梅, 高利

(北京理工大学机械与车辆工程学院, 北京 100081)

[摘要] 紧急情况下驾驶员能否做出准确、及时的判断和操作, 对于防止交通事故具有重要的现实意义。为保证车辆行驶安全, 有必要对车辆行驶中紧急度做出判断, 并给出相应的控制算法。首先提出基于相对距离、车速和驾驶员基本特征的车辆行驶中紧急度, 同时给出基于模糊推理的车辆行驶控制算法, 并对其进行了仿真运算。仿真结果表明: 情况越紧急, 驾驶员会越快采用最大制动减速度; 驾驶员基本特征对制动操作的影响明显。总之, 通过模糊推理控制后车的制动减速度, 能实现后车的行车安全。

[关键词] 驾驶行为; 紧急; 模糊推理; 安全

[中图分类号] U491.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2007)01-0053-05

日益增多的交通事故已成为严重的社会问题, 降低交通事故的损失和伤害亟待解决。车辆在行驶中, 前车采取减速行驶操作或出现障碍物等, 会引起后车驾驶员驾驶行为的改变。为了防止追尾, 后车驾驶员必须依据车辆行驶中紧急度和本身的操作特点采取相应的操作。笔者将前车突然减速或突然出现障碍物定义为导致后车行驶状态改变的突发事件, 引发突发事件的因素(前车或障碍物)称之为引发突发事件主体。由于后车对前方事件的不可预知性, 反应操作时间平均增加40%左右, 由此引发的交通事故往往更加严重, 财产损失和精神伤害更为巨大^[1,2]。突发事件导致的交通事故虽然不到整个交通事故量的三分之一, 造成的财产损失却占全部交通事故财产损失的一半以上。笔者对江西省和山东省的几家运输公司的事故资料统计分析, 得出类似的结果, 即由突发事件诱发的事故占38%, 造成的财产损失却占67%。对驾驶员遇到的紧急情况依据道路交通安全状况和车辆的行驶状况, 其中包括后车与前车或障碍物之间的距离、后车车速、后车与前车或障碍物的相对速度, 以及驾驶员特征等, 进行车辆行驶中紧急度的计算, 同时给出

主客观紧急度综合评判下基于模糊推理的车辆行驶制动减速度控制算法, 并对其进行仿真运算。

1 车辆行驶中紧急度的主客观评价

驾驶员在行车时会时刻注意安全问题, 并依据道路状况减速、调整方向。对驾驶员的调查发现, 出现突发事件时, 驾驶员最先想到的是与引发突发事件主体发生碰撞的可能性。可能性越大, 即车辆行驶中紧急度越大, 驾驶员的生理变化也越剧烈。为此, 以笔者定义的车辆行驶中紧急度(emergency degree, ED)概念作为衡量本车与引发突发事件主体发生碰撞可能性的指标。它是驾驶员依据道路安全状况、车辆的运行状态, 通过驾驶经验和驾驶员个性指标得出的一个模糊概念, 与本车速度、与引发突发事件主体之间的距离以及与驾驶员的经验、个性等固有特征有关。

1.1 车辆行驶中紧急度客观性评价

车辆行驶中紧急度与道路安全状况、车辆运行状况存在关联性。驾驶员在行驶过程中会认为车辆行驶中紧急度与自身车速、与引发突发事件主体之间的距离有关系, 在一定速度下, 认为与引发突

事件主体之间的距离越近就越紧急。因此,可以得到图1所示的车辆行驶中紧急度与两车相对距离的关系。图1a的曲线可表示为 $ED_1 = \exp(-m \cdot RD)$,其中 m 为调节系数; RD (relative distance)为后车与引发突发事件主体之间的距离。

以不同速度($v_1 > v_2$)行驶时,可得到图1b的曲线,此时的曲线表达式为 $ED_2 = \exp(-n \cdot RD/v)$,其中 n 为调节系数; v 为后车的行驶速度。 v 值越大,车辆行驶中紧急度越大。

以上是不同速度、不同车距与车辆行驶中紧急度之间的关系。以下讨论驾驶员基本特征与车辆行驶中紧急度之间的关系。

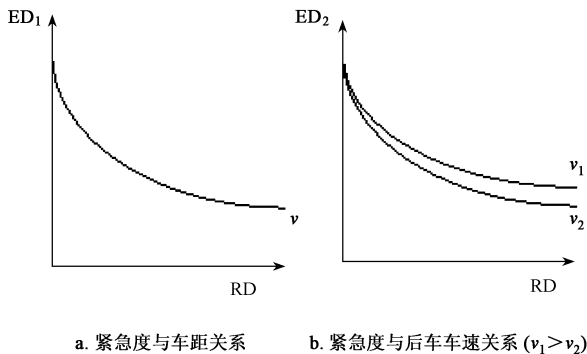


图1 各种因素与车辆行驶中紧急度的关联性

Fig.1 Relationship between factors and emergency degree

1.2 车辆行驶中紧急度主观性评价

车辆行驶中紧急度评价不仅与道路状况有关,还与驾驶员的固有特征有很大的关联性。依据道路交通状况和车辆状况得出的同一车辆行驶中紧急度,不同驾驶经验和个性特征的驾驶员做出的紧急度判断存在较大的差异,采取的措施也不同。

通常,驾驶经验是驾驶员操作的知识库。当出现的突发事件在驾驶员的知识库中有相应的信息时,驾驶员不会太紧张,会做出道路交通状况不太紧急的判断,制动操作不会很快,踏板制动力也不会很大;没有相关经验的驾驶员的反应和操作则与之相反,通常会做出道路交通状况比较紧急的判断,制动操作会比较快,踏板制动力也会比较大。

具有不同个性特征的驾驶员的操作也存在差异。谨慎型驾驶员反应快、动作慢,制动操作比较缓和;鲁莽型驾驶员则反应慢、动作快,制动操作比较剧烈,通常会采用较大的踏板制动力快速制动。这些特点正反映了驾驶员对车辆行驶中紧急度

的主观评价。总之,不同性格的驾驶员在行驶过程的驾驶操纵上有较大的差异。

假定驾驶员特征对驾驶操作的影响主要表现在驾驶倾向性对驾驶操作的影响上。为此采用 K 作为驾驶员特征对驾驶操作的影响系数,称之为驾驶倾向性系数, K 值由驾驶员的类型决定。统计分析可知, K 值大致为 $0.8 \sim 1.2$ (均值为 1.0)。 K 值越小,表明驾驶员越保守,处理突发事件的经验越多,对于同一突发事件主观评价其紧急度越小;反之则越冲动,处理突发事件的经验越少,对于同一突发事件主观评价其紧急度越大。

1.3 主客观性相结合的车辆行驶中紧急度评价

当道路安全状况和驾驶员特征共同作用于驾驶员,得出驾驶员对车辆行驶中紧急度的表达式为 $ED = K \cdot ED_2$ 。

2 基于车辆行驶中紧急度的车辆制动减速度模糊推理控制算法

2.1 驾驶员特征

驾驶员作为一个高度复杂又不失灵活性的有机体,在做出决策和反应时,“大约性”(也可理解为驾驶行为的“非精确性”)是最显著的特征之一。这一特征将毫无疑问地影响到车辆的行驶行为^[3]。因此,后车驾驶员对前车动作做出的反应不是确定的一对一关系,而是由长期经验积累得来的。驾驶员总会利用一些逻辑推理形式完成车辆的控制。例如,当驾驶员觉得前面的行车环境信息处理的紧急度比较大,而且与引发突发事件主体很近时,就会以比较大的制动减速度使车速降低。这些逻辑推理适合于用模糊逻辑和近似推理来分析。

2.2 基于主客观紧急度判断的车辆行驶模糊控制

笔者提出的基于车辆行驶中紧急度的车辆制动减速度控制算法,是建立一个两输入单输出的模糊推理系统。输入变量为车辆行驶中紧急度(ED)和相对速度(RV);输出变量为后车减速度(D_0)。车辆行驶中紧急度由后车与引发突发事件的主体之间的距离、后车车速以及驾驶员特性决定。输入和输出变量的模糊集都取7个,隶属度函数取常用的三角函数分布,具体分布如图2、图3所示。

基于驾驶员的实践经验,可以总结出突发事件下车辆制动减速度模糊推理系统的模糊规则:如果驾驶员认为车辆行驶中紧急度很大,而且两车相对速度大,则驾驶员会以适当大的减速度行驶,尽量

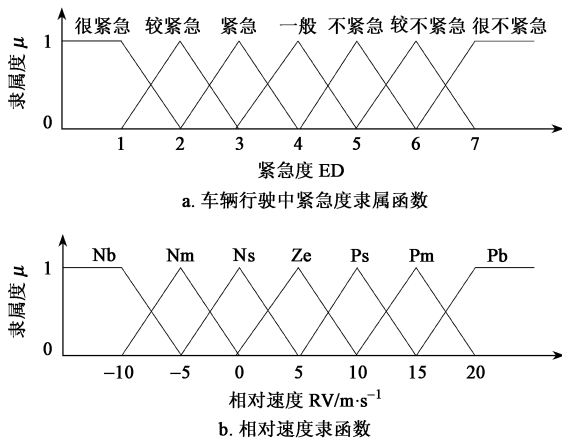


图 2 输入变量的隶属度函数

Fig.2 Membership function of input variable

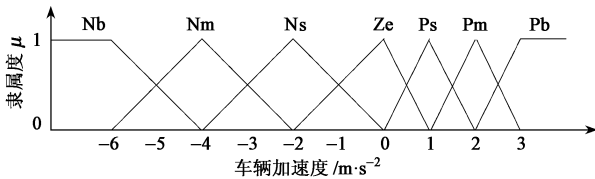


图 3 输出变量（制动减速度）隶属关系
Fig.3 Membership function of output variable (deceleration)

使车辆行驶中紧急度控制在驾驶员可接受的阈值内，即车辆行驶中紧急度（ED）为正大（Pb），且相对速度（RV）为正大（Pb），则后车的加速度为负大（Nb），即用大的制动减速度对车进行制动。由此，建立了 49 条模糊规则，如表 1 所示。

表 1 基于综合紧急度评判的车辆行驶控制规则
Table 1 Rules of controlling the automobile driving based on judgement of emergency degree

实验车的 加速度 a	车辆行驶中紧急度(ED)							
	很不 紧急	较不 紧急	不紧急	一般	紧急	较紧急	很紧急	
	Nb	Pb	Pb	Pm	Pm	Ps	Ps	Ze
	Nm	Pb	Pm	Pm	Ps	Ps	Ze	Ns
	Ns	Pm	Pm	Ps	Ps	Ze	Ns	Ns
相对速 度(RV)	Ze	Pm	Ps	Ps	Ze	Ns	Ns	Nm
	Ps	Ps	Ps	Ze	Ns	Ns	Nm	Nm
	Pm	Ps	Ze	Ns	Ns	Nm	Nm	Nb
	Pb	Ze	Ns	Ns	Nm	Nm	Nb	Nb

模糊推理过程是基于模糊逻辑中的蕴含关系及

推理规则进行的。推理过程采用最大一乘积推理法，即拉森（LASON）乘积运算法^[3]。假设：

R_1 : if ED is (很紧急) and RV is Pb, then a is Nb, 即 $R_1 = (\text{很紧急} \times \text{Pb}) \times \text{Nb}$;

R_2 : if ED is (较紧急) and RV is Pm, then a is Nm, 即 $R_2 = (\text{较紧急} \times \text{Pm}) \times \text{Nm}$ 。

若已知 $ED=ED_0$, $RV=RV_0$, 则按这两条假设得到的合成结果为 $R=R_1 \cup R_2$, 即

$$\mu_c(a) = \omega_1 \mu_{Nb}(a) \vee \omega_2 \mu_{Nm}(a)。$$

式中 $\omega_1 = \mu_{\text{很紧急}}(ED_0) \wedge \mu_{\text{Pb}}(RV_0)$; $\omega_2 = \mu_{\text{较紧急}}(ED_0) \wedge \mu_{\text{Pm}}(RV_0)$ 。

模糊推理得到的量是模糊量，将其转换为可以实际用于控制作用时，需进行清晰化过程。清晰化计算方法通常有最大隶属度法、中位数法和加权平均法。加权平均法也称质心法，是最常用的清晰化计算方法，笔者采用该方法进行清晰化计算，即

$$a = \frac{\sum_{k=1}^m a_k \mu_a(a_k)}{\sum_{k=1}^m \mu_a(a_k)}。$$

3 数据采集、仿真及结果分析

3.1 数据采集

实验依据车辆行驶中紧急度的不同分为两种情况。第一种情况是前车突然以 -3 m/s^2 的制动减速度制动；第二种情况是前车突然以 -6 m/s^2 的制动减速度制动。在两种情况下试验车和前车的初速度均为 30 m/s ，两车间距为 100 m ，测量后车行驶状态的变化。驾驶员依据不同的性格特征分成 4 类，剔出迟钝型，分别取谨慎型、鲁莽型、机敏型各 2 名，平均驾龄为 3.7 年，其中驾龄 1~3 年的 3 人，3~8 年的 3 人。

用雷达测速仪和 Freecod 数据采集系统测量两车的行驶速度和间距，同时把数据输入到车辆行驶中紧急度计算模块和相对速度模块，计算出特定时刻下行驶紧急度和两车的相对速度，并作为模糊推理模块的两个输入，经过模糊推理得出该时刻实验车应该给出的制动减速度，控制后车的行驶速度，使之恢复到安全的行驶状况。在不同车辆行驶中紧急度、间距和速度下共进行了 73 组实验，用作模糊推理的训练数据，得出输入、输出变量隶属函数，参见图 2 和图 3。

3.2 仿真与结果分析

算法仿真是在 Matlab/Simulink 环境中进行的，仿真模型的设计结构如图 4 所示。在建立仿真模型

过程中，模糊控制采用 Simulink 环境提供的模糊控制器控件，模糊控制数据库由 Matlab 提供的 Fuzzy 控件编辑形成^[4]。利用建立在 Simulink 环境中的仿真模型进行仿真模拟。

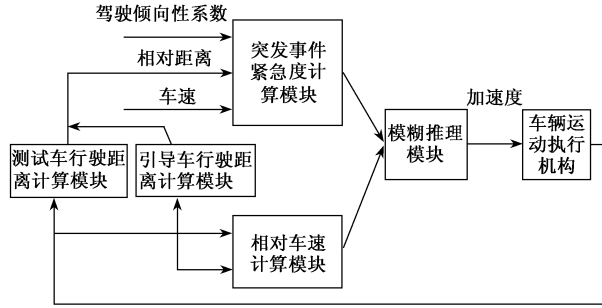


图 4 仿真模型的结构

Fig.4 Structure of simulation model

倾向性影响系数 K 分别为 0.8, 1.2 时驾驶员制动减速度的变化。分析图 5 和图 6 可知，前车以初速度 30 m/s，制动减速度 -3 m/s^2 制动时，后车以大约 -2 m/s^2 开始制动，在 7 s 时制动减速度达到 $-5 \sim -6 \text{ m/s}^2$ 。两车的相对速度在 5 s 时达到最大。通过模糊推理，给出制动减速度值，反馈控制后车的行驶速度。两车在 15 s 时相对速度为 0，表明后车已经完全停止运动。

图 5、图 6 分别对应的是谨慎型和鲁莽型驾驶员在突发事件出现时的制动减速操作模拟结果。对比分析可知，谨慎型驾驶员的制动操作比较平缓，鲁莽型驾驶员的制动操作变化比较剧烈。对具有不同驾驶经验的驾驶员操作进行分析可以得出类似的结论，经验比较丰富的驾驶员，制动操作比较平缓；经验不足的驾驶员，制动操作变化比较剧烈。

图 5 和图 6 为制动减速度为 -3 m/s^2 ，驾驶员

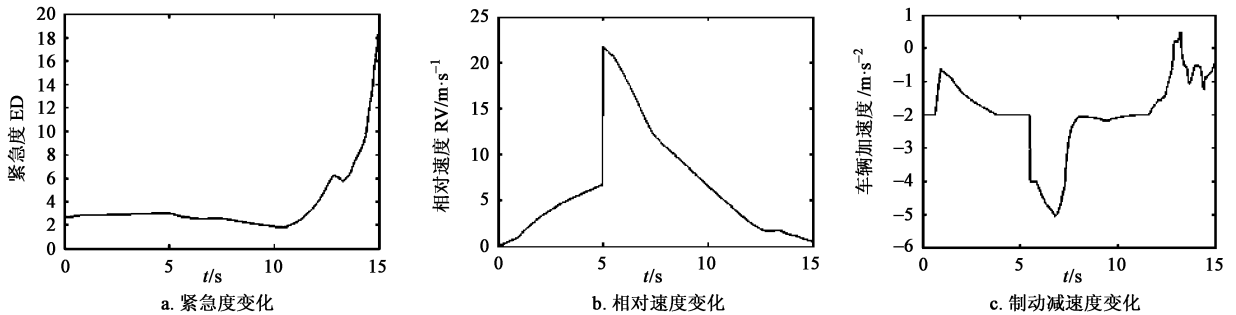


图 5 驾驶员制动减速度随 ED 和 RV 的变化 ($K=0.8$ ，前车制动减速度为 -3 m/s^2)

Fig.5 The relationship between deceleration and ED, RV with the front car's deceleration is -3 m/s^2 ($K=0.8$)

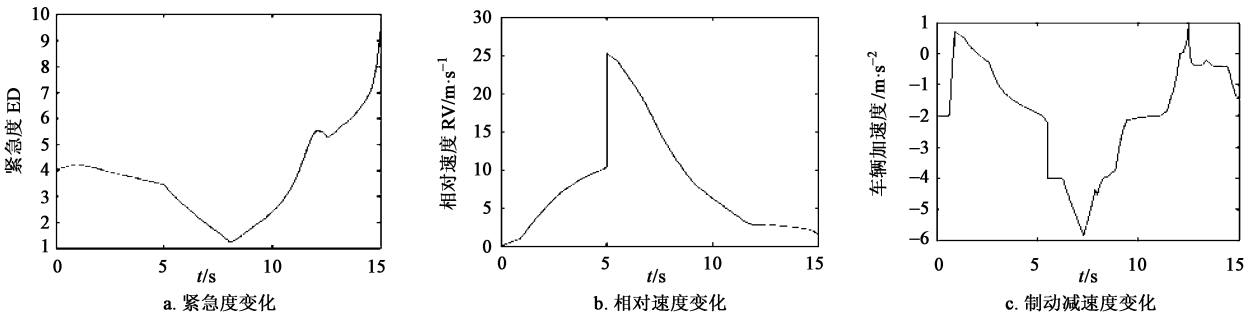


图 6 驾驶员制动减速度随 ED 和 RV 的变化 ($K=1.2$ ，前车制动减速度为 -3 m/s^2)

Fig.6 The relationship between deceleration and ED, RV with the front car's deceleration is -3 m/s^2 ($K=1.2$)

图 7 为制动减速度为 -6 m/s^2 ，驾驶员倾向性影响系数 $K=0.8$ 时驾驶员制动减速度的变化。分析图 7 可知，前车以初速度 30 m/s，制动减速度 6 m/s^2 的制动时，后车开始以大约 -2 m/s^2 制动，在

5~6 s 时制动减速度达到 $-5 \sim -6 \text{ m/s}^2$ 。两车的相对速度在 5 s 时达到最大，在 11~12 s 时相对速度为 0，表明后车已经完全停止运动。

对比分析图 5、图 7 可以得出，制动减速度为

-6 m/s^2 比 -3 m/s^2 引发的紧急度大。情况紧急时后车停车所需的时间通常比情况不太紧急时短 3~4 s, 施加最大制动减速度的时间提前 1~2 s。这与

驾驶员实际操作情况相吻合。驾驶员遇到突发事件越紧急, 通常会更快地施加制动减速度, 车辆停止所需的时间相对要短。

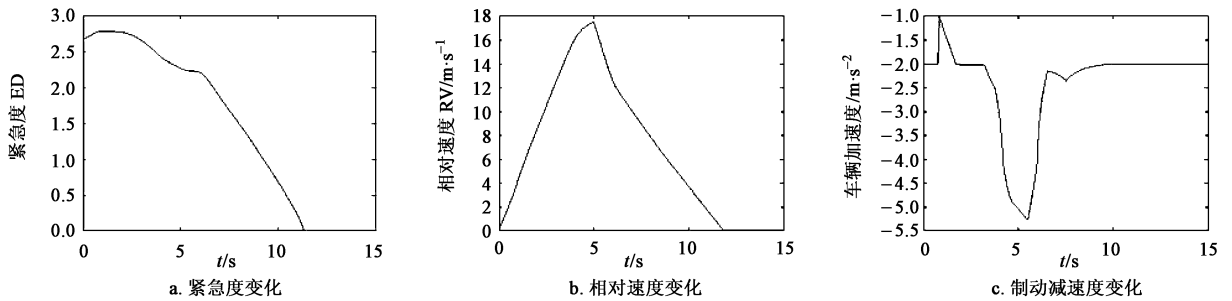


图 7 驾驶员制动减速度随 ED 和 RV 的变化 ($K=0.8$, 前车制动减速度为 -6 m/s^2)

Fig.7 The relationship between deceleration and ED, RV with the front car's deceleration is -6 m/s^2 ($K=0.8$)

4 结语

对车辆紧急行驶过程中的驾驶行为做了简要分析, 指出驾驶行为具有不确定性, 这种不确定性可以用模糊推理理论进行研究; 提出了与相对距离、车速和驾驶员基本特征紧密相关的车辆行驶中紧急度概念, 对车辆紧急行驶的制动减速度提出了模糊控制算法, 并进行了仿真运算。实验结果表明, 前车以初速度 30 m/s , 制动减速度 -3 m/s^2 制动时, 后车以大约 -2 m/s^2 开始制动, 在 7 s 时制动减速度达到最大; 后车以制动减速度 -6 m/s^2 制动, 在 5~6 s 时, 制动减速度达到最大, 说明情况越紧急, 驾驶员会越快地采用最大制动减速度 ($-5 \sim -6 \text{ m/s}^2$)。实验结果还表明, 驾驶员基本特征对制动操作的影响也很明显: 谨慎型驾驶员的制动操

作比较平缓, 鲁莽型驾驶员的制动操作变化比较剧烈; 经验丰富的驾驶员制动操作比较平缓, 经验不足的驾驶员制动操作变化比较剧烈。实验结果说明, 在不同的车辆行驶中紧急度下, 通过模糊控制后车的制动减速度, 能实现后车的安全停车。

参考文献

- [1] Simonsson S O. Car following as a tool in road traffic simulation [A]. IEE Vehicle Navigation & Information System Conference [C]. Ottawa—VNIS'93
- [2] Hogema J, van der Horst R. Intelligent speed adaptation: a new perspective [EB/OL]. <http://www.nationaacademics.org/trb>
- [3] 何平, 王鸿绪. 模糊控制器的设计及应用 [M]. 北京: 科学出版社, 1997
- [4] 闻新, 周露, 李东江, 等. MATLAB 模糊逻辑工具箱的分析与应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2001

Fuzzy Control on Vehicle Motion Based on Subjective-objective Judgment of Driving Tenseness

Chen Xuemei, Gao Li

(College of Mechanical and Vehicular Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

[Abstract] It is very important whether a driver can give correct decision and precise operation in emergency. So, it is necessary to judge the emergency degree of environment and provide control algorithm of vehicle motion for ensuring the lives and properties' safety. The emergency degree is firstly given based on relative distance, velocity and drivers' characteristics. Then the control algorithm of vehicle motion based on fuzzy logic is established and is simulated with Simulink. The results show that the higher the emergency degree, the bigger the maximum deceleration is used to control the vehicle. The results also show that the drivers' characteristics have obvious effect on the braking operation. The fuzzy logic is valid to control vehicle's deceleration.

[Key words] driver behavior; emergency; fuzzy logic; safety