

简化路况模式下驾驶员情绪模型的研究

解 仑^{1,2} 王志良^{1,2} 任冬淳³ 滕少冬^{1,2}

摘要 驾驶辅助系统中的驾驶员模型较为单一,没有考虑驾驶员的情绪状态对驾驶策略的影响.为此,本文研究了简化路况下驾驶员的情绪模型.基于 OCC (Ortony-clore-collins) 模型、情绪状态自发转移过程的马尔科夫模型和情绪状态刺激转移的隐马尔科夫模型 (Hidden Markov model, HMM), 本文提出路况变化和无路况两种情况下的情绪模型,并对驾驶员的跟驰、切换车道和超车过程中的情绪变化进行了研究.在自发转移过程中,结合情绪实时变化的特性,提出了时变的自发转移过程,而在情绪刺激转移中,考虑了情感对刺激的记忆效应,即同种刺激先后对情感影响不同.讨论了认知情感的变化对驾驶策略的影响.针对车距、路宽和周围车辆车速对驾驶员的情感影响程度、刺激敏感程度以及特定事件对驾驶员的影响过程,进行了仿真实验,预估出驾驶员在特定事件刺激下会采取何种驾驶策略.并进行了实测数据验证,实验结果验证了所提出模型的有效性,为驾驶辅助系统中建立驾驶员模型提供了有借鉴意义的基础理论.

关键词 驾驶员模型,情感自发转移,情感刺激转移,隐马尔科夫模型

DOI 10.3724/SP.J.1004.2010.01732

Research of Driver Emotion Model under Simplified Traffic Condition

XIE Lun^{1,2} WANG Zhi-Liang^{1,2} REN Dong-Chun³ TENG Shao-Dong^{1,2}

Abstract The current driver models in driver assistance systems are usually simple, which do not consider the influence of drivers' emotions on driving strategies. In order to address this issue, in this paper, we study the driver emotion model under simplified traffic conditions. Based on the OCC (Ortony-clore-collins) emotion model, the Markov model of the self-transition process of emotion states, and the hidden Markov model (HMM) of the transition of stimulation on emotion states, we propose two driver emotion models with varying road conditions and with unvarying road conditions, respectively, and we study the varieties of driver emotion during car following, lane switching and overtaking. For the self-transition process, we propose a time-varying self-transition process by taking the real-time varying characteristic of emotion into account; for the transition of stimulation on emotion states, we consider the memory influence of stimulation on emotion, i.e., the same stimulation but with different action time would have different influence on emotion. Meanwhile, we also discuss the influence of varying cognitive emotion on driving strategies. Simulation experiments are conducted on the following aspects: the influences of distance, lane width, and speeds of nearby vehicles on drivers' emotion, the sensitivity to stimulation, and the influence of specific event. The simulations predict what strategy the driver will take under the stimulation of specific event, and the predictions are then verified with real-world data. Experimental results demonstrate the effectiveness of the proposed model. The work proposed in this paper can provide a meaningful theory for building driver models in driver assistance systems.

Key words Driver model, the self-transition process of emotion, the transition of stimulation on emotion, hidden Markov model (HMM)

收稿日期 2010-02-02 录用日期 2010-05-13
Manuscript received February 2, 2010; accepted May 13, 2010
国家高技术研究发展计划 (863 计划) (2007AA04Z228, 2007AA04Z218), 国家自然科学基金 (90820007), 国家杰出青年基金 (60725310), 北京市重点学科建设项目 (XK100080537), 中央高校基本科研业务费专项资金项目 (FRF-BR-09-023B) 资助

Supported by National High Technology Research and Development Program of China (863 Program) (2007AA04Z228, 2007AA04Z218), National Natural Science Foundation of China (90820007), Outstanding Youth Fund of the National Natural Science Foundation of China (60725310), Beijing Key Discipline Development Program (XK100080537), and Fundamental Research Funds for the Central Universities (FRF-BR-09-023B)

1. 北京科技大学信息工程学院 北京 100083 2. 北京科技大学钢铁流程先进控制教育部重点实验室 北京 100083 3. 中国科学院自动化研究所 北京 100190

1. School of Information Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083 2. Key Laboratory for Advanced Control of Iron and Steel Process (Ministry of Ed-

ucation), University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083 3. Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190

驾驶员面临的信息复杂多样,需要考虑的因素很多,难于准确及时地把握信息做出决策^[1].因此人们从实用、安全的角度提出了安全辅助驾驶系统,辅助驾驶员完成这些任务.

对于驾驶员模型的研究较早,文献 [2] 提出了驾驶员控制行为统一决策模型.文献 [3] 对辅助驾驶员操纵系统中信息融合算法进行了研究,可以辅助驾驶员做出最佳的操纵决策,作为驾驶员的智能助手,减轻驾驶员的负担.文献 [4] 综述了汽车安全辅助驾驶支持系统信息感知技术,与汽车安全辅助驾驶系统相关的信息感知技术研究主要有:车辆状况检测、

驾驶员面临的信息复杂多样,需要考虑的因素很多,难于准确及时地把握信息做出决策^[1].因此人们从实用、安全的角度提出了安全辅助驾驶系统,辅助驾驶员完成这些任务.

交通环境的检测、非常规条件下驾驶员视觉增强和对驾驶员的检测等. 文献 [5] 使用全局演化局部寻优的辨识算法, 对驾驶员模型进行参数辨识. 通过大量的实际驾驶人员的试验数据, 辨识出各种水平的驾驶员模型参数. 目前一些驾驶辅助系统能够以自适应方式运行, 但是驾驶员的类型是多种多样的, 有各自偏好的驾驶方式和不同的个人习惯. 因此, 只通过自适应的方法调整系统中的参数来实现人-车-环境的和谐交互是不够的. 对于同一个驾驶员来说, 驾驶方式也是变化的. 这种变化最大程度来自于情绪的变化, 而符合驾驶员情感状态和相应做出的自适应调整对驾驶行为具有很大的影响^[6-7]. 所以驾驶员辅助系统中驾驶员模型的建立要考虑情感因素的影响.

在国内外的研究中将情感建模应用在驾驶中的文章很少. Reichardt^[6] 建立了一个驾驶驱动模型, 将它用于自适应驾驶辅助系统, 但该模型并没有考虑驾驶员的驾驶习惯. 同样, Leng 等^[8-9] 从生理参数监测方向来研究分类情感, 其认知情感的变化对驾驶策略的影响却忽略未提. 余蜡生等^[10] 将 Agent 和情感计算进行建模, 从生理和认知方面来解决网络拥塞问题, 他们同样没有考虑驾驶员的习惯问题. 本文针对驾驶员习惯模型, 提出自适应调整的方法.

本文将 OCC (Ortony-clore-collins) 情感模型与情绪状态刺激转移的隐马尔科夫模型 (Hidden Markov model, HMM) 相结合, 并考虑刺激后情感的记忆效应, 作为路况变化时驾驶员的情感模型, 在情绪状态自发转移过程中, 结合情绪实时变化的特性, 提出了时变的情感转移矩阵的马尔科夫模型作为无路况时的情感模型. 本文首先对该情感模型软件化, 并将其与驾驶员模型相结合. 针对高速路上驾驶行为中的跟驰、切换车道和超车行为, 研究其中的情感因素的变化过程, 并在此基础上, 讨论情感的改变对驾驶行为的影响. 最后进行仿真实验和验证实验, 利用实测数据的结果表明所提出模型的有效性.

1 驾驶员情感模型

通过把情感因素与驾驶员模型相结合, 针对高速公路上的跟驰、换道、超车行为, 研究其中体现的驾驶员情感变化以及对驾驶员行为决策的影响. 首先, 基于本研究小组的前期工作^[11], 介绍 OCC 模型以及在驾驶行为过程应用中所使用的情感状态自发转移过程的马尔科夫模型和情感状态刺激转移的 HMM 模型. 其次, 将 OCC 情感模型与情感状态刺激转移的 HMM 模型相结合, 并且考虑记忆效应 (即同一刺激先后刺激对情感作用不同), 以此作为路况变化时驾驶员的情感模型; 利用马尔科夫模型对情感状态自发转移随时间的变化进行描述, 以此作为

无路况时的情感模型. 本文的重点是通过分析交通驾驶中的事件, 同时考虑到上述三种模型的优点与不足, 把三种情感模型纳入到驾驶员模型中, 并加以软件化.

1.1 情感模型

1.1.1 基本情感模型

情感模型的研究目的是使计算机拥有情感, 使计算机具有像人一样的观察、理解和生成各种情感特征的能力. 基于认知结构和推理过程的方法^[12-13] 和模拟情感产生的生理过程的方法^[14-16] 是当前模拟情感的两种主要方法.

基于情感认知结构的 OCC 情感模型^[12] 认为人类主要通过三种方式感受世界, 即事件、主体、对象, 通过对客观世界中事件结果的满意与否, 主体的赞成与否以及对象的喜欢与否来反映客观世界, 并据此归纳出人类 22 种基本情感的树状结构. 同时, OCC 模型首次提出情感的计算模型. 以高兴情感为例, $D(p, e, t)$ 表示人物 p 在时刻 t 对事件 e 的反应情况. 由于在 OCC 模型中, 22 种情感都是成对出现的, $D(p, e, t) > 0$ 是引发高兴情感的基本条件, 相反地, $D(p, e, t) < 0$ 是引发痛苦情感的基本条件 (高兴和痛苦为 OCC 模型 22 种情感中的一对情感); $P(p, e, t)$ 表示一种高兴的潜力; $I(p, e, t)$ 表示全局强度变量; $T(p, t)$ 表示阈值函数; $F(\cdot, \cdot)$ 表示高兴的影响函数; $J(p, e, t)$ 表示高兴强度. 如果 $D(p, e, t) > 0$, 那么 $P(p, e, t) = F(D(p, e, t), I(p, e, t))$; 如果 $P(p, e, t) > T(p, t)$, 那么 $J(p, e, t) = P(p, e, t) - T(p, t)$, 否则 $J(p, e, t) = 0$. 通过上述规则, 可计算高兴情感及其强度, 类似的规则可用于计算其他情感.

HMM 模型^[13] 可以很好地描绘情感状态之间的相互转移, 并可用转移概率准确描述, 可以根据观察序列, 得到状态序列的最大概率, 从而描述各种情感状态. Sloman 等认为大脑中存在三层结构, 提出 CogAFF 情感模型^[14-15], 该模型实现了一个分层的情感系统, 使得系统可以在不同层次上产生不同的情感. Velasquez 等认为情感的产生和变化不应该依靠单一机制, 提出了 Cathexis 情感模型^[16]. 该模型描述了一个由四个系统组成的情感模型, 而且在基于认知信息系统的同时, 加入了非认知的信息系统, 这种多系统的模型方法更有利于准确描述情感的产生和变化.

OCC 情感模型提出了情感的计算模型, 可以量化各种情感的强度. 情感之间的相互转化以及情感强弱的变化可以通过马尔科夫的概率模型来描述. 但是, 情感往往很难测量, 特别是在刺激下情感如何变化很难确定, HMM 模型巧妙地模拟情感之间的

相互转化, 并且以刺激作为观察序列, 可以计算出情感状态序列的最大概率值, 从而确定情感状态.

1.1.2 马尔科夫模型与隐马尔科夫模型

在概率空间的基础上, 把情感变化过程看成一个随机过程, 结合如下模型假设:

1) 人的情感可以由若干种基本情感组成的向量描述.

2) 当前时刻情感仅与上一时刻情感和刺激有关, 与之前情感不直接相关.

3) 情感状态是可以相互转移的, 在没有刺激的情况下, 情感转移到自身情感的概率大于转移到其他情感的概率.

4) 情感在没有刺激下会逐渐趋向平静.

5) 情感对刺激有记忆效应, 即同一种刺激先后刺激对情感的影响不同.

a) 情感状态自发转移过程的马尔可夫模型与算法

在概率空间考虑情绪的自发转移过程, 并结合假设 2, 可以根据马尔科夫的基本理论来描述情感的自发转移过程. $\mathbf{x}(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_N(t)]^T$ 表示时刻 t 情绪状态概率分布向量, 其中 $x_k(t)$ 表示时刻 t 第 k 种情感强度 ($k = 1, 2, \dots, N$), $\mathbf{x}(t_0) = [x_1(t_0), x_2(t_0), \dots, x_N(t_0)]^T$ 表示初始时刻情绪状态概率分布向量, $\mathbf{x}(t+1) = [x_1(t+1), x_2(t+1), \dots, x_N(t+1)]^T$ 表示 $t+1$ 时刻情绪状态概率分布向量, 利用马尔科夫模型模拟情感.

$$P(\mathbf{x}(t+1)|\mathbf{x}(t_0), \mathbf{x}(t_0+1), \dots, \mathbf{x}(t)) = P(\mathbf{x}(t+1)|\mathbf{x}(t)) \tag{1}$$

其中, $\mathbf{x}(t+1)$ 的取值只与 $\mathbf{x}(t)$ 的取值和 $P(\mathbf{x}(t+1)|\mathbf{x}(t))$ 有关.

结合假设 3, 考虑不同情感之间的转移概率. 记时刻 t 第 j 种情感强度为 $x_j(t)$, $t+1$ 时刻第 i 种情感强度为 $x_i(t+1)$, $P(x_i(t+1)|x_j(t)) = a_{ij}$, 于是引入情感状态概率转移矩阵 A , 用于描述情感之间相互转移的概率. 根据假设 4, 情感在没有刺激下会逐

渐趋于平静, 并且趋于平静的速度不是简单线性的, 其中状态转移阵 A 应当是一个时变的矩阵, 并且能使情感在变化 $\mathbf{x}(t+1) = A(t) \cdot \mathbf{x}(t)$ 后逐渐趋向稳定. $A(t)$ 表示时刻 t 情感状态概率转移矩阵. 对于每种情感, 其转移到各种情感 (其他情感和自身情感) 的概率和必为 1. 由于各种情感转移到自身的概率总是较大, 故平静状态就相当于转移到自身情感概率降低, 转移到其他情感概率增加. 并且其转移到同种情感的概率有下限, 下限设为 c_i ($i = 1, 2, \dots, N$). 情感趋向稳定是逐渐稳定的, 可以用指数函数模拟这一特性, 并用 λ_i ($i = 1, 2, \dots, N$) 描述其衰减度, 于是得到情感概率转移矩阵 A 的计算公式 (见本页下方):

于是情感状态自发转移有:

$$\mathbf{x}(t+1) = A(t) \cdot \mathbf{x}(t) \tag{2}$$

b) 情感状态刺激转移过程的 HMM 模型与算法

HMM 是一个双重随机过程, 分为两个组成部分. 马尔科夫链用于描述状态的转移, 用转移概率描述. 一般随机过程用于描述状态与观察序列间的关系, 用观察值概率描述. HMM 用 $\lambda = (N, M, \pi, A, B)$ 来表示. 其中, N 为状态数目; M 为每个状态可能的观察值数目; A 为状态转移矩阵; B 为给定状态下, 观察值概率分布; π 为初始状态空间的概率分布, 用 $(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_N)$ 来表示各个状态的初始概率分布.

在情感模型中, $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ 表示情感状态, 外界刺激可以用 HMM 中的观察值来描述 $V = \{V_1, V_2, \dots, V_M\}$, 外界刺激对情感的影响用情感刺激矩阵来描述. 由于存在记忆效应, 人们在二次接受同样刺激时, 该刺激对情感的影响会减弱. 用 ∂ ($0 < \partial < 1$) 表示记忆效应, ∂ 越大表示记忆效果越小, 同样刺激再次发生对情感影响越大, ∂ 越小表示记忆效果越大, 同样刺激再次发生对情感影响越小, 于是在接受 V_i 刺激后, 会产生 $M \times M$ 的记忆矩阵:

$$A(t) = \{a_{ij}(t)\}_{N \times N} =$$

$$\begin{bmatrix} (a_{11}^{t_0} - c_1)e^{-\lambda_1(t-t_0)} + c_1 & a_{12}^{t_0} + \frac{(a_{11}^{t_0} - c_1)(1 - e^{-\lambda_1(t-t_0)})}{N-1} & \dots & a_{1N}^{t_0} + \frac{(a_{11}^{t_0} - c_1)(1 - e^{-\lambda_1(t-t_0)})}{N-1} \\ a_{21}^{t_0} + \frac{(a_{22}^{t_0} - c_2)(1 - e^{-\lambda_2(t-t_0)})}{N-1} & (a_{22}^{t_0} - c_2)e^{-\lambda_2(t-t_0)} + c_2 & \dots & a_{2N}^{t_0} + \frac{(a_{22}^{t_0} - c_2)(1 - e^{-\lambda_2(t-t_0)})}{N-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{N1}^{t_0} + \frac{(a_{NN}^{t_0} - c_N)(1 - e^{-\lambda_N(t-t_0)})}{N-1} & a_{N2}^{t_0} + \frac{(a_{NN}^{t_0} - c_N)(1 - e^{-\lambda_N(t-t_0)})}{N-1} & \dots & (a_{NN}^{t_0} - c_N)e^{-\lambda_N(t-t_0)} + c_N \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & \frac{1-\partial}{M-1} & & & \\ & 1 & \frac{1-\partial}{M-1} & & \\ & & \partial & & \\ & & \vdots & \ddots & \\ & & & & \frac{1-\partial}{M-1} & 1 \end{bmatrix}$$

该矩阵对角线上第 i 项为 ∂ , 其余各项为 1, 且第 i 行除对角线上为 ∂ , 其余各项为 $\frac{1-\partial}{M-1}$.

在带有记忆效应的 V_i 刺激后, 可以得到刺激对情感的影响的情感刺激矩阵 B 的计算公式 (见本页下方):

在矩阵 B 中 $b_j(V_k)$ 表示第 k 种刺激下第 j 种情感产生的概率. 由于对于任意一种情感, 只能是在 $V_1V_2 \cdots V_M$ 的刺激下产生的, 故有

$$\sum_{k=1}^M b_j(V_k) = 1, \quad j = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

当加入记忆模块之后, 仍能保证满足式 (3).

人的情感是不能被观察到的, 而刺激是可以被观察到的, 通过构建 HMM 模型, 将一系列刺激作为观察序列, 然后确定一个情感状态序列, 使刺激序列在该状态序列中的概率最大, 即 $P(\text{观察的刺激序列} | \text{实际情感状态序列})$ 最大. 从而, 将人在受刺激时的情感状态描述出来.

对于一组刺激 $O^1O^2 \cdots O^p$, 其中 $O^i \in \{V_1, V_2, \dots, V_M\}$, $i = 1, 2 \cdots p$.

$\delta_t(i)$ 表示在刺激序列 $O^1O^2 \cdots O^p$ 下时刻 t 以状态 x_i 结束的所有情感序列的最大概率值.

$$\delta_t(i) = \begin{cases} \pi(i)b_i(O^1), & t = 1 \\ [\max_k \delta_{t-1}(k)a_{ki}] \cdot b_i(O^t), & t > 1 \end{cases} \quad (4)$$

$$\psi_t(i) = \arg \max_k [\delta_{t-1}(k)a_{ki}] \quad (5)$$

π_i 表示初始情感 x_i 的概率, a_{ki} 为情感状态转移矩阵 $A(t)$ 中的第 k 行第 i 列的项, $\psi_t(i)$ 计算对所有的 k 使 $\delta_{t-1}(k)a_{ki}$ 最大的 i , 用于记录时刻 t 与刺激序列相应的情感序列. 于是对上述刺激序列 $O^1O^2 \cdots O^p$, 令 $P^* = \max_i \delta_p(i)$, $i = 1, 2, \dots, N$, 表示当 $i = 1, 2, \dots, N$ 时, $\delta_p(i)$ 的最大值, 此时的 x_i 即为情感状态在 p 时对应刺激的最大可能状态. 根据式 (4) 和 (5) 便可得到 t ($1 \leq t \leq p$) 时刻的情绪状态, 因此可知在刺激序列 $O^1O^2 \cdots O^p$ 下的情感状态序列 $x'_1x'_2 \cdots x'_p$, 以及该序列的概率值 P^* . 其中 $x'_i \in \{x_1, x_2 \cdots, x_N\}$, $i = 1, 2, \dots, p$.

1.2 融合情感状态变化的驾驶员模型

驾驶员模型^[17] 是驾驶员辅助系统的一部分. 尽管现有的系统包括一些自适应调节机制, 但由于这种差异是来自用户本身的, 所以很难用某些参数自适应调整方法来完成对系统参数的合理化设置. 实验证明, 一个积极的情感状态能在非驾驶情况下产生较好的绩效改善^[18-20].

由于驾驶员不同的驾驶方式与其当时的情绪相关^[21-23]. 本节拟把上述的情感模型与驾驶员模型相结合, 其结构如图 1 所示.

$$B = \{b_j(V_k)\}_{M \times N} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1-\partial}{M-1} & & & \\ & 1 & \frac{1-\partial}{M-1} & & \\ & & \partial & & \\ & & \vdots & \ddots & \\ & & & & \frac{1-\partial}{M-1} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1(V_1) & b_2(V_1) & \dots & b_N(V_1) \\ b_1(V_2) & b_2(V_2) & \dots & b_N(V_2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_1(V_M) & b_2(V_M) & \dots & b_N(V_M) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1(V_1) + \frac{1-\partial}{M-1}b_1(V_i) & b_2(V_1) + \frac{1-\partial}{M-1}b_2(V_i) & \dots & b_N(V_1) + \frac{1-\partial}{M-1}b_N(V_i) \\ b_1(V_2) + \frac{1-\partial}{M-1}b_1(V_i) & b_2(V_2) + \frac{1-\partial}{M-1}b_2(V_i) & \dots & b_N(V_2) + \frac{1-\partial}{M-1}b_N(V_i) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \partial b_1(V_i) & \partial b_2(V_i) & \dots & \partial b_N(V_i) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_1(V_M) + \frac{1-\partial}{M-1}b_1(V_i) & b_2(V_M) + \frac{1-\partial}{M-1}b_2(V_i) & \dots & b_N(V_M) + \frac{1-\partial}{M-1}b_N(V_i) \end{bmatrix} \quad (6)$$

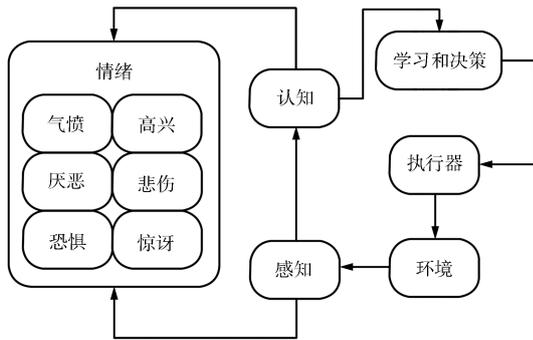


图 1 嵌入情感的驾驶员模型

Fig. 1 Emotion embedded driver model

1.2.1 交通事件

我们定义交通事件是能够引起驾驶员情绪变化的特定事件, 相应于上述情感模型中的外界刺激。

在本节中, 假设高速公路上的交通事件包括: 1) 一般交通堵塞; 2) 交通事故引起的大堵塞; 3) 行驶车道的切换; 4) 超车; 5) 跟驰运动; 6) 其他驾驶员的危险行为。

驾驶员一般依照情况的危险程度来改变驾驶策略, 因此, 我们首先将 OCC 模型的输出归为 6 种基本情绪^[24-25], 然后根据交通中特定事件是否能给驾驶员带来危险, 把刺激事件分为以下 6 种: 1) 高兴类型的刺激事件: 当其他驾驶员的驾驶行为不会使其置于危险环境中时, 相应的事件定义为高兴类型的刺激事件, 如没有一般交通堵塞和交通事故引起的大堵塞; 2) 愤怒类型的刺激事件: 使驾驶员行车不够顺利的外界客观因素定义为愤怒类型的刺激事件, 如其他驾驶员的危险行为; 3) 恐惧类型的刺激事件: 当驾驶员感知到路况存在危险时, 所引发的事件定义为恐惧类型的刺激事件, 如行驶车道的切换、超车和跟驰运动的变化^[26]; 4) 厌恶类型的刺激事件: 令人厌烦的交通路况, 如交通事故引起的大堵塞; 5) 惊讶类型的刺激事件; 6) 悲伤类型的刺激事件。

在定义了 6 种基本刺激事件后, 结合第 1.1 节建立的情绪状态自发转移模型和情绪状态刺激转移模型, 从而预估出驾驶员在交通事件刺激下所采取的驾驶策略, 驾驶员辅助系统采用此决策结果辅助实际驾驶员合理的操控汽车。

1.2.2 驾驶员情感模型

汽车驾驶是一个复杂的过程, 驾驶员的精神需要始终集中在行车信息上, 才可以迅速、及时、准确地获得行车过程中的各种交通信息, 并采取正确的驾驶操作, 保证行车安全。由于受到外界的环境需要和外部动机的影响, 驾驶员分配到各个目标上的注意力是不同的。通常, 分配于驾驶任务的注意力取决于环境。当环境较为复杂需要增加注意力时, 驾驶人

分配的驾驶任务的注意力也相应增加; 反之, 当环境注意力需要减少时, 分配的注意力也减少。由于一种情感强度的增加, 会使得其他情感强度值有所降低, 对于一种情感的研究, 其变化过程也同时反映了其他情感的变化。因此, 本文中仅针对恐惧情绪, 对高速公路上汽车的跟驰运动、行驶车道的切换和超车行为进行建模, 并研究与之相关的注意力影响因素。下面分别加以详述。

1) 跟驰运动中的情感驾驶员模型

在车辆与前车之间的距离小于某个临界值时, 前车就会对后面的汽车产生影响, 使司机无法按照自己期望的速度驾驶汽车, 只能与前车之间保持一定距离, 随着前车的速度行驶, 这样车辆就由自由行驶状态转变为跟驰状态。

假设公路无路口、无弯道, 在同一车道同向行驶三辆汽车 Car1、Car2 和 Car3。从行驶方向看, Car1 在前, Car2 在中, Car3 在后, Car2 车装有融合情感驾驶员模型的驾驶员辅助系统, 并且三车处于跟驰运动状态, 如图 2 所示。

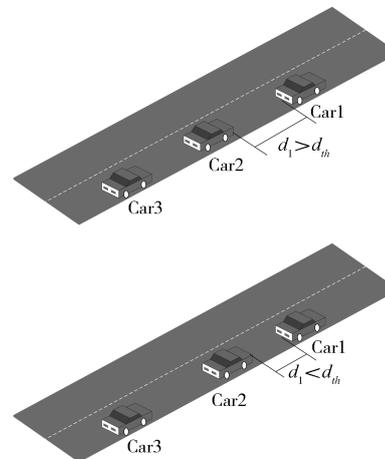


图 2 跟驰运动

Fig. 2 Following-movement

Car1 的车速为 V_{Car1} , Car2 的车速为 V_{Car2} , Car3 的车速为 V_{Car3} 。三车跟驰运动时, Car1 和 Car2 车距为 d_1 。根据经验, 当后车行驶到与前车小于某一距离阈值 d_{th} 时, 驾驶员会感到处于极度危险之中, 恐惧值会达到最大, 此阈值是一个与驾驶员经验有关的量。本文假设驾龄的长短反映了驾驶员经验的多少, 设驾驶员驾龄为 Y , 因此, $d_{th} = f(Y)$ 。情感驾驶员模型是在已有驾驶员模型中考虑情感因素, 任何驾驶员都有先天的情感性格倾向, 即: 悲观型或者乐观型、谨慎型或者轻率型等。在实际道路驾驶时, 这种情感性格倾向会对驾驶员的决策产生较大影响。例如: 相比于轻率型的驾驶员, 谨慎型的驾驶员, 在汽车跟驰过程中, 对车距的变化是

较为敏感的, 当车距减小时, 其恐惧程度要提高很多. 结合第 1.1 节的情感模型, 情感性格倾向性体现在 $\pi, \partial, c_i, \lambda_i$ 的选取上. Car2 在 Car1 和 Car3 之间, Car2 的运动必然受到周围车辆车速的影响. 以 Car1 和 Car2 为例, 说明车速的约束关系. 为避免 Car2 追尾, 可得

$$V_{\text{Car1}} \cdot t + d_1 > \max \left(V_{\text{Car2}} \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \right) \Rightarrow$$

$$V_{\text{Car1}} \cdot t + d_1 > V_{\text{Car2}} \cdot t \Rightarrow$$

$$\frac{V_{\text{Car1}} \cdot t + d_1}{t} > V_{\text{Car2}} \Rightarrow V_{\text{Car1}} + \frac{d_1}{t} > V_{\text{Car2}}$$

$$\min \left(V_{\text{Car1}} + \frac{d_1}{t} \right) = \lim_{t \rightarrow \infty} \left(V_{\text{Car1}} + \frac{d_1}{t} \right) = V_{\text{Car1}}$$

$$V_{\text{Car1}} > V_{\text{Car2}}$$

即, Car2 的速度上限 $V_{\text{Car2 max}}$ 是 Car1 的速度. 同理, $V_{\text{Car2}} > V_{\text{Car3}}$, Car2 的速度下限 $V_{\text{Car2 min}}$ 是 Car3 的速度.

综上可知, 跟驰运动中的情感驾驶员模型与车距 d_1 、驾驶员驾龄 Y 、驾驶员情感性格倾向和周围车辆的车速四个因素有关. 下面我们对跟驰运动建模.

车距作为恐惧情感的刺激事件 V 影响恐惧情感 x_3 .

$$x_3 = \begin{cases} B, & d_1 > d_{th} \\ 1, & d_1 \leq d_{th} \end{cases} \quad (7)$$

其中, B 为式 (6) 中的矩阵.

本文假设当 $d_1 \geq 10 \cdot d_{th}$ 时, 刺激事件强度为 0. 则刺激事件强度 T 的计算如下:

$$T = \left[T_{(x < 1)} - \frac{(d_1 - d_{th}) \cdot T_{(x < 1)}}{9 \cdot d_{th}} \right] \quad (8)$$

其中, $T_{(x < 1)} = \max_T [\{T | x_3 < 1\}]$.

由于只考虑 6 种基本情感, 所以当恐惧情感处于平静状态时, $x_3 = 1/6$, 则得到 Car2 的车速 V_{Car2} 的计算公式 (见下页上方).

2) 行驶车道的切换过程中的情感驾驶员模型

当道路为多车道, 且路况允许切换车道行驶时, 驾驶员会选择换车道驾驶, 而不是始终处于跟驰状态. 假设公路无路口、无弯道, 在同一车道同向行驶两辆汽车 Car1 和 Car2. 从行驶方向看, Car1 在前, Car2 在后, Car2 车装有融合情感驾驶员模型的驾驶员辅助系统的车辆, Car2 准备切换车道, 如图 3 所示.

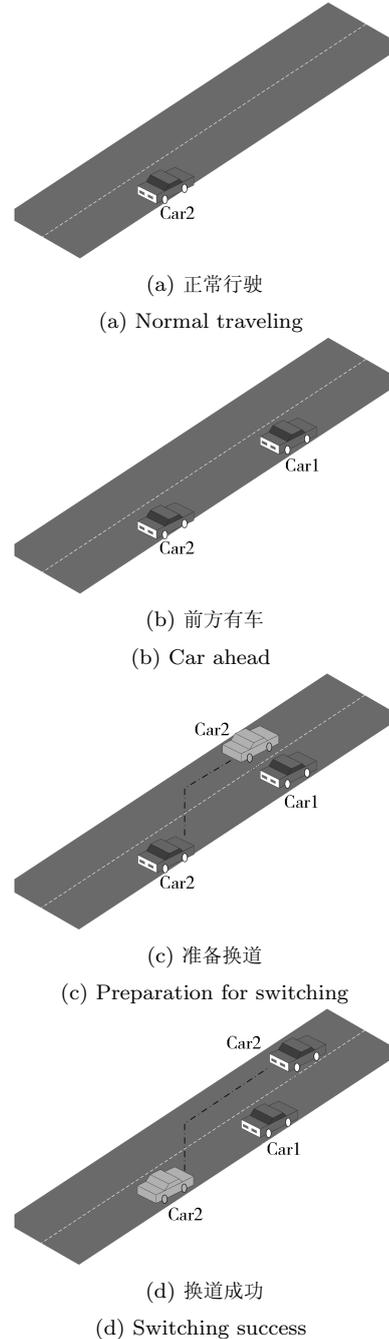


图 3 行驶车道的切换过程

Fig. 3 Switching process on travelling lane

Car1 和 Car2 车距为 d_1 . 根据经验, 当 d_1 过小时, 切换车道会增加驾驶员的危险. 因此 d_1 的大小可作为恐惧类型的刺激事件. 此外, 路宽 w 较小和周围车辆车速 v 过快时, 切换车道都会增加驾驶员的危险. 因此, 本文中, 刺激事件的强度 T 为车距、路宽和周围车辆车速的函数.

$$T = g(d_1, w, v) = \varepsilon \cdot g'(d_1) + \phi \cdot w + \varphi \cdot v \quad (9)$$

其中, $\varepsilon, \phi, \varphi$ 分别表示车距、路宽和周围车辆车速对

$$V_{Car2} = \begin{cases} V_{Car2}, & x_3 \in [0, \frac{1}{6}) \\ V_{Car2 \min} + \frac{6(V_{Car2 \max} - V_{Car2 \min})(1 - x_3)}{5}, & x_3 \in [\frac{1}{6}, 1] \end{cases} = \begin{cases} V_{Car2}, & x_3 \in [0, \frac{1}{6}) \\ V_{Car3} + \frac{6(V_{Car1} - V_{Car3})(1 - x_3)}{5}, & x_3 \in [\frac{1}{6}, 1] \end{cases} \quad (10)$$

驾驶员的情绪影响程度, 取整数值. d_1 对 T 的影响 $g'(d_1)$ 可用式 (8) 计算, w, v 是布尔量, 路宽较小或者周围车辆车速过快时, 取值为 1, 否则取 0.

假设驾驶员的驾龄 Y 长短反映了经验的多少. 富有经验的驾驶员对上述恐惧类型事件的刺激是不够敏感的, 因此第 1.1 节中所建情感状态的刺激转移 HMM 模型中, 刺激记忆效应因子 ∂ 是驾龄的函数, $\partial = h(Y)$. 驾龄越长, ∂ 越小.

3) 超车过程中的情感驾驶员模型

当其驾驶车辆与前车处于一定位置时, 司机根据一定范围内的道路宽度情况, 针对周围车辆的车速、车辆间距等周边环境信息的刺激, 决定是否可以对前方慢车进行超车, 如图 4 所示.

赶超车可以超车时的安全超车范围为

$$S_a : -a \rightarrow -b, \quad a > 0, b > 0, a > b \quad (11)$$

赶超车开始进入非超车车道的安全范围为

$$S'_a : b \rightarrow a, \quad a > 0, b > 0, a > b \quad (12)$$

超车过程与切换车道过程存在相似之处, 驾驶员的情绪变化过程也是类似的. 与车距、路宽、周围车辆车速、驾驶员驾龄和情感性格倾向性等因素有关.

2 实验

2.1 仿真实验

本文只针对行驶车道的切换过程进行仿真, 且只展示了三个维度的情感变化曲线, 其余过程类似.

首先, 对于式 (10), 讨论当车距、路宽和周围车辆车速对驾驶员的情绪影响程度相同时, 本文首先取 $\varepsilon = 1, \phi = 1, \varphi = 1$ 时, 驾驶员情感的变化情况. 由于 w, v 布尔量, 所以出现的刺激事件情况组合就有三种: 1) 道路较宽且周围车辆速度较慢, $w = 0, v = 0$; 2) 道路较宽或周围车辆速度较慢, $w = 0, v = 1$ 或者 $w = 1, v = 0$; 3) 道路较窄且周围车辆速度较

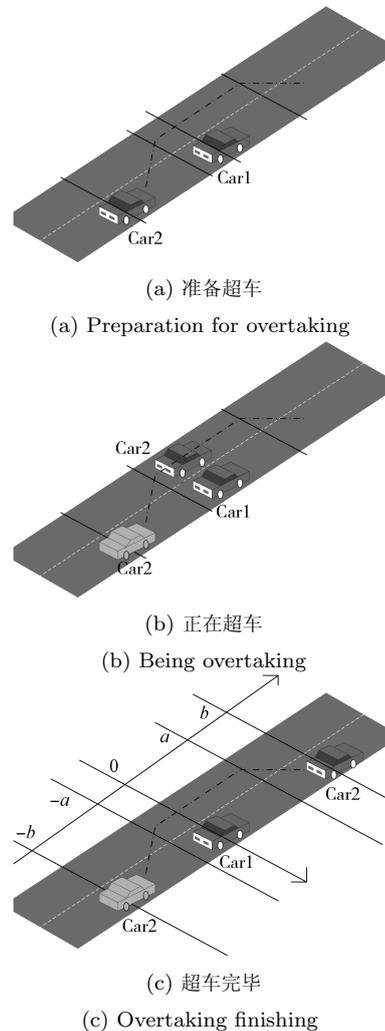


图 4 超车过程

Fig. 4 Overtaking process

快, $w = 1, v = 1$. 在此三种情况组合的刺激下, 驾驶员情感变化曲线如图 5 所示.

图 5 展现了上述三种情况下的驾驶员情感变化过程. 从图中可以看到, 第三种情况: 道路较窄且周围车辆速度较快, $w = 1, v = 1$ 时的刺激较大, 恐惧情绪值也最高, 说明当车距、路宽和周围车辆车速都对切换车道不利时, 对驾驶员的影响是最大的, 驾驶员应采取谨慎的策略切换车道.

其次, 分别讨论注意力只关注于车距、路宽和周

围车辆车速三种情况下, 驾驶员的情绪变化.

1) 注意力只关注于车距, 即: $\varepsilon = 3, \phi = 0, \varphi = 0$. 驾驶员情感变化率曲线如图 6 所示.

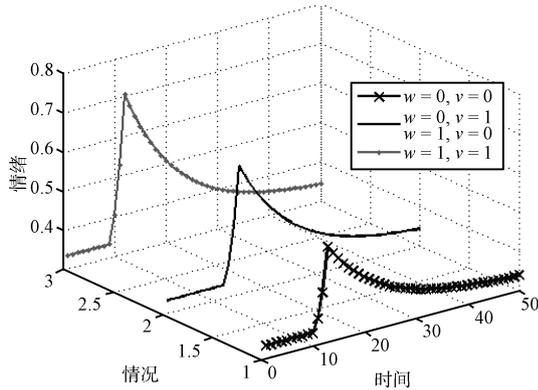


图 5 $\varepsilon = 1, \phi = 1, \varphi = 1$ 时驾驶员情感变化曲线
Fig. 5 Emotional curves of driver, when $\varepsilon = 1, \phi = 1, \varphi = 1$

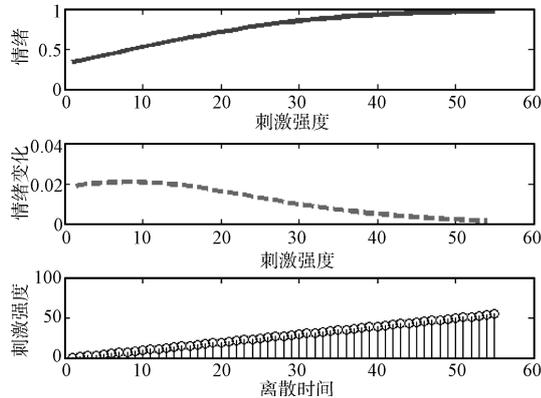


图 6 $\varepsilon = 3, \phi = 0, \varphi = 0$ 时驾驶员情感变化曲线
Fig. 6 Emotional curves of driver, when $\varepsilon = 3, \phi = 10, \varphi = 0$

图 6 展示了 $\varepsilon = 3, \phi = 0, \varphi = 0$ 时的驾驶员的情绪变化. 可以看出, 随着 Car2 与 Car1 的距离不断接近, 刺激事件强度 T 不断增大, 恐惧情感值也随之升高, 但是其增大的变化率却有所减小, 这表明在不断的事件刺激下, 驾驶员变得不够敏感了, 在一定程度上反映了驾驶员的心理情绪的变化.

2) 注意力只关注于路宽车距, 即: $\varepsilon = 0, \phi = 3, \varphi = 0$. 此时的恐惧情感刺激事件为常数, 不随着时间的变化而变化, 如图 7 所示.

3) 注意力只关注于周围车辆车速, 即: $\varepsilon = 0, \phi = 0, \varphi = 3$. 此时的恐惧情感刺激事件为变化值, 随着时间的变化而变化, 反映了周围车辆车速的变化, 如图 8 所示.

再次, 考虑刺激记忆效应因子 θ 变化时, 对恐惧类型事件的刺激的记忆效应. 即: 考虑驾龄的影响.

本文仅讨论 $w = 0, v = 1$ 情况下 θ 变化时, 驾驶员情感在两次相同或相异刺激的变化过程, 仿真结果如图 9 所示.

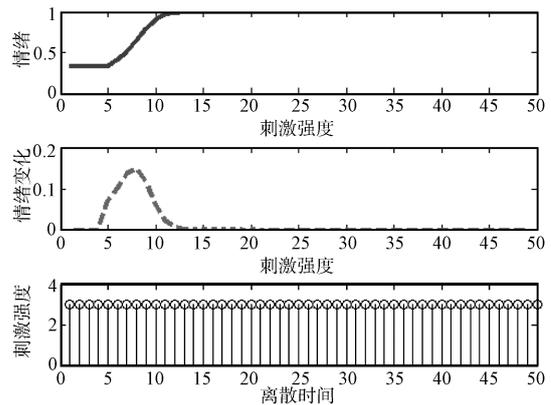


图 7 $\varepsilon = 0, \phi = 3, \varphi = 0$ 时情感与变化率曲线
Fig. 7 The curves of emotion and the rate of charge, when $\varepsilon = 0, \phi = 3, \varphi = 0$

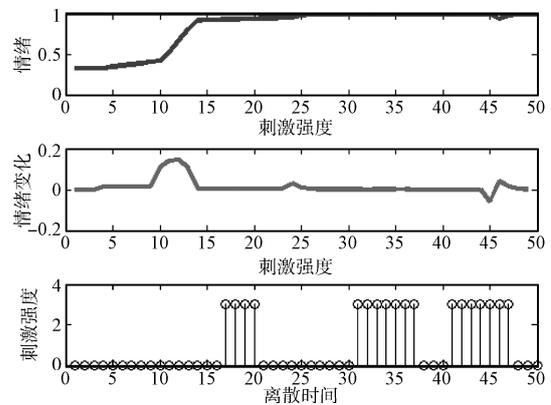


图 8 $\varepsilon = 0, \phi = 0, \varphi = 3$ 时情感与变化率曲线
Fig. 8 The curves of emotion and the rate of charge, when $\varepsilon = 0, \phi = 0, \varphi = 3$

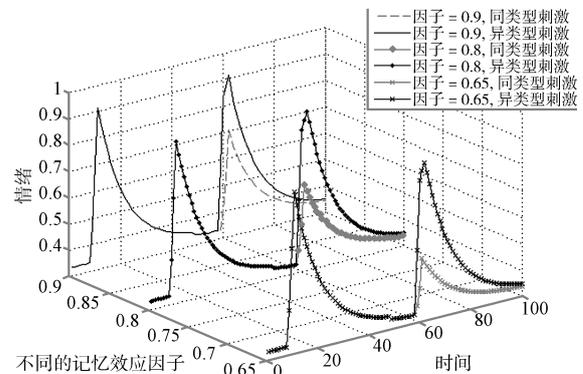


图 9 刺激记忆效应因子变化对驾驶员情感变化的影响
Fig. 9 The influence on driver of stimulating memory factor

图 9 展现了当 θ 不同时, 驾驶员对连续两个相同或相异刺激事件的情绪变化是不同的. 在上述的道路较宽且周围车辆速度较慢, $w = 0, v = 1$ 情况下, θ 的增大导致了驾驶员对事件的记忆效果降低.

最后, 为了展现某种特定事件是否能够对驾驶员的驾驶策略产生影响, 而排除多种事件同时对结果展现造成的干扰, 下面我们基于具有情感的驾驶员模型, 以车距的变化引起驾驶员情绪变化为例对切换车道的整个过程进行仿真.

实验过程: 在一条无路口、无弯道的公路上, 在同一车道同向行驶两辆汽车 Car1 和 Car2. 从行驶方向看, Car1 在前, Car2 在后, 且 Car1 车速慢于 Car2 车, 即: $V_{\text{Car1}} < V_{\text{Car2}}$. Car2 车安装有具有情感的驾驶员模型的驾驶员辅助系统. 驾驶员情绪变化的实验结果如图 10 所示.

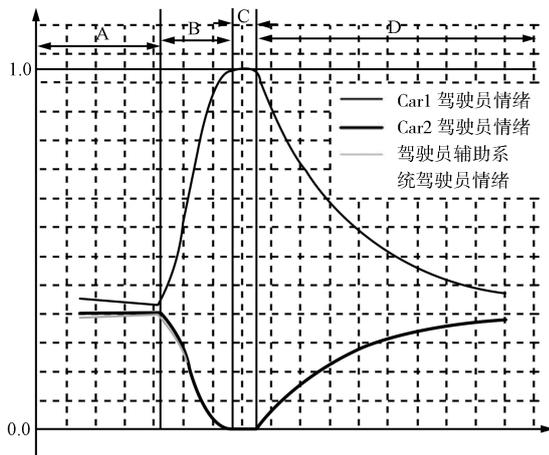


图 10 切换车道整过程中驾驶员的情绪变化

Fig. 10 The driver's emotion changing during the entire switching process

图 10 包括 4 个阶段:

1) 起始阶段 A: 此阶段中, Car2 处于自由行驶中, 前方无车辆阻挡, 驾驶员的情绪平静, 对应图 3(a) 的阶段.

2) 两车逼近阶段 B: 此阶段中, Car2 的驾驶员发现前方车辆 Car1, 由于存在追尾的危险, 驾驶员感到所处环境的危险等级提高, 属于第三类事件—恐惧类型的刺激事件. 由于 $V_{\text{Car1}} < V_{\text{Car2}}$, 两车之间的距离不断缩小, 危险逐渐加大, 因此, 刺激事件的强度也逐渐增大. 对应图 3(b) 的阶段, 驾驶员的恐惧情绪逐渐上升.

3) 车辆跟驰阶段 C: 此阶段中, Car2 与 Car1 间的距离已小于某一阈值, Car2 驾驶员采取跟驰策略, 与 Car1 保持某一距离相对静止的前行. 此时由于车距小于某一阈值, 追尾的危险仍然存在, 因此, 刺激事件的强度最大, 使得驾驶员恐惧情绪达到最

大值 1.0, 对应图 3(c) 的阶段.

4) 换车道行驶阶段 D: 在此阶段开始处, Car2 的驾驶员的恐惧情绪处于最大值, 由于其自身有使自己摆脱危险、降低危险等级的要求, 因此, 驾驶员采用换车道行驶策略. 在改变车道后, 追尾的危险暂时解除, 相应于刺激事件的消失, 因此, 情绪自发转移, 逐渐恢复到平静状态, 对应图 3(d) 的阶段.

本节引入情感的驾驶员模型在车距、路宽和周围车辆车速三个方面对驾驶员的情绪影响程度不同, 分类进行讨论. 首先, 在车距、路宽和周围车辆车速对驾驶员情绪影响程度相同的前提下, 得出道路较窄且周围车辆速度较快时, 驾驶员恐惧情绪值最高, 即对驾驶员的影响最大, 驾驶员应采取谨慎的策略切换车道. 同理, 对其他三种刺激事件进行仿真: 1) 道路较宽且周围车辆速度较慢; 2) 道路较宽或周围车辆速度较慢; 3) 道路较窄且周围车辆速度较快. 其次, 讨论注意力分别只关注于车距、路宽和周围车辆车速的三种情况下, 驾驶员的情绪变化. 最后考虑刺激记忆效应因子 θ 对恐惧类型事件的刺激的敏感程度, 即: 考虑驾龄的影响.

本节基于具有情感的驾驶员模型, 以车距的变化引起驾驶员情绪变化为例, 通过在不同事件、不同环境下驾驶员的情感变化进行仿真, 得出了针对认知情感的变化对驾驶策略的影响, 并且预估出在特定条件下驾驶员所面对的情感和应采取的策略, 这种驾驶员的自适应调整是传统情感模型应用在驾驶中的一个革新. 该方法应用在辅助驾驶系统中能够捕捉驾驶员在驾驶过程中情感的变化, 提出相应的策略, 减少不良情绪对驾驶员的影响, 从而可以提高驾驶的安全性和可靠性.

2.2 实况验证

为验证所选用模型在虚拟驾驶中的应用情况, 首先依据实验目的, 实验选定在某虚拟正常运营的高速公路上进行, 选取几段基本由直线和半径在 2500 m 以上的大半径平曲线组成的路段共约 30 km 作为实验段, 且纵坡均小于 2%, 线形良好, 纵坡和平曲线对驾驶员行车的影响基本可以忽略不计.

考虑到个体差异的不同, 根据文献 [27–28] 所介绍的相关驾驶心理情感数据分析方法, 我们选取 13 名年龄、驾龄和驾驶经验不同的驾驶员在北京科技大学 VR-4 模拟驾驶系统平台进行 13 次相同模拟场景下的超车实验, 并在该过程中将时间等时分为 50 组进行数据测量.

本实验主要基于心理行为测评技术的量表法, 通过心理学量表分析的方法对心理行为功能状态进行量化. 根据文献 [29] 介绍的情感数据采集和量化方法, 针对六种不同情绪设计了量表. 量表量化的数

值在 0~1 区间之内, 该量表以超车前和超车结束为分界点, 每名驾驶员在实验结束时完成实验量表. 然后将 13 名驾驶员所得 13 组实验数据取平均值, 从而得出驾驶员情感反应情况的实验数据.

研究表明, 在天气情况、交通情况等相同的情况下, 驾驶员个体心理差异的不同会造成驾驶行为模式的不同. 为了测定驾驶员在自由流状态下对不同驾驶行为模式的心理反应, 现将其他的客观条件忽略掉, 以超车为例, 针对自由流状态下驾驶行为的超车模式进行测量并得到如表 1 所示的数据. 统计分析表明, 表 1 中数据紧凑、有效, 由于篇幅有限, 无法对 50 组数据进行展示, 现以第 4 组数据为例, 其各种情感的方差依次为 0.011, 0.004, 0.004, 0.008, 0.013, 0.007, 各种情感方差较小, 数据波动不大, 所以数据采集是有效的. 图 11 展示了测量数据与仿真结果的相似性. 其中纵坐标表示心理行为功能状态的强度, 心理状态的强度为 0~1 之间的取值, 心理行为功能状态强度越大对实际行为的影响越大, 横

坐标表示时间, 我们将超车开始到结束的整个阶段等分为 50 份, 从而提升了实现实验数据的可采集性. 图 11 中, 点线为离散数据的采集, 代表该时刻心理状态的强度, 实线为超车过程中驾驶员心理状态强度的仿真结果.

该验证实验融合情感的驾驶员模型, 通过把情感因素与驾驶员模型相结合, 在超车行为中体现驾驶员情感变化以及对驾驶员行为决策的影响. 基于心理学意义, 分析交通驾驶中的事件从而根据得到的仿真曲线与前面模型得到的结果进行验证, 其拟合度趋势良好, 所得的结果符合驾驶行为的正常习惯. 同时与 Breazeal 提出的 Kismet 情感模型和 Velasquez 提出的 Cathexis 情感综合产生器模型比较, 本文模型准确率比 Kismet 情感模型可提高 8.1%, 比 Cathexis 情感综合产生器模型可提高 9.0%.

3 结论

本文主要在研究和建立心理学情感模型的基础

表 1 驾驶员超车时的所得平均实验数据
Table 1 The averages of driver in the overtaking

编号	高兴	气愤	悲伤	恐惧	厌恶	惊讶	编号	高兴	气愤	悲伤	恐惧	厌恶	惊讶
1	0.180	0.155	0.173	0.203	0.166	0.165	26	0.085	0.104	0.097	0.462	0.105	0.116
2	0.170	0.169	0.184	0.133	0.171	0.169	27	0.111	0.138	0.128	0.381	0.124	0.091
3	0.170	0.165	0.161	0.198	0.185	0.160	28	0.134	0.147	0.132	0.259	0.134	0.147
4	0.183	0.152	0.152	0.104	0.169	0.158	29	0.151	0.126	0.136	0.287	0.129	0.136
5	0.163	0.182	0.177	0.172	0.160	0.174	30	0.153	0.164	0.149	0.209	0.158	0.167
6	0.165	0.167	0.168	0.053	0.188	0.162	31	0.173	0.170	0.173	0.230	0.141	0.128
7	0.110	0.133	0.116	0.343	0.137	0.129	32	0.159	0.170	0.193	0.228	0.151	0.159
8	0.061	0.074	0.082	0.613	0.086	0.071	33	0.144	0.181	0.167	0.177	0.161	0.165
9	0.045	0.045	0.028	0.714	0.063	0.052	34	0.165	0.169	0.162	0.227	0.175	0.159
10	0.041	0.041	0.051	0.885	0.030	0.047	35	0.166	0.156	0.174	0.304	0.170	0.162
11	0.020	0.028	0.014	0.828	0.038	0.015	36	0.170	0.164	0.160	0.201	0.149	0.146
12	0.004	0.045	0.012	0.764	0.024	0.023	37	0.172	0.134	0.190	0.168	0.185	0.151
13	0.030	0.012	0.033	0.848	0.024	0.013	38	0.183	0.172	0.180	0.220	0.166	0.155
14	0.004	0.042	0.001	0.993	0.000	0.012	39	0.159	0.168	0.150	0.171	0.190	0.171
15	0.011	0.031	0.006	0.939	0.031	0.006	40	0.170	0.159	0.158	0.104	0.151	0.159
16	0.009	0.000	0.002	0.976	0.015	0.000	41	0.167	0.159	0.184	0.195	0.157	0.187
17	0.005	0.002	0.029	0.988	0.011	0.006	42	0.159	0.153	0.172	0.167	0.157	0.169
18	0.012	0.000	0.008	0.845	0.013	0.025	43	0.195	0.166	0.172	0.151	0.166	0.143
19	0.003	0.004	0.000	0.934	0.023	0.014	44	0.164	0.172	0.145	0.240	0.154	0.161
20	0.000	0.005	0.000	0.935	0.013	0.000	45	0.149	0.163	0.170	0.273	0.154	0.159
21	0.000	0.015	0.027	0.920	0.022	0.000	46	0.190	0.161	0.176	0.137	0.136	0.168
22	0.007	0.000	0.029	0.971	0.021	0.007	47	0.171	0.167	0.159	0.173	0.156	0.164
23	0.001	0.001	0.024	0.988	0.001	0.000	48	0.152	0.165	0.154	0.121	0.170	0.163
24	0.001	0.000	0.002	0.983	0.002	0.001	49	0.175	0.155	0.165	0.206	0.165	0.157
25	0.050	0.062	0.059	0.760	0.085	0.063	50	0.183	0.184	0.153	0.032	0.165	0.166

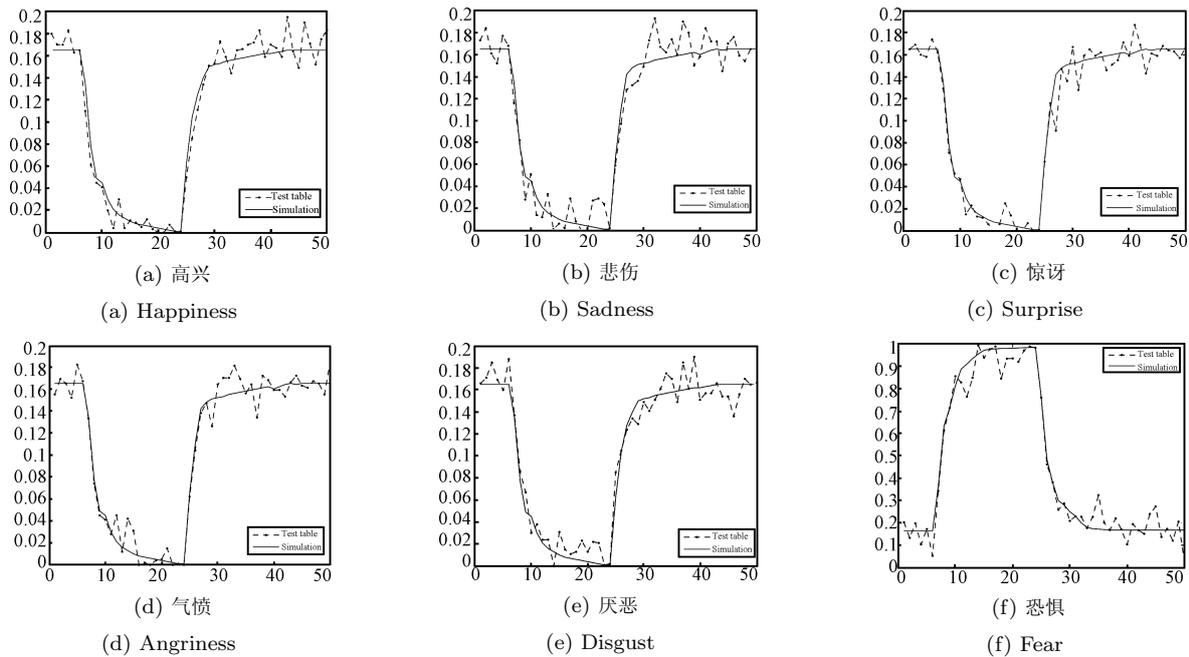


图 11 分情感验证曲线

Fig. 11 Emotional validation curves

上,给出了情感相关的概念,利用 OCC 情感模型、时变的自发转移过程模型和带记忆效应的刺激状态转移过程模型进行算法分析,通过数学仿真模拟人类情绪的变化过程和相应的行为来验证算法的可靠性.在此基础上,将其应用于驾驶员辅助系统中驾驶员模型的建立,设计并实现了具有情感的驾驶员模型.路况信息作为刺激事件引起驾驶员模型中情感值的变化,进而可以预估出驾驶员在特定事件刺激下所采取的驾驶策略.此决策结果被驾驶员辅助系统(北京科技大学 VR-4 系统)采用,以辅助实际驾驶员合理地操控汽车.

致谢

在成文过程中,中国科学院自动化研究所博士研究生王鹏给予本文很多宝贵建议,作者在此表示衷心感谢.

References

- Song Han, Chen Zong-Ji, Sun Fan-E. Study on aiding-level judgment of pilot assistant system. *Journal of System Simulation*, 2009, **21**(1): 208–212
(宋晗, 陈宗基, 孔繁峨. 驾驶员辅助系统的辅助级别判定. 系统仿真学报, 2009, **21**(1): 208–212)
- Zhang Li-Cun. Researches on Driver Unified Decision Model for Vehicle Assistant Control [Ph. D. dissertation], Jilin University, China, 2007
(张立存. 汽车驾驶员控制行为统一决策模型的研究 [博士学位论文]. 吉林大学, 中国, 2007)
- Shi Wei-Ying, Zhao Min-Hua. Application of information fuse technique in assistant-driving system. *Modern Electronic Technique*, 2003, **26**(17): 84–87
(施维颖, 赵敏华. 信息融合在辅助驾驶系统中的应用. 现代电子技术, 2003, **26**(17): 84–87)
- Wang Gui-Huai, Wan Jian. Review of information perception technology for driving safety assistance system. *Computer and Communications*, 2008, **26**(3): 50–54
(王贵槐, 万剑. 汽车安全辅助驾驶支持系统信息感知技术综述. 交通与计算机, 2008, **26**(3): 50–54)
- Guo Kong-Hui, Ma Feng-Jun, Kong Fan-Sen. Driver model parameter identification of the driver-vehicle-road closed-loop system. *Automotive Engineering*, 2002, **24**(1): 20–24
(郭孔辉, 马凤军, 孔繁森. 人-车-路闭环系统驾驶员模型参数辨识. 汽车工程, 2002, **24**(1): 20–24)
- Reichardt D M. Approaching driver models which integrate models of emotion and risk. In: Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium. Eindhoven, The Kingdom of the Netherlands: IEEE, 2008. 234–239
- Nass C, Jonsson I M, Harris H, Reaves B, Endo J, Brave S. Improving automotive safety by pairing driver emotion and car voice emotion. In: Proceedings of the CHI Extended Abstracts of Human Factors in Computing Systems. Portland, USA: ACM, 2005. 1973–1976
- Leng H, Lin Y, Zanzi L A. An experimental study on physiological parameters toward driver emotion recognition. In: Proceedings of the International Conference on Ergonomics and Health Aspects of Work with Computers. Berlin, Germany: Springer, 2007. 237–246
- Fukuda S. Detecting driver's emotion: a step toward emotion-based reliability engineering. *Recent Advances in Reliability and Quality in Design*. Berlin: Springer, 2008. 491–507
- Yu La-Sheng, He Man-Qing. Study of driving behavior model based on agent and ambient intelligence. *Technological Development of Enterprise*, 2009, **28**(3): 19–21
(余腊生, 何满庆. 基于 Agent 和情感计算的司机驾驶行为模型研究. 企业技术开发, 2009, **28**(3): 19–21)

- 11 Teng Shao-Dong. Researches on Artificial Emotion Model Applied to Individual Robot [Ph. D. dissertation], University of Science and Technology Beijing, China, 2006 (滕少冬. 应用于个人机器人的人工情感模型研究 [博士学位论文]. 北京科技大学, 中国, 2006)
- 12 Ortony A, Clore G L, Collins A. *The Cognitive Structure of Emotions*. Cambridge: Cambridge University Press, 1968
- 13 Picard R W. Affective Computing, MIT Media Laboratory Perceptual Computing Section Technical Report No. 321, USA, 1995
- 14 Sloman A. What Are Emotion Theories About? American Association for Artificial Intelligence Spring Symposium Technical Report, UK, 2004. 128–134
- 15 Sloman A, Chrisley F, Scheutz M. The architectural basis of affective states and processes. *Who Needs Emotions?* New York: Oxford University Press, 2003. 203–244
- 16 Izard C E. Four systems for emotion activation: cognitive and noncognitive processes. *Psychological Review*, 1993, **100**(1): 68–90
- 17 Wang Jia-Bo, Zhang Cheng-Bao. Driver model. *Ergonomics*, 2001, **7**(1): 64–67 (王家波, 张成宝. 汽车驾驶员模型. 人类工效学, 2001, **7**(1): 64–67)
- 18 Hirt E R, Melton R J, McDonald H E, Harackiewicz J M. Processing goals, task interest, and the mood-performance relationship: a mediational analysis. *Journal of Personality and Social Psychology*, 1996, **71**(2): 245–261
- 19 Groeger J A. *Understanding Driving: Applying Cognitive Psychology to a Complex Everyday Task*. Philadelphia: Routledge Press, 2000
- 20 Isen A M, Rosenzweig A S, Young M J. The influence of positive affect on clinical problem solving. *Medical Decision Making*, 1991, **11**(3): 221–227
- 21 Hu Teng-Bo, Ye Jian-Kao. Application of Markov chain model to the data prediction of GIS. *Computer Systems and Applications*, 2008, (8): 90–93 (胡腾波, 叶建考. 马尔科夫链模型在 GIS 数据预测中的应用. 计算机系统应用, 2008, (8): 90–93)
- 22 Romanovsky B H [Author], Liang Wen-Qi [Translator]. *Discrete Markov Chains*. Beijing: Science Press, 1958 (Romanovsky B H [著], 梁文骐 [译]. 疏散的马尔可夫链. 北京: 科学出版社, 1958)
- 23 Bhowmik T K, Parui S K, Bhattacharya U, Shaw B. An HMM based recognition scheme for handwritten oriya numerals. In: Proceedings of the 9th International Conference on Information Technology. Bhubaneswar, India: IEEE, 2006. 105–110
- 24 Fang Yu, Chen Zeng-Qiang, Yuan Zhu-Zhi. An emotion model based on artificial intelligence. *Information and Control*, 2006, **35**(6): 673–678 (方予, 陈增强, 袁著祉. 基于人工智能的情感模型建立. 信息与控制, 2006, **35**(6): 673–678)
- 25 Reichardt D M. Approaching driver models which integrate models of emotion and risk. In: Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium. Eindhoven, Netherlands: IEEE, 2008. 958–963
- 26 Nomura T, Kanda T, Suzuki T, Kato K. Prediction of human behavior in human-robot interaction using psychological scales for anxiety and negative attitudes toward robots. *IEEE Transactions on Robotics*, 2008, **24**(2): 442–451
- 27 The Writing of the Analysis of the Quality of Mental Health Status of Motor Vehicle Drivers and Psychological Factors Related to Traffic Accidents. *The Analysis of the Quality of Mental Health Status of Motor Vehicle Drivers and Psychological Factors Related to Traffic Accidents*.

Tianjin: Tianjin Science and Technology Press, 2008

(《机动车驾驶员心理健康素质状况与交通事故相关心理学因素分析研究》课题组. 机动车驾驶员心理健康素质状况与交通事故相关心理学因素分析研究. 天津: 天津科学技术出版社, 2008)

28 Cai Xiao-Yue. *Driving Psychology*. Beijing: China Labor Press, 1998

(蔡笑岳. 驾驶心理学. 北京: 中国劳动出版社, 1998)

29 Lang P J, Bradley M M, Cuthbert B N. International Affective Picture System (IAPS): Technical Manual and Affective Ratings, Technical Report A-6, The Center for Research in Psychophysiology, University of Florida, USA, 2005



解 仑 北京科技大学信息学院电子系教授. 主要研究方向为情感计算、智能机器人和智能信息处理. 本文通信作者.

E-mail: xielun@ustb.edu.cn

(**XIE Lun** Professor at the School of Information Engineering, University of Science and Technology Beijing. His research interest covers affective computing, intelligent robot, and intelligent information processing. Corresponding author of this paper.)



王志良 北京科技大学信息学院电子系教授. 主要研究方向为人工心理、智能科学与技术. E-mail: wzl@ustb.edu.cn

(**WANG Zhi-Liang** Professor at the School of Information Engineering, University of Science and Technology Beijing. His research interest covers artificial psychology, intelligent science

and technology.)



任冬淳 中国科学院自动化研究所博士研究生. 2008 年获南开大学信息学院自动化系学士学位. 主要研究方向为智能机器人、情感计算和机器学习.

E-mail: dongchun.ren@ia.ac.cn

(**REN Dong-Chun** Ph. D. candidate at the Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences. He received his bachelor degree from Nankai University in 2008.

His research interest covers intelligent robots, affective computing, and machine learning.)



滕少冬 北京科技大学信息学院博士研究生. 主要研究方向为人工心理、主动驾驶安全和智能信息处理.

E-mail: tsd.1@ustb.edu.cn

(**TENG Shao-Dong** Ph. D. candidate at the School of Information Engineering, University of Science and Technology Beijing. His research interest

covers artificial psychology, active driving security, and intelligent information processing.)