

DOI:10.3969/j.issn.1003-5060.2024.11.012

跟驰工况下考虑风险分布的驾驶风格分类

姜平, 范虹慧, 黄鹤, 石琴, 周宇

(合肥工业大学 汽车与交通工程学院, 安徽 合肥 230009)

摘要: 车辆跟驰工况下, 为通过驾驶场景中各因素的风险分布研究驾驶员特性, 实现车路交互下的驾驶风格分类, 文章提出一种基于改进的模糊综合评价法的驾驶风格分类方法。通过驾驶模拟器采集试验数据, 并将车辆行驶参数和安全势场作为分类的特征参数; 使用组合权重法对模糊综合评价法的权重集进行改进, 从而对各特征参数赋予相应的权重, 再通过改进的模糊综合评价法将驾驶风格分为冷静型、普通型、激进型 3 类; 最后通过 K -means 聚类算法验证上述方法的合理性。改进的模糊综合评价法分类结果与 K -means 聚类结果的对比表明, 两者的差异率仅为 2%, 且当聚类簇数为 3 时, 轮廓系数高达 0.685, 即与无监督学习算法相同。研究表明, 使用该文模糊综合评价法可以实现对驾驶风格的有效分类。

关键词: 驾驶风格分类; 安全势场; 模糊综合评价法; 组合权重法; K -means 聚类算法

中图分类号: U491.255

文献标志码: A

文章编号: 1003-5060(2024)11-1514-05

Driving style classification considering risk distribution in car-following condition

JIANG Ping, FAN Honghui, HUANG He, SHI Qin, ZHOU Yu

(School of Automobile and Traffic Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: In order to explore the driver characteristics through the risk distribution of various factors in car-following condition, and complete the driving style classification under vehicle-road interaction, this paper proposes a driving style classification method based on improved fuzzy comprehensive evaluation method. Firstly, the test data are collected through driving simulator. The motion parameters of the vehicle and the driving safety field are selected as characteristic parameters of driving style classification. Secondly, the combination weighting method is used to optimize the weight of the fuzzy comprehensive evaluation method, so that the corresponding weight is given to each characteristic parameter, and by using the improved fuzzy comprehensive evaluation method, drivers are divided into cautious drivers, common drivers and aggressive drivers. Finally, K -means clustering algorithm is used to verify the rationality of the above method. The result shows that the difference rate between the K -means clustering and the improved fuzzy comprehensive evaluation method is only 2%, and when the number of cluster is 3, the silhouette coefficient is up to 0.685, that is to say, just like unsupervised learning algorithm, the fuzzy comprehensive evaluation method can effectively classify driving styles.

Key words: driving style classification; driving safety field; fuzzy comprehensive evaluation method; combination weighting method; K -means clustering algorithm

收稿日期: 2022-11-02; 修回日期: 2023-02-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71971073)

作者简介: 姜平(1974—), 女, 安徽合肥人, 博士, 合肥工业大学副教授, 硕士生导师;
石琴(1963—), 女, 安徽合肥人, 博士, 合肥工业大学教授, 博士生导师。

0 引 言

相关研究表明,驾驶员作为道路交通系统的核心因素,其驾驶行为状态水平是决定系统安全水平的关键^[1]。然而,不同驾驶员的驾驶行为存在差异,且不同行车场景下同一驾驶员的驾驶行为也可能有所不同。因此,为实现个性化驾驶,需要在现有主动安全系统的基础上加入针对不同风格驾驶员驾驶特点的设计。驾驶风格是驾驶行为的评定指标,对驾驶行为做出整体性解释也可解释为驾驶员习惯性的驾驶方式^[2]。

近年来,国内外学者通过车辆参数对驾驶风格进行了大量研究。文献[3]使用 GPS 收集原始数据并通过主成分分析法对数据降维,将降维后的数据进行聚类分析,从而实现驾驶风格分类;文献[4]以平均跟车时距和平均制动时距为特征参数,将 K-means 算法与高斯混合模型相融合,得到更为柔性的分类结果;文献[5]在文献[4]的基础上通过随机森林模型实现驾驶风格的分类与识别。

基于问卷调查的研究^[6-7]往往主观性较强;而基于车辆参数的研究,虽然可以一定程度上反映驾驶员风格,但是仅局限于对自车参数的研究,忽略了驾驶场景中各因素对自车产生的风险。在算法选择方面,当前多用无监督机器学习算法进行

驾驶风格分类,如 K-means 聚类算法,该方法简单高效,但是需要根据聚类中心的数值特征分析确定驾驶风格。

本文在驾驶风格研究中引入安全势场的概念,使得对驾驶风格的研究不再局限于驾驶员的操纵数据以及汽车的运动参数,而是将驾驶场景中各因素对自车产生的风险考虑在内;在算法选择方面,使用改进的模糊综合评价法,可以更加简单、直观地确定驾驶风格。

1 特征参数

1.1 搭建车路交互场景获取试验数据

本研究通过 Prescan 搭建车路交互下的跟驰场景,该场景为环形道路,道路总长 1 km;以跟驰车辆为试验车,记为 A;以前车为引领车,记为 B;在试验车上搭载 TIS (technology independent sensor) 传感器、Lane Marker 传感器、GPS 等使试验车辆获取驾驶场景中的数据;搭建试验台架,使驾驶员的操纵数据通过 CAN 总线输入到实时主机,再经实时主机将车辆运动参数传递到 Prescan,从而获取车辆与驾驶场景的交互数据。招募 10 名试验驾驶员,对每名驾驶员的驾驶行为各采集 10 组数据,采集频率为 20 Hz,最终获得 100 组实验数据。车辆与驾驶场景的交互流程如图 1 所示。

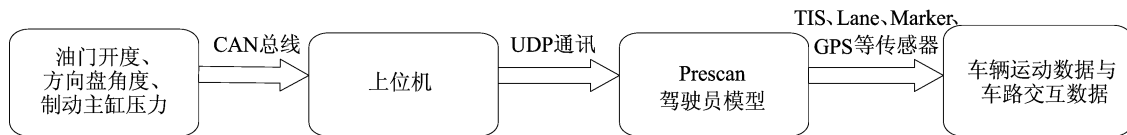


图 1 车路交互示意图

1.2 特征参数的选取

基于现有驾驶风格分类研究成果,选取速度标准差、平均车距、车头时距、方向盘转角标准差作为特征参数,同时将安全势场的概念引入特征参数,即将安全势场强度作为驾驶风格分类的特征参数之一,从而通过驾驶员与场景交互体现驾驶风格。

2 安全势场

文献[8-9]提出安全势场理论,该理论认为驾驶场景中的一切因素(包括人、车、路)均会产生影响行车安全的物理场,称为安全势场。安全势场由势能场、动能场、行为场组成,用来描述驾驶场景中的风险分布,实现对风险的量化。

2.1 势能场

势能场由驾驶场景中的静物组成,可分为障碍物场和道路约束场。

2.1.1 障碍物势场

由障碍物产生的势场 E_{a_o} 。计算公式为:

$$E_{a_o} = \frac{GR_a M_a}{|r_{a_o}|^{k_1} |r_{a_o}|} \cos \theta_{a_o} \quad (1)$$

$$R_a = R(\delta_a, \mu_a, \rho_a, \tau_a) \quad (2)$$

$$M_a = m_a T_a (1.566 \times 10^{-14} v_a^{6.687} + 0.3345) \quad (3)$$

其中: G, k_1 为大于 0 的常数; R_a 为影响路况的场景因子; M_a 为试验车的等效质量^[9]; r_{a_o} 为车辆质心与障碍物物质心的距离矢量; θ_{a_o} 为 r_{a_o} 与试验车车速 v_a 的夹角; δ_a 为能见度; μ_a 为道路黏附系数;

ρ_a 为道路曲率; τ_a 为物体 a 位置的道路斜率; m_a 为试验车的物理质量; T_a 为试验车所属的物体类型。

为简化计算, 式(2)中各参数均取标准值, 即 $R_a=1$, 式(3)中 $T_a=1$ 。

2.1.2 道路约束势场

由车道线产生的道路约束势场 E_{a_L} 计算公式为:

$$E_{a_L} = L_{T_a} R_a \left(\frac{D}{2} - |r_{aL}| \right)^{k_2} \frac{r_{aL}}{|r_{aL}|} \quad (4)$$

其中: L_{T_a} 为车道线类型; D 为车道宽; r_{aL} 为车道线 L 与试验车 A 之间的距离矢量; k_2 为非 0 常数。

综上, 由驾驶场景中静物对试验车 A 产生的势场强度 E_{R_a} 计算公式为:

$$E_{R_a} = E_{a_o} + E_{a_L} \quad (5)$$

2.2 综合车辆势场

本文将安全势场中移动车辆的动能场与该车辆驾驶员产生的行为场进行合并, 获得的综合车辆势场 E_{V_a} 计算公式为:

$$E_{V_a} = \frac{GR_a M_b}{|r_{ab}|^{k_1}} \frac{r_{ab}}{|r_{ab}|} \exp(k_3 v_b \cos \theta_b + k_4 \alpha) \quad (6)$$

其中: k_3, k_4 为非 0 常数; r_{ab} 为试验车与前车 B 的质心距离矢量; v_b 为前车 B 的车速大小; θ_b 为 v_b 与 r_{ab} 的夹角; α 为前车 B 驾驶员方向盘转角方差。

综上, 驾驶场景中各场景因素对试验车 A 产生的势场强度 E_a 计算公式为:

$$E_a = E_{R_a} + E_{V_a} \quad (7)$$

3 驾驶风格分类

3.1 模糊综合评价法

模糊综合评价法是一种基于模糊数学的综合评价方法。该方法根据模隶属度理论, 将定性评价转化为定量评价, 主要步骤如下:

1) 选择速度标准差 u_1 、平均车距 u_2 、车头时距 u_3 、方向盘转角标准差 u_4 、安全势场强度 u_5 为驾驶风格分类的特征参数, 得到评价因素集 $U = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5\}$ 。

2) 选择冷静型 v_1 、普通型 v_2 、激进型 v_3 作为评语, 得到评价评语集 $V = \{v_1, v_2, v_3\}$ 。

3) 因素集 U 中各因素对驾驶风格分类的影响度不同, 因此对 U 中各因素赋予相应的权重, 得到权重集 $W = \{\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5\}$, W 中的各项

权重由组合权重法获得。

3.2 组合权重法确定权重集

组合权重法是一种将层次分析法与熵权法相结合的权重分配法。该方法既反映了决策者对不同指标的重视程度, 又将主观随机性控制在一定范围内, 使评价结果更加科学可信。

3.2.1 层次分析法求主观权重

通过成对比较法和 1-9 尺度评价因素集 U 中各因素的重要性构造判断矩阵 Q , Q 的表达式为:

$$Q = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \frac{1}{3} & 2 & \frac{1}{5} \\ 1 & 1 & \frac{1}{3} & 2 & \frac{1}{5} \\ 3 & 3 & 1 & 3 & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & 1 & \frac{1}{7} \\ 5 & 5 & 3 & 7 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

通过计算一致性比例 R_C , 对判断矩阵 Q 进行一致性检验。经计算得 $R_C=0.0117$, 满足 $R_C < 0.1$, 即 Q 可以通过一致性检验。

通过算数平均法计算主观权重集 W_1 , 结果见表 1 所列。

表 1 主观权重集 W_1

特征参数 u_i	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5
对应权重 α_i	0.10	0.10	0.23	0.06	0.51

3.2.2 熵权法求客观权重

熵权法是一种客观赋权方法, 其原理是特征的变异程度越小, 携带的信息越少, 对应的权重越低。熵权法确定客观权重集 W_2 可以通过 SPSS 软件完成, 得到的 W_2 见表 2 所列。

表 2 客观权重集 W_2

特征参数 u_i	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5
对应权重 β_i	0.09	0.11	0.48	0.15	0.17

3.2.3 组合权重法求权重

各因素综合权重 ω_i 的计算公式为:

$$\omega_i = \frac{\sqrt{\alpha_i \beta_i}}{\sum_{i=1}^m \sqrt{\alpha_i \beta_i}} \quad (9)$$

其中: α_i 为层次分析法对应的权重; β_i 为熵权法对应的权重; m 为特征总数。经计算可得综合权重

集 W , 见表 3 所列。

表 3 组合权重集 W

特征参数 u_i	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5
对应权重 ω_i	0.10	0.11	0.36	0.10	0.32

3.3 构造模糊关系矩阵

模糊关系矩阵 R 为:

$$R = \begin{matrix} & \text{评语 1} & \text{评语 2} & \cdots & \text{评语 } k \\ \begin{matrix} \text{因素 1} \\ \text{因素 2} \\ \vdots \\ \text{因素 } m \end{matrix} & \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1k} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2k} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mk} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (10)$$

模糊关系矩阵 R 由因素集对每个评价指标的隶属度构成。所谓隶属度, 即单个评价指标 $u_i \in U$ 相对于评语 $v_j \in V$ 的评价结果, 可以通过隶属度函数获得。

3.3.1 隶属度函数类型

根据因素性质分类, 隶属度函数分为偏小型、中间型、偏大型; 按照形状分类, 隶属度函数分为 S 型、高斯型、梯形型、三角型等。本研究选取高斯型隶属度函数。

1) 偏小型隶属度函数 $A_1(x)$ 总体呈递减趋势, 即某因素的值越大, 隶属度越小。其计算公式为:

$$A_1(x) = \begin{cases} 1, & x \leq a_1; \\ \exp\left[-\left(\frac{x-a_1}{\sigma}\right)^2\right], & x > a_1 \end{cases} \quad (11)$$

2) 中间型隶属度函数 $A_2(x)$ 总体呈先降后增趋势, 即某因素越靠近中间值, 隶属度越大。其计算公式为:

$$A_2(x) = \exp\left[-\left(\frac{x-a_3}{\sigma}\right)^2\right], \quad a_1 \leq x \leq a_2 \quad (12)$$

3) 偏大型隶属度函数 $A_3(x)$ 总体呈递增趋势, 即某因素值越大, 隶属度越大。其计算公式为:

$$A_3(x) = \begin{cases} \exp\left[-\left(\frac{x-a_2}{\sigma}\right)^2\right], & x \leq a_2; \\ 1, & x > a_2 \end{cases} \quad (13)$$

其中: a_1 为样本最小值; σ 为样本标准差; a_2 为样本最大值; a_3 为样本均值。

3.3.2 评价因素隶属函数选择

速度标准差反映车速变化的剧烈程度, 从冷静型到激进型, 速度标准差呈增大趋势^[10]。因

此, 对于速度标准差, 冷静型为偏小型, 普通型为中间型, 激进型为偏大型。

平均车距为跟车过程中前后车距的平均值。激进型驾驶员倾向于较小的跟车车距, 冷静型驾驶员则相反。因此, 对于平均车距, 冷静型为偏大型, 普通型为中间型, 激进型为偏小型。

车头时距为前、后两辆车的前端通过同一地点的时间差。相关研究发现, 激进型驾驶员倾向于选择较小的车头时距, 冷静型驾驶员的车头时距则普遍较大^[4]。因此, 对于车头时距, 冷静型为偏大型, 普通型为中间型, 激进型为偏小型。

方向盘转角标准差反映了跟车过程中方向盘转角变化的剧烈程度。从冷静型到激进型, 方向盘转角标准差呈现增大趋势^[11]。因此, 对于方向盘转角标准差, 冷静型为偏小型, 普通型为中间型, 激进型为偏大型。

安全势场是驾驶场景中各因素对试验车造成危险的量化, 反映到驾驶风格上, 可解释为势场强度越大, 该驾驶员越倾向于在危险的场景中驾驶。因此, 对于安全势场, 冷静型为偏小型, 普通型为中间型, 激进型为偏大型。

3.4 确定驾驶风格

通过模糊综合评价法, 对驾驶风格进行分类, 计算公式为:

$$B = W \cdot R \quad (14)$$

其中: B 为评价矩阵; “ \cdot ” 为综合评价合成算子, 本文取 “ \cdot ” 为矩阵乘法。 $\max(B)$ 所对应的评语即驾驶风格。

4 分类结果与验证

4.1 改进的模糊综合评价法驾驶风格分类结果

使用改进的模糊综合评价法获得的驾驶风格见表 4 所列。

表 4 驾驶风格分类结果

驾驶员 ID	冷静型 隶属度	普通型 隶属度	激进型 隶属度	驾驶 风格
01	0.156	0.931	0.360	普通型
02	0.103	0.419	0.717	激进型
03	0.220	0.808	0.412	普通型
04	0.055	0.809	0.496	普通型
05	0.269	0.538	0.692	激进型
06	0.978	0.140	0.300	冷静型
07	0.007	0.544	0.782	激进型
08	0.336	0.747	0.369	普通型
09	0.344	0.575	0.512	普通型
10	0.863	0.123	0.103	冷静型

4.2 改进的模糊综合评价法合理性验证

利用 K-means 算法验证上述方法的合理性。选取综合权重最高的 3 个因素,即平均车距、车头时距、安全势场, K-means 算法聚类结果如图 2 所示。

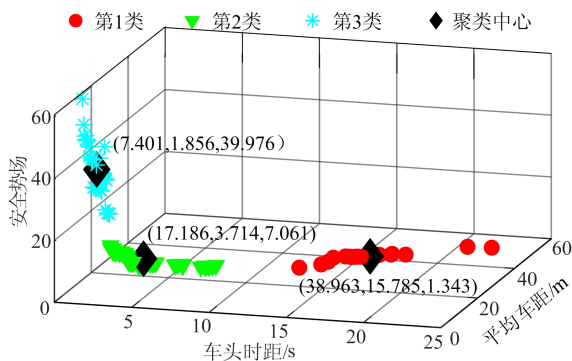


图 2 K-means 算法聚类结果

从图 2 可以看出,第 1 类、第 2 类、第 3 类数据的聚类中心分别为 (38.963, 15.785, 1.343) (17.186, 3.714, 7.061) (7.401, 1.856, 39.976)。可以确定,第 1 类数据对应冷静型,第 2 类数据对应普通型,第 3 类数据对应激进型。每类的数据量分别为 21、48、31,即有 1 组普通型数据被划分为激进型,1 组普通型数据被划分为冷静型。

结合轮廓系数对聚类结果进行分析。轮廓系数可用于评价聚类结果的好坏,其结果越接近 1,聚类合理性更高。不同簇数下聚类结果的轮廓系数见表 5 所列。

表 5 不同簇数下轮廓系数

聚类簇数	2	3	4	5	6
轮廓系数	0.663	0.685	0.645	0.624	0.625

聚类簇数为 3 时,轮廓系数高达 0.685,说明将驾驶风格分 3 类最为合理。

5 结 论

本文使用了一种改进的模糊综合评价法进行驾驶风格分类,主要结论如下。

1) 将安全势场的概念引入驾驶风格分类,对驾驶场景中的风险加以量化,通过驾驶员与场景的互动反映驾驶风格。通过组合权重集可知,在 5 个特征参数中,安全势场的权重为 0.32,位于权

重集的第 2 位,说明安全势场可以作为驾驶风格分类的重要因素。

2) 通过改进的模糊综合评价法对 10 名驾驶员进行分类,其中冷静型 2 名、普通型 5 名,激进型 3 名,各自占比为 20%、50%、30%。且该方法将多维特征参数转化为一维的评价结果,使分类结果更为直观简洁。

3) 利用 K-means 聚类算法验证本文所提方法的有效性,两种分类方法的重合率高达 98%,即与现存机器学习算法相同。这表明改进的模糊综合评价法可以实现对驾驶风格的有效分类。

[参 考 文 献]

- [1] 郭孜政. 驾驶行为险态辨识理论与方法[D]. 成都:西南交通大学,2009.
- [2] 孙龙,常若松. 驾驶风格研究现状与展望[J]. 人类工效学, 2013,19(4):92-95.
- [3] CONSTANTINESCU Z, MARINOIU C, VLADOIU M. Driving style analysis using data mining techniques[J]. International Journal of Computers Communications & Control, 2010,5(5):654-663.
- [4] 刘通,付锐,张名芳,等. 融合 K-means 与高斯混合模型的驾驶风格聚类研究[J]. 中国安全科学学报, 2019,29(12):40-45.
- [5] 刘迪,郑建明,覃斌,等. 基于自然驾驶场景大数据的驾驶风格研究[J]. 汽车技术, 2022(9):36-42.
- [6] REASON J T, MANSTEAD A, STRADLING S, et al. Errors and violations on the roads: a real distinction[J]. Ergonomics, 1990,33(10/11):1315-1332.
- [7] TAUBMANBENARI O, MIKULINCER M, GILLATH O. The multidimensional driving style inventory-scale construct and validation[J]. Accident Analysis & Prevention, 2004,36(3):323-332.
- [8] WANG J, WU J, LI Y. The driving safety field based on driver-vehicle-road interactions[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2015,16(4):2203-2214.
- [9] WANG J, WU J, ZHENG X. Driving safety field theory modeling and its application in pre-collision warning system[J]. Transportation Research Part C, 2016,72:306-324.
- [10] 李经纬,赵治国,沈沛鸿,等. 驾驶风格 K-means 聚类与识别方法研究[J]. 汽车技术, 2018(12):8-12.
- [11] 王鑫鹏,陈志军,吴超仲,等. 考虑驾驶风格的智能车自动驾驶决策方法[J]. 交通信息与安全, 2020,38(2):37-46.

(责任编辑 胡亚敏)