

基于层次分析法的智能跟车功能评价模型研究

卢迪柯 周毅 何海燕

(同济大学汽车学院,上海201804)

【欢迎引用】卢迪柯,周毅,何海燕. 基于层次分析法的智能跟车功能评价模型研究[J].汽车文摘,2023(4): 28-34.

【Cite this paper】LU D K, ZHOU Y, HE H Y. Research on Evaluation Model of Intelligent Vehicle Following Function Based on Analytic Hierarchy Process[J]. Automotive Digest (Chinese), 2023(4):28-34.

【摘要】围绕智能跟车功能综合评价进行了深入分析和研究,构建智能跟车功能综合评价体系。基于智能跟车功能相关测试标准及专著文献,将预计碰撞时间(TTC)、车头时距(THW)、最大加(减)速度、速度、车道线和道路边缘相对距离、加速度变化率和停车距离作为评价参数,应用德尔菲法(Delphi)对各评价参数与安全性和舒适性的相关性进行专家咨询,应用层次分析法(AHP)将安全性与舒适性作为评价准则,建立一套智能跟车功能的综合评价指标体系。构筑客观安全与主观体验相结合的多维度评估模型,为智能跟车功能综合评价提供评价依据。

关键词:智能跟车;评价模型;层次分析法;评价参数

中图分类号:U471.22

文献标识码:A

DOI: 10.19822/j.cnki.1671-6329.20220140

Research on Evaluation Model of Intelligent Vehicle Following Function Based on Analytic Hierarchy Process

Lu Dike, Zhou Yi, He Haiyan

(School of Automotive Studies, Tongji University, Shanghai 201804)

【Abstract】This paper has built a comprehensive evaluation model of intelligent vehicle following function based on thorough analysis and research. Time To Collision (TTC), Time To Headway (THW), the most acceleration (deceleration), speed, the relative distance including longitudinal distance and lateral distance are chosen as evaluation parameters in this model according to test standards and monographs. With the help of Delphi method, the correlation between the evaluation parameters and safety/comfort has been calculated from experts' advice. Then a comprehensive evaluation index system of intelligent vehicle following function has been set up based on AHP, so as to construct a multi-dimensional evaluation model. This model combines objective safety with subjective experience, which can provide evaluation basis for the comprehensive evaluation of intelligent vehicle following function.

Key words: Intelligent Vehicle Following, Evaluation Model, AHP, Evaluation Parameter

缩略语

TTC Time To Collision

THW Time To Headway

AHP Analytic Hierarchy Process

HP Highway Pilot

TJP Traffic Jam Pilot

NOP Navigator On Pilot

IVF Intelligent Vehicle Following

ACC Adaptive Cruise Control

FCW Forward Collision Warning

AEB Autonomous Emergency Braking

LDW Lane Departure Warning

BSD Blind Spot Detection

0 引言

随着智能驾驶技术的不断发展,特斯拉、上汽集团、蔚来、小鹏、理想等主机厂已经开发了许多较为完善的高级自动驾驶辅助系统,如高速自动辅助驾驶(Highway Pilot, HP)、拥堵驾驶辅助(Traffic Jam Pilot, TJP)、导航辅助驾驶(Navigator on Pilot, NOP)等。而在日常驾驶过程中,跟车行驶占据整个行车过程70%以上,目前对于智能跟车功能评价尚无统一的标准法规^[1],因此十分有必要开展智能跟车功能测试评价方法的研究,本文围绕智能跟车功能(Intelligent Vehicle

Following, IVF)进行深入分析和总结。

(1)本文研究的智能跟车功能(IVF)指具备该功能的车辆在本车道内可跟随前方目标车辆自动调节车辆速度,并根据不同工况与前方目标车辆保持适当距离。

(2)研究国内外自适应巡航(Adaptive Cruise Control, ACC)、前端碰撞预警(Forward Collision Warning, FCW)、自动紧急制动(Autonomous Emergency Braking, AEB)、车道偏离预警(Lane Departure Warning, LDW)、盲区探测(Blind Spot Detection, BSD)与跟车功能相关的测试标准^[2-3],基于其评价参数,并结合跟车功能相关实际经验,构建智能跟车功能综合评价体系。

(3)借助Delphi专家咨询法对评价参数与安全性和舒适性的相关性进行评估。

(4)运用层次分析法设计递阶层次结构,并判断各评价指标的一致性,建立智能跟车综合评价体系模型,并对智能跟车功能测试评价的进一步发展提出研究展望。

1 评价指标体系构建

IVF系统评价一般是基于不同测试工况下的功能表现,即用客观参数对系统进行评分以量化其性能水平,但纯粹的客观参数分析法通常只针对单个参数进行衡量,不能对系统功能的总体表现进行有效评估,本文以主客观相结合的方式对智能跟车功能进行安全性与舒适性的研究。

1.1 评价指标体系框架

本文以智能跟车功能的测试评价为核心开展相关研究工作,一方面关注消费者的主观感受,另一方面也关注研发工程师更为在意的客观数据。为了设计一套可用于主客观评估的测试评价体系,结合消费者实际使用,拟定该评价体系从安全性、舒适性2个维度开展相关研究,所选择的基础评价参数均来自智能汽车功能评测标准,综合分析目标层、准则层和参数层,所建立的智能跟车功能综合评价指标体系如图1所示。

1.2 评价参数计算方法及内涵

IVF系统控制性能主要是分为2方面:稳态性能和动态性能。其中,稳态性能主要分析被测车辆在匀速跟车工况下跟车距离、车速的稳定性。动态性能主要统计、分析车辆在跟车工况下加(减)速度的相关特性以及相关参数的精度。

(1) 预计碰撞时间(Time To Collision, TTC)

TTC定义为本车与前车之间的相对距离除以相对速度,为了确保智能车辆运行安全可靠,要求 $TTC > 0$ s。

对于相对速度不变的情况,也就是说当2车都没有加速或减速时,TTC为本车与前车发生碰撞的时间。TTC计算如下:

$$TTC = \frac{X_T - X_H - L_T}{v_H - v_T} \quad (1)$$

式中, X_T 为前车位置; X_H 为主车位置; L_T 为车身长度; v_H 为主车速度; v_T 为前车速度。

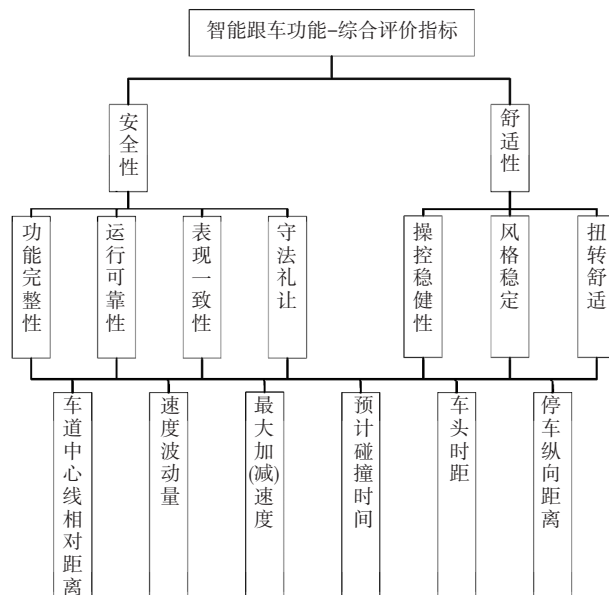


图1 智能跟车功能综合评价指标体系

(2) 车头时距(Time Headway, THW)

为了更好地评估车辆行驶过程中的跟车距离,引入车头时距作为本文评价模型的一个重要参数。THW是一个表征驾驶员跟车行为的重要参数,定义为前后2车头部通过道路某一断面的时间间隔^[4]。THW值越小,表明主车跟随前车辆行驶过程中,当遇到紧急突发状况时,发生碰撞的概率越高,如跟车距离较小或主车速度较高的情况。THW计算如下:

$$THW = \frac{X_T - X_H - L_T}{v_H} \quad (2)$$

式中, X_T 为前车位置; X_H 为主车位置; L_T 为车身长度; v_H 为主车速度。

2 评价参数的相关性评估

Delphi法又称专家调查法,其本质是一种反馈匿名函询法^[5]。根据研究目标,将需要专家进行判断的问题制定成调查问卷,本文通过线上匿名方式进行专家意见征询,充分确保参评专家自由发表意见,并尽可能保证其不受其他权威专家意见影响。

在完成首轮专家意见收集后,经过数据汇总、整理和分析,将分歧较大的问题进行重新梳理,并再度

征求意见,直至取得一致意见。经过2轮征询和意见收集后,最终结果较为客观且可信。

2.1 专家遴选

本次调查经过两轮专家咨询,共计遴选了15位具有专业性和权威性的专家组成本研究的Delphi法专家小组,其中5位来自同济大学相关学科,7位来自汽车主机厂(智己汽车、泛亚汽车技术中心、上汽大众),3位来自智能驾驶相关零部件企业(舍弗勒、地平线、千顾汽车)。专家小组成员均多年从事智能驾驶技术开发或测试技术研究与实践,工作单位涵盖相关性较强的高校和企业,具有广泛的代表性。

根据评价指标体系框架,编制专家咨询表,内容包括专家的基本情况、对指标相关性的判断依据、熟悉程度。专家采用背对背的形式填写问卷,对初步评价指标体系内各评价参数对“安全性”和“舒适性”的相关性进行打分,评分值用李克特量表(5-Likert scale)进行评定^[6],具体评分见表1所示。

表1 李克特量表相关性

相关性	非常相关	比较相关	部分相关	不确定	不相关
分值/分	5	4	3	2	1

2.2 评价指标相关性筛选

2.2.1 专家积极系数

该系数用于衡量专家对咨询内容的关心程度,以有效咨询表的回收率来衡量,公式如下:

$$\text{专家积极系数} = \frac{\text{有效咨询表的回收数}}{\text{咨询表的发放总数}} \times 100\% \quad (3)$$

本次调研共计发放咨询表15份,均在7天内收回,有效回收率为100%,表明所调查专家对该项目高度支持,积极性较高。

2.2.2 专家权威程度

以专家权威系数 C_r 来衡量,公式如下:

$$C_r = \frac{(C_a + C_s)}{2} \quad (4)$$

式中, C_a 为专家对指标的判断系数,专家基于表2自评得出; C_s 为专家对指标的熟悉程度系数,专家基于表3自评得出。

表2 专家判断依据及影响程度

判断依据	判断依据对专家的影响程度		
	大	中	小
理论知识	0.3	0.2	0.1
实践经验	0.5	0.4	0.3
直观感受	0.1	0.1	0.1
同行了解	0.1	0.1	0.1

表3 专家熟悉程度

熟悉程度	很熟悉	熟悉	一般	不太熟悉	不熟悉
量化值	1.0	0.8	0.5	0.2	0

经过对专家自评结果分析, $C_a=0.95$, $C_s=0.88$ 。专家权威系数 $C_r=0.92$,专家权威程度较高,可为本次相关性分析提供可靠的评判依据。

2.2.3 专家意见集中程度

专家意见集中程度通常用均数 \bar{x} 和满分频率 f_j 来表示, \bar{x} 和 f_j 值越大,则对应 j 指标的重要性越高。

均数 \bar{x} 的计算公式如下:

$$\bar{x}_j = \frac{1}{N_j} \sum_{i=1}^n x_{ij} \quad (5)$$

式中, \bar{x}_j 表示第 j 个指标的均数; N_j 表示参加第 j 个指标相关性评价的专家数; x_{ij} 表示第 i 个专家对第 j 个指标的评分值。

满分频率 f_j 的计算公式如下:

$$f_j = \frac{\widehat{N}_j}{N_j} \quad (6)$$

式中, N_j 表示参加第 j 个指标相关性评价的专家数; \widehat{N}_j 表示其中打满分的专家数。 f_j 的取值范围为 $[0,1]$,可作为 \bar{x} 的补充指标。

2.2.4 专家意见协调程度

通常用变异系数 CV 来衡量,可表示专家对各项指标的认同程度。变异系数 CV 表示 n 个专家对第 j 个指标的协调程度,计算公式如下:

$$CV = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{n-1}} \quad (7)$$

通过2轮Delphi法的专家调研筛选,最终调研结果详见表4和表5。

表4 “安全性”与指标相关性专家咨询结果

指标	平均分 \bar{x} /分	满分频率 f_j	变异系数 $CV/\%$
TTC	4.93	0.93	5.23
THW	4.40	0.40	11.52
最大加速度	3.93	0.20	17.89
速度波动量	3.53	0.07	18.11
车道中心线相对距离	3.80	0.13	17.79
加速度变化率	2.40	0.00	34.50
纵向停车距离	1.73	0.00	46.09

以同时满足重要性赋值均数 ≥ 3.5 ,且变异系数 ≤ 0.24 两项条目作为筛选标准,在基础评价参数中,与安全性相关性比较高的参数包括车道中心线相对距

离、速度波动、最大加(减)速度、预计碰撞时间和车头时距;与舒适性相关性比较高的参数包括最大加(减)速度、车头时距和停车纵向距离。根据安全性和舒适性相关参数指标,利用层次分析法确定各指标参数与总目标的权重系数。

表5 “舒适性”与指标相关性专家咨询结果

指标	平均分 \bar{x} /分	满分频率 f_j	变异系数 CV/%
TTC	2.73	0.00	16.75
THW	3.67	0.00	13.31
最大加速度	4.40	0.40	11.52
速度	2.67	0.00	18.30
车道中心线相对距离	2.53	0.00	20.38
加速度变化率	2.73	0.00	35.16
纵向停车距离	3.60	0.07	17.57

3 指标权重的计算方法

运用评价指标体系的若干个指标参数对智能跟车功能进行综合评价时,不同指标的重要程度有所不同,为了能够合理地描述各层级不同指标在评价过程中的作用地位和重要程度,需要明确各指标的权重系数,从而能够得到智能跟车功能综合水平。

结合本文建立的智能跟车功能的评价指标体系,借助 Delphi 专家问卷调查法已经完成安全性和舒适性相关可量化指标参数,然后将基于专家意见并运用层次分析法确定各指标权重系数。

层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 是一种将定性分析和定量计算相结合的、具有层次结构的多目标决策方法^[7]。利用层次分析法构建的理论模型将为智能跟车评价指标的选取和评价体系的建立提供完整的方案路线,并为多维度指标的统一化表达提供理论依托,主要步骤包括建立决策问题的递阶层次结构、构造两两判断矩阵、层次单排序及其一致性检验和层次总排序,针对智能跟车功能综合评价指标体系,获取各指标权重的计算方法,主要计算步骤如下。

3.1 构造判断矩阵

基于图 1 所建立的递阶层次结构,上下相邻层次间元素的隶属关系即被确定,根据上层目标,在确定下一层不同元素权重时,采用两两比较的方法,指在准则 C_k 下,对它所支配的元素 A_1, A_2, \dots, A_n 中任意 2 个元素 A_i 和 A_j 进行比较,它们中哪一个更重要、重要性为多少。本文按照 9 级比例标度,标度值及含义详见表 6。基于 Delphi 表 3 和表 4 的 \bar{x}_j 、 f_j 和 CV 值作

为依据,安全性、舒适性及其相对于总目标的判断矩阵分别如下表 7、表 8 和表 9 所示。

表6 “9级比例标度”标度值及含义

标度	含义
1	表示 2 个因素相比,具有同样重要性
3	表示 2 个因素相比,一个因素比另一个因素稍微重要
5	表示 2 个因素相比,一个因素比另一个因素明显重要
7	表示 2 个因素相比,一个因素比另一个因素强烈重要
9	表示 2 个因素相比,一个因素比另一个因素极端重要
2,4,6,8	上述两相邻判断的中值
倒数	因素 i 与 j 比较的判读 a_{ij} , 则因素 j 与 i 比较的判断 $a_{ji} = 1/a_{ij}$

表7 基于标度值的“安全性”判断矩阵

安全性	TTC	THW	速度波动	最大加速度	横向相对距离	权重系数 ω_i
TTC	1	3	7	5	9	0.512 8
THW	1/3	1	5	3	7	0.261 5
速度波动	1/7	1/5	1	1/3	3	0.063 4
最大加速度	1/5	1/3	3	1	5	0.129 0
车道中心线相对距离	1/9	1/7	1/3	1/5	1	0.033 3

表8 基于标度值的“舒适性”判断矩阵

舒适性	最大加速度	THW	纵向停车距离	权重系数 ω_i
最大加速度	1	5	5	0.714 3
THW	1/5	1	1	0.142 9
纵向停车距离	1/5	1	1	0.142 9

表9 基于标度值的“综合指标”判断矩阵

综合评价	安全性	舒适性	权重系数 ω_i
安全性	1	7	0.875 0
舒适性	1/7	1	0.125 0

3.2 层次单排序及其一致性检验

层次单排序是指在目标层或准则层各元素 C_k 的支配下, n 个元素排序权值的计算问题。两两比较判断矩阵的最大特征值对应的特征向量就是该准则支配下的各元素排序权值, 设 $(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)T^T$ 是判断矩阵最大特征值对应的特征向量, 归一化之后就是 n 个元素 A_1, A_2, \dots, A_n 的排序向量^[8]。

由定理“ n 阶正互反矩阵是一致性矩阵的充要条件, 它的最大特征根是 $\gamma_{\max} = n$ ”可知, 当判断矩阵不一致时, $\gamma_{\max} > n$, 误差越大 $\gamma_{\max} - n$ 的差值就越大。本文两两比较判断矩阵, 依据多位专家咨询结果给定, 但判断的不一致性仍然可能存在, 为了更好地避免不一致性问题, 引入一致性比例 (Consistency Ratio, CR) 值作为判断

矩阵是否具有一致性的检验标准,其计算公示如下:

$$CR = \frac{(\gamma_{\max} - n)/(n - 1)}{RI} \quad (8)$$

式中, RI 为随机一致性指标,具体数值详见表 10。

针对以上表 7、表 8 和表 9 中 3 个判断矩阵,分别计算其最大特征值对应的特征向量,并对其进行归一化处理,可计算得出该判断矩阵对应的单排序向量,如表 7、表 8 和表 9 最后列 ω_i 所示。当计算得到 CR 值小于 0.1 时,认为判断矩阵具有一致性,否则,应当对判断矩阵中的数值进行修正,再进行一致性检验,直到满足 $CR < 0.1$ 的要求为止。经检验,以上 3 个判断矩阵均满足一致性检验。

表 10 随机一致性指标 RI

矩阵阶数 n	RI
3	0.52
4	0.89
5	1.12
6	1.26
7	1.36
8	1.41
9	1.46
10	1.49
11	1.52
12	1.54

3.3 层次总排序

层次总排序是要得到递阶层次结构中,最低层次中的所有元素对于智能跟车功能总目标的相对权重。经计算,各个指标参量相对于智能跟车功能综合指标的权重系数如表 11 所示。

4 评价模型应用

针对评价模型内各项指标,基于智能跟车功能要求,确定单项指标评分标准及其单项满分值。选定某车型作为被测车型,进行测试并采集数据,借助该模型对其智能跟车功能进行评分。

4.1 指标评分标准

(1) THW

行驶的期望安全距离与车速成正比,为了更好地获取 THW 阈值,假定车辆遇到紧急情况时,其最大减速度为 6 m/s^2 ,分别计算系统在无需反应时间及需要反应时间 2 种情况下的跟车时距(表 12)。

安全跟车距离 S 的计算公式如下:

$$S = S_1 + S_2 \quad (9)$$

式中 S_1 为不含制动系统反应时间的制动距离; S_2 为包含系统反应时间的制动距离。

安全跟车情况下(系统需要反应时间)的跟车时距 THW_0 计算公式如下:

$$THW_0 = S/v \quad (10)$$

式中, v 为车速。

假定系统无需反应情况下的跟车时距 THW_1 的计算公式如下:

$$THW_1 = S_1/v \quad (11)$$

表 11 指标权重系数

指标	权重
TTC	0.45
THW	0.25
最大加速度	0.20
速度波动	0.05
车道中心线相对距离	0.03
纵向停车距离	0.02

表 12 最大减速度为 6 m/s^2 时 THW 阈值

$v/\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	S_1/m	S_2/m	S/m	THW_0/s	THW_1/s
10	0.64	2.78	3.42	1.23	0.23
20	2.57	5.56	8.13	1.46	0.46
30	5.79	8.33	14.12	1.69	0.69
40	10.29	11.11	21.40	1.93	0.93
50	16.08	13.89	29.96	2.16	1.16
60	23.15	16.67	39.81	2.39	1.39
70	31.51	19.44	50.95	2.62	1.62
80	41.15	22.22	63.37	2.85	1.85

(2) TTC

TTC 直接决定车辆是否发生碰撞,所以在该评价模型中,该值作为“一票否决制”。当 $|TTC|=0$ 时,该车跟车功能总评分为 0 分。针对不同的车速,其 TTC 阈值不同,详见表 13。

表 13 TTC 阈值

车速/ $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	TTC 阈值 /s
10	1.2
20	1.7
30	2.1
50	2.3
60	2.5

(3) 指标评分标准

针对智能跟车功能相关的各项指标,评分体系满分采用 100 分,各项指标评分标准及相应满分分值如表 14 所示。

表 14 各项指标评分标准及分值

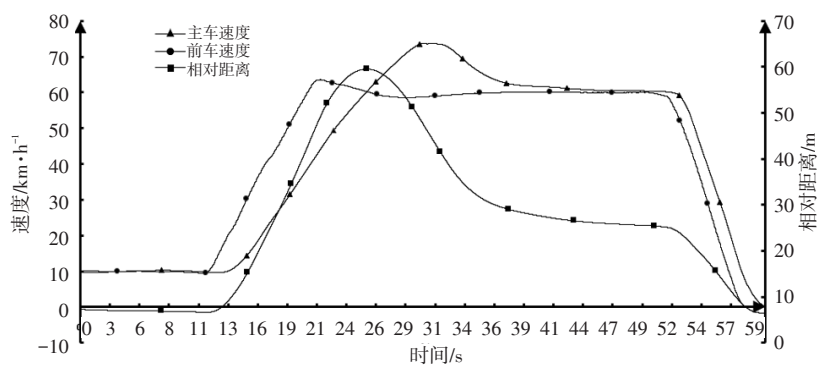
指标	权重	评分标准	得分/分
<i>TTC</i>	0.45	$\min(TTC) > TTC$ 阈值	45
<i>THW</i>	0.25	稳态跟车状态下, 车速为 60 km/h 时, <i>THW</i> 阈值为 1.39~2.39 s	25
最大加速度	0.20	前车加速: 主车最大加速度 < 前车最大加速度; 前车减速: 参考 i-VISTA 中国智能汽车指数《智能行车辅助评价规程》中对于最大减速度的限值要求, 当车速 > 72 km/h 时, 减速度 $\leq 3.5 \text{ m/s}^2$; 当车速 < 18 km/h 时, 减速度 $\leq 5 \text{ m/s}^2$; 当车速为 18~72 km/h 时, 减速度线性变化	20
速度波动	0.05	稳态跟车状态下, 主车速度波动 < 2 km/h	5
车道中心线相对距离	0.03	主车纵向对称平面距离车道中心线距离 < 20 cm	3
纵向停车距离	0.02	主车前边缘至前车后边缘相对距离 < 2 m	2

4.2 评价实施

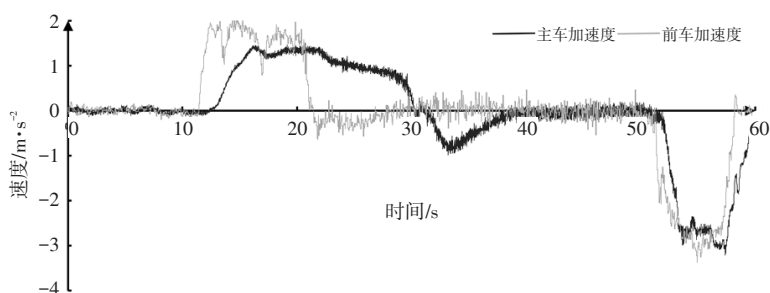
针对跟车过程, 前车的纵向运动形态分为 3 种: 匀速、减速和加速。本次测试过程主要选取某车型作为主车, 进行了前车“加速—匀速”场景测试, 其主要参数如图 2 所示。

基于表 14 各项指标评分标准及分值, 并结合该车辆所有参数, 其最终得分如表 15 所示。

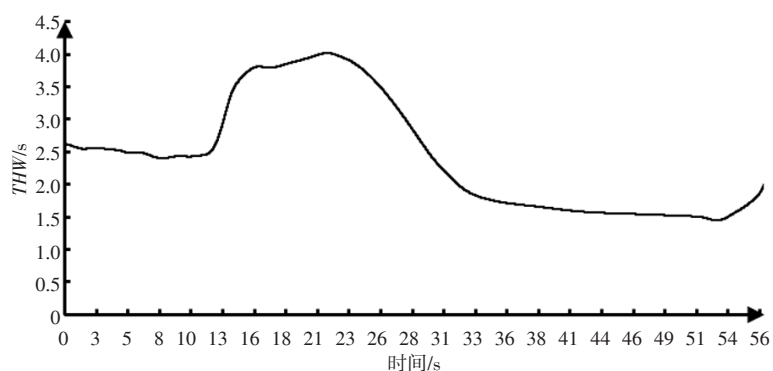
该车型总体得分为 91 分, 该车型智能跟车功能表现良好。

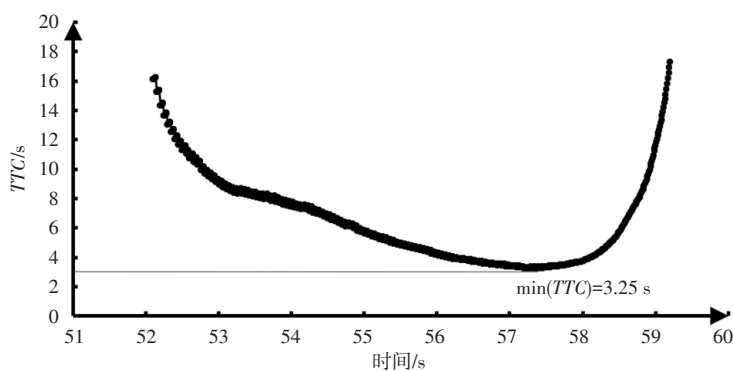


(a) 主车与前车车速与相对距离



(b) 主车与前车加速度

(c) *THW*



(d)TTC

图2 被测车辆主要参数

表15 被测车辆评分结果

指标	测试结果说明	得分/分
TTC	智能跟车过程中未发生碰撞,且 $TTC_{\min} = 3.25 \text{ s} > TTC_{\text{阈值@60 km/h}}$	45
THW	稳态跟车过程中, THW为1.51~1.65 s,在该车速对应的 THW范围内	25
最大加速度	主车最大加速度<前车最大加速度, 但某些过程存在波动,尚可接受	15
速度波动量	稳态跟车过程中,速度波动量<2 km/h	5
车道中心线 相对距离	跟车过程中,车辆距离车道中心线距 离存在波动,但可以接受	1
停车距离	该车纵向停车距离为6.45 m,距离过 大,故得分为0分	0

5 结语

高级驾驶辅助功能测试评价是开展技术研发和工程化应用的重要环节,本研究从智能跟车功能的安全性和舒适性方面,并分别选取功能完整性、运行可靠性、表现一致性、守法礼让、操控稳健性、风格稳定和氛围舒适多个评价子维度。基于预计碰撞时间(TTC)、车头时距(THW)、最大加(减)速度、速度波动量、车道中心线相对距离和纵向停车距离作为评价指标参数,利用层次分析法(AHP)和德尔菲法(Delphi),本文设计了一套综合评价模型,主要创新点如下:

(1)评价框架:设计了以智能跟车功能安全性和舒适性为评价准则的递阶层次结构,通过建立智能跟车综合评价指标模型,实现智能跟车功能评价体系的多维度解读。

(2)评价指标:以智能跟车功能相关的标准法规为依托,尽可能多地采用客观参数,构筑评价模型。

(3)赋权方法:通过德尔菲(Delphi)法调研多位业内专家,有效降低了层次分析法在构筑判断矩阵时受人为因素干扰。

声明:本文在进行专家问卷调查时,所邀请的专家均为相关企业资深工程师,且与本文作者无任何利益关系。

参考文献

- [1] 陈君毅,李如冰,邢星宇,等. 自动驾驶车辆智能性评价研究综述[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2019, 47(12): 1785-1791.
- [2] 中国汽车技术研究中心. C-NCAP管理规则(2021年版)[EB/OL].(2021-10)[2022-12-30].<https://www.c-ncap.org.cn/>.
- [3] ISO. Intelligent transport systems — Adaptive Cruise Control systems — Performance requirements and test procedures: ISO 15622:2010[S/OL]. (2010-04)[2022-11-30]. <https://www.iso.org/standard/50024.html>.
- [4] 朱西产,张佳瑞,马志雄. 安全切入场景下的驾驶人初始制动时刻分析[J]. 中国公路学报, 2019, 32(6):262-273+318.
- [5] 王少娜,董瑞,谢晖,等. 德尔菲法及其构建指标体系的应用进展[J]. 蚌埠医学院学报, 2016, 41(5): 695-698.
- [6] 韩广华,樊博. 李克特式量表语义差异对科学测量的影响[J]. 科技进步与对策, 2017, 34(20): 1-6.
- [7] ZHANG X, ZHAO Y A, GAO L, et al. Evaluation Framework and Method of the Intelligent Behaviors of Unmanned Ground Vehicles Based on AHP Scheme[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 721(12): 476-480.
- [8] 曾栋,李坤刚,程海峰,等. 基于FCE-AHP的汽车驾驶体验评价方法及应用[J]. 现代制造工程, 2019(11): 67-73+106.

【作者简介】

卢迪柯(1989—),男,同济大学智能网联汽车测评基地主管,同济大学汽车学院2020级硕士研究生,研究方向为智能网联汽车测试与评价。