

车路协同场景下导航播报方式有效性评估

朱建华¹ 王 静² 俞 洁² 吴 畏² 周义程²

(1. 浙江绍兴嵊新高速公路有限公司 绍兴 312400; 2. 浙江数智交院科技股份有限公司 杭州 310000)

[摘 要] 导航信息作为驾驶人进行决策的重要依据,其播报方式差异性会对驾驶人的信息接受程度和理解程度产生不同的作用效果,因此,有必要研究不同播报方式对驾驶行为的影响表现。针对高速公路大流量路段车路协同场景下,不同导航播报方式对驾驶行为的有效性评估,缺乏量化依据的问题,文章基于驾驶模拟器,搭建了4类车路协同典型场景,并选取38名驾驶人进行驾驶模拟实验,获取驾驶行为数据并采用灰色近优综合评价法,从驾驶效率和安全2个层面选取4个指标,评估了近距离、远距离两种播报时机和哔声、语音两种播报形式4种组合方案的有效性。研究表明,高速公路大流量路段车路协同场景下驾驶人偏向远距离语音播报。

[关键词] 高速公路;车路协同;导航播报方式;大流量;灰色近优

1 引言

高速公路大流量路段相比其他路段交通事故率约为2-3倍,导航信息对驾驶人进行安全高效行驶具有重要作用。尤其是车路协同场景下,不合理的信息播报方式可能会导致驾驶安全和效率的降低^[1]。因此,研究高速公路大流量路段车路协同场景下导航信息播报方式对驾驶行为的有效性评估具有重要意义。

播报时机和播报形式是导航播报方式的两个重要方面,国内外学者围绕着两方面开展了深入的研究。针对导航信息播报时机,Yun等人研究导航信息如何影响城市高速公路出口的换道行为发现,导航信息对换道行为的影响随交通流密度和首次提供导航信息的时间点而变化^[2]。Yan等人发现对于即将发生的危险情况,5.5s的预警提前量可进行较好的预警,且认为驾驶员应至少有2.5s的反应时间进行制动反应才能确保驾驶安全^[3]。针对导航播报形式,Wu等人对比驾驶人在使用简单和复杂两种提示信息两种情况下的驾驶表现和认知负荷,结果表明简单提示信息播报(时间短),更易被驾驶人接受和理解^[4]。Dalton等人研究发现,简单语音指令与复杂语音指令相比,其更易被遵守,

且不干扰驾驶人的任务执行^[5]。Chin等人比较了单音节抽象音和语音两种预警声音方式下驾驶人的反应时间,结果表明单音节抽象音预警方式下驾驶人的反映时间更短,车辆轨迹偏离标准差更小^[6]。

上述学者对导航的研究大部分集中在城市道路场景下,针对高速公路场景的较少,本文基于驾驶模拟器搭建了4类高速公路大流量车路协同典型场景,评估了高流量/低流量下不同播报时机和播报形式作用下驾驶人行为效用,研究结果旨在增进对车路协同场景下导航播报方式差异性对驾驶行为有效性的认识,为智慧高速建设中制定对应的导航播报方式提供依据。

2 实验设计

2.1 被试人员选取

研究招募38名被试人员,26名男性,12名女性,男女被试比例与目前我国男女驾驶人比例相近,被试人员统计信息详见表1。被试人数满足中心极限定理经验法则规定的驾驶行为研究样本量不应小于30的要求^[7]。所有被试均持有有效的机动车驾驶证,平均驾龄为 7.9 ± 5.98 年。被试人员的年龄在21岁至57岁之间,平均年龄是 35.11 ± 13.34 岁。所有被试身体状况良

收稿日期:2022-04-19

作者简介:朱建华(1972-),男,政工师,主要从事交通运输管理工作。

好，无色弱、色盲，视力水平在 0.5 以上。

表 1 被试人员统计信息

性别	人数	年龄		驾龄		职业 驾驶员	非职业 驾驶员	了解 驾驶辅助	不了解 驾驶辅助
		平均值	标准差	平均值	标准差				
男	26	39.36	13.14	8.8	5.64	16	10	16	10
女	12	31.25	13.38	6.8	6.02	6	6	9	3
总计	38	35.11	13.34	7.9	5.98	22	16	25	13

2.2 实验设备

研究采用单人固定式基座驾驶模拟器，模拟器配有方向盘、离合器、加速器和刹车踏板等操作装置，能提供 180° 的正面视野图像，具有 2560×1600 分辨率，可以为驾驶人提供具有真实度的道路环境和交通环境。在车辆运行过程中，模拟器平台以 60 Hz 频率输出方向盘转角等驾驶行为以及车辆的位置、速度、加速度、偏航角等车况数据。

2.3 实验场景

实验路段为高速公路双向八车道大流量路段，车道宽度为 3.75m，总长度约为 10km，限速 120km/h，设置干燥路面和日光条件。为了保证核心路段交通流状态达到并保持稳定，测试路线在起点和终点均延长了 1km 的直线车道。实验场景中交通标志标线的设置符合《道路交通标志和标线》（GB5768）要求。道路环境由 3D Studio Max 软件生成，并导入模拟器数据库，如图 1 所示。



图 1 模拟场景图

研究设置两种预警信息触发时机，即远距离（500m）和近距离（200m），以及两种声音形式，即哔声和语音播报，语音播报内容选取目前导航常规播报内容，播报时机和播报形式的信息组合见表 2。

表 2 播报时机和播报形式的信息组合

车路协同 场景	播报时机 和形式	播报时机	播报形式
限速预警		200m	哔声
	前方 200m 限速 80km/h		语音播报
		500m	哔声
	前方 500m 限速 80km/h		语音播报
易发事故路段提醒		500m	哔声
	前方 500m 长下坡， 请减速慢行		语音播报
	1 公里		哔声
	前方 1 公里长下坡， 请减速慢行		语音播报
车内标牌		500m	哔声
	前方 500m 收费站，需要从此 出口下高速的车辆，请注意后 方来车，提前变道		语音播报
	1 公里		哔声
	前方 1 公里收费站，需要从此 出口下高速的车辆，请注意后 方来车，提前变道		语音播报
前方路况预警		前方 500m	哔声
	前方 500m 交通拥堵，预计 通行时间 x 分钟，请慢行		语音播报
	前方 1 公里		哔声
	前方 1 公里交通拥堵，预计 通行时间 x 分钟，请慢行		语音播报

2.4 实验流程

实验主要过程如下：

- (1) 被试人员填写个人基本信息表，包含性别、年龄等信息；
- (2) 预实验：调取非实验场景，被试人员试驾 5min，熟悉模拟器操作和模拟运行环境；
- (3) 正式实验：被试人员以随机顺序驾驶 4 个实验场景，每个场景约需 4min，共 16min。

3 有效性评估

采用灰色近优综合评价导航信息播报方式

对驾驶行为的效用。灰色近优是以灰色关联分析理论为依据的灰色综合评估法的一种,具有原理简单易懂、样本量要求不高、评价结果相对客观等特点^[8]。

3.1 灰色近优评价流程

(1) 建立灰矩阵

设有 m 种设置方案 $M_j (j = 1, 2, \dots, m)$, n 个评价指标 $C_j (j = 1, 2, \dots, n)$, 则得到 m 种方案、 n 维指标的灰矩阵, 即:

$$R_{nm} = \begin{pmatrix} C_1 \\ M \\ C_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R_{11} & K & R_{1m} \\ M & O & M \\ R_{n1} & L & R_{nm} \end{pmatrix} \quad (1)$$

式中: R_{ij} ——第 j 种设置方案的第 i 个评价指标, 即灰矩阵 R_{nm} 的灰元。

(2) 建立白化灰矩阵

将实际获得的 m 种方案 n 个评价指标值代入上述矩阵 R_{nm} , 则获得白化灰矩阵 $\bar{R}_{nm}$, 即:

$$\bar{R}_{nm} = \begin{pmatrix} C_1 \\ M \\ C_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \bar{R}_{11} & K & \bar{R}_{1m} \\ M & O & M \\ \bar{R}_{n1} & L & \bar{R}_{nm} \end{pmatrix} \quad (2)$$

(3) 建立近优白化灰矩阵

对白化矩阵 $\bar{R}_{nm}$ 中各白化灰元值进行无量纲化处理, 即将各白化灰元值映射到 $[0, 1]$ 区间。接着以各白化灰元的效果测度取代白化灰元值, 得到近优白化灰矩阵 $\bar{R}'_{nm}$, 即:

$$\bar{R}'_{nm} = \begin{pmatrix} C_1 \\ M \\ C_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \bar{R}'_{11} & K & \bar{R}'_{1m} \\ M & O & M \\ \bar{R}'_{n1} & L & \bar{R}'_{nm} \end{pmatrix} \quad (3)$$

式中: $\bar{R}'_{ij}$ ——第 j 种设置方案的第 i 个评价指标的近优白化灰量值, 实际上就是关联度, 即效果测度。一般工程领域常用单点效果测度, 包括上限效果测度 (应用于越大越优型指标)、中限效果测度 (应用于适中型指标) 和下限效果测度 (应用于越小越优型指标)。

越大越优型指标:

$$\bar{R}'_{ij} = \frac{\bar{R}_{ij}}{\max\{\bar{R}_{ij}, \mu_{\max}\}} \quad (4)$$

式中: $\max\{\bar{R}_{ij}, \mu_{\max}\} = \max\{\bar{R}_{i1}, \bar{R}_{i2}, \dots, \bar{R}_{im}, \mu_{\max}\}$
 $\mu_{\max}$ ——指定的最大值

越小越优型指标:

$$\bar{R}'_{ij} = \frac{\min\{\bar{R}_{ij}, \mu_{\min}\}}{\bar{R}_{ij}} \quad (5)$$

式中: $\min\{\bar{R}_{ij}, \mu_{\min}\} = \min\{\bar{R}_{i1}, \bar{R}_{i2}, \dots, \bar{R}_{im}, \mu_{\min}\}$
 $\mu_{\min}$ ——指定的最小值

适中型指标:

$$\bar{R}'_{ij} = \frac{\min\{\bar{R}_{ij}, \mu_0\}}{\max\{\bar{R}_{ij}, \mu_0\}} \quad (6)$$

式中: μ_0 ——指定的适中值

由式 (4), (5), (6), 根据具体情况, 选择不同的计算指标, 求解出近优度并对其进行排序, 以此来对所评价的各设置方案进行整体比较, 得到近优度白化灰元矩阵 $\bar{R}'_s$, 即:

$$\bar{R}'_s = S_j [S_1, S_2, \dots, S_m] = S_j \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{R}'_{i1}, \frac{1}{n} \sum_{i=2}^n \bar{R}'_{i2}, \dots, \frac{1}{n} \sum_{i=2}^n \bar{R}'_{im} \right] \quad (7)$$

根据式 (7) 计算出设置方案的近优度, 然后根据大小进行排序, 近优度值越接近 1, 说明该设置方案的综合评价越好。

3.2 灰色近优评价流程

笔者选取运行速度、行程时间、速度标准差和加速度均值作为驾驶人行为表现指标。运行速度指车辆通过指定区段的平均速度, 行程时间指车辆通过区段所需要的时间, 这两个指标反映驾驶效率^[9]; 速度标准差指车辆运行速度的离散状况, 加速度均值指车辆速度的平均变化速度, 这两个指标反映驾驶安全^[10]。运行速度为越大越优型指标, 行程时间、速度标准差和加速度均值为越小越优型指标。

(1) 建立灰矩阵

4 种设置方案分别为: 近距离哔声, 近距离语音, 远距离语音, 远距离哔声; 4 个评价指标分别为: 运行速度 (km/h)、行程时间 (s)、速度标准差 (km/h) 和加速度均值 (m/s²)。得到 4 种方案, 4 维指标的灰矩阵 R_{4*4} 。

$$R_{4*4} = \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 71.176 & 72.966 & 77.439 & 72.614 \\ 30.355 & 34.358 & 28.348 & 30.275 \\ 3.527 & 3.902 & 2.647 & 3.026 \\ 0.573 & 0.703 & 0.585 & 0.600 \end{pmatrix}$$

(2) 将实际获得的 4 种方案 4 个评价指标

值代入灰色系统模型,得到大流量下不同导航播报方式效用的白化灰矩阵 $\bar{R}_{4 \times 4}$

$$\bar{R}_{4 \times 4} = \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.344 & 0.353 & 0.374 & 0.351 \\ 0.342 & 0.387 & 0.319 & 0.341 \\ 0.395 & 0.437 & 0.297 & 0.339 \\ 0.326 & 0.400 & 0.334 & 0.342 \end{pmatrix}$$

(3) 将大流量下4种导航播报方式的4个指标映射到 $[0, 1]$,得到相应的近优白化灰矩阵 $\bar{R}'_{4 \times 4}$

$$\bar{R}'_{4 \times 4} = \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.3786 & 0.806 & 0.855 & 0.802 \\ 0.794 & 0.702 & 0.851 & 0.796 \\ 0.687 & 0.621 & 0.915 & 0.801 \\ 0.833 & 0.678 & 0.814 & 0.794 \end{pmatrix}$$

(4) 然后计算出大流量下4种播报方式的近优度,列出近优度白化灰元矩阵为:

$$\bar{R}'_s = S_j [S_1, S_2, \dots, S_m] = S_j [0.77, 0.70, 0.86, 0.80]$$

对导航信息播报方式的白化灰近优度进行近优度排序,如图2所示,可得到信息播报方式对于驾驶人驾驶行为有效性的顺序:远距离语音>远距离铃声>近距离铃声>近距离语音。由此可知,大流量下宜采用远距离语音播报方式,对驾驶人驾驶行为的综合效果最佳,能有效提升驾驶效率与安全。

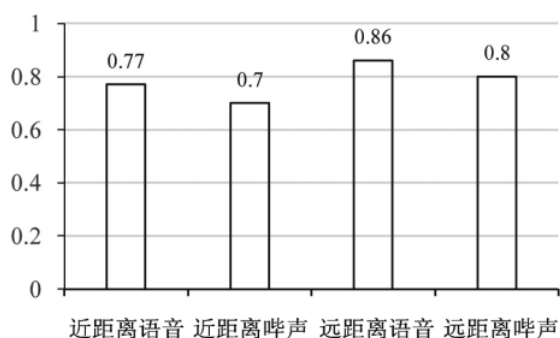


图2 导航播报方式近优度排序

4 结语

针对高速公路大流量路段车路协同场景下导航播报方式对驾驶人行为有效性评估的问题,笔者基于驾驶模拟实验平台,以4种典型车路协同场景为例,采用灰色近优评价方法,评估大流量下不同导航播报方式对驾驶效率和安全效用,为甄选确保车辆运行更顺畅、更安全

的播报方式奠定了基础。本文的主要结论如下:

播报时机对驾驶人驾驶行为影响更大,远距离语音播报下驾驶行为效用更优。原因可能是大流量下车速较慢,驾驶人需关注的路况因素较多,远距离播报可提前告知驾驶人时间信息更有利于其驾驶决策,语音播报在车速较慢条件下对信息传达更为清晰且不易造成驾驶人负荷。

上述结论增进了对高速公路车路协同下导航播报方式作用的认识,为车路协同信息交互研究提供理论支撑。然而,笔者以4类典型车路协同场景为例开展研究,导航播报方式在不同场景的作用效果可能存在差异。因此,在未来的研究中,将进一步探索各类车路协同场景下导航播报方式对驾驶人行为表现的作用规律,增进对导航播报作用机理的认识。

参考文献

- [1] Matthews G, Desmond P A. Stress as a factor in the design of in-car driving enhancement systems. [J]. Le Travail Humain, 1995, 58 (2): 109-129.
- [2] Yun, M., J. Zhao, J. Zhao, and X. Yang. Impact of in-vehicle navigation information on lane-change behavior in urban expressway diverge segments [J]. Accident Analysis & Prevention, 2017, 106: 53-66.
- [3] Yan X, Zhang Y, Ma L, et al. The influence of in-vehicle speech warning timing on drivers' collision avoidance performance at signalized intersections [J]. Transportation Research Part C Emerging Technologies, 2015, 51: 231-242.
- [4] WU C F, HUANG W F, WU T C. A Study on the Design of Voice Navigation of Car Navigation System [C]. Human-Computer Interaction, Ambient, Ubiquitous and Intelligent Interaction, 13th International Conference. San Diego: Springer-Verlag, 2009: 141-150.
- [5] DALTON P, AGARWAL P, FRAENKEL N, et al. Driving with navigational instructions: Investigating user behaviour and performance [J]. Accident Analysis & Prevention, 2013, 50: 298-303.
- [6] Fung C. P., Chang S. H., Hsu C. C.. The study on the influence of audio warning systems on driving performance using a driving simulator [C]. Lyon, France: 20th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, 2007: 1-5.
- [7] 李子奈, 潘文卿. 计量经济学 (第三版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.
- [8] 陈俊. 驾驶人对交通标志视认的短时记忆衰减研究[D]. 长安大学, 2009.
- [9] 朱明志. 关于货车旅行速度统计方法的探讨 [J]. 铁道运输与经济, 1998 (9): 35-37.
- [10] 吴义虎, 武志平. 基于平均车速和车速标准差的路段安全分析方法 [J]. 公路交通科技, 2008, 25 (3): 139-142.