

# L3级自动驾驶接管过程驾驶员情景意识研究

胡宏宇<sup>1</sup>, 张慧珺<sup>1</sup>, 姚荣涵<sup>2</sup>, 陈国迎<sup>1</sup>, 高菲<sup>1</sup>

(1. 吉林大学汽车仿真与控制国家重点实验室, 长春 130022; 2. 大连理工大学交通运输学院, 大连 116024)

**摘要:** 针对L3级自动驾驶驾驶员接管准备情况, 进行了驾驶员在从事不同类型的非驾驶相关任务(NDRTs)下的情景意识研究。基于驾驶模拟器搭建了面向L3级自动驾驶的仿真测试场景, 通过情景意识问卷与驾驶员眼动行为测量对情景意识准备情况进行讨论分析。研究结果表明: 随着NDRTs占据感官模态的增多, 驾驶员的注意力会更少集中在驾驶任务上, 对于驾驶环境元素的关注也会相应减少, 对情景意识的恢复产生负面影响。

**关键词:** 车辆工程; 自动驾驶汽车; 接管; 情景意识; 非驾驶相关任务; 眼动行为

**中图分类号:** U471.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5497(2024)02-0410-09

**DOI:** 10.13229/j.cnki.jdxbgxb.20220378

## Driver's situational awareness in takeover process of L3 automated vehicles

HU Hong-yu<sup>1</sup>, ZHANG Hui-jun<sup>1</sup>, YAO Rong-han<sup>2</sup>, CHEN Guo-ying<sup>1</sup>, GAO Fei<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Automotive Simulation and Control, Jilin University, Changchun 130022, China; 2. School of Transportation and Logistics, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

**Abstract:** In this paper, situational awareness of drivers engaged in different types of non-driving-related tasks (NDRTs) is conducted for takeover readiness of L3 automated vehicles. Simulation testing scenarios are built based on driving simulator platform. Then, the situational awareness readiness was discussed and analyzed through the situational awareness questionnaire and the driver's eye movement behavior measurement. Experimental results show that as NDRTs occupy more sensory modalities, the driver's attention will be less focused on the driving task, and the attention to the elements of the driving environment will be correspondingly reduced, which has a negative impact on the recovery of situational awareness.

**Key words:** vehicle; automated vehicles; takeover; situation awareness; non-driving related tasks; eye movement

## 0 引言

自动驾驶汽车能有效减轻驾驶员负担, 提升

道路交通运行效率。J3016标准中明确了L0~L5自动驾驶等级的功能内容<sup>[1]</sup>。其中, L3有条件驾驶自动化是自动驾驶技术发展过程中的一个重要

收稿日期: 2022-04-07.

基金项目: 吉林省自然科学基金项目(20210101064JC); 国家自然科学基金项目(52272417, 52202495).

作者简介: 胡宏宇(1982-), 男, 教授, 博士. 研究方向: 智能驾驶, 人机协同交互. E-mail: huhongyu@jlu.edu.cn

通信作者: 高菲(1989-), 女, 副教授, 博士. 研究方向: 智能汽车人机工程. E-mail: gaofei123284123@jlu.edu.cn

阶段。L3级自动驾驶执行期间驾驶员无需时刻监管车辆,并允许从事各种与驾驶无关的任务(Non-driving related tasks, NDRTs)<sup>[2]</sup>。然而,当自动驾驶系统发生系统故障或超出其限定的运行设计域时,系统会对驾驶员发出接管请求(Take-over request, TOR),驾驶员需要及时做出响应并接管车辆进行人工控制。这种情况下他们对驾驶环境的感知理解将减弱,接管车辆重新回到在环状态进行驾驶操纵将极具挑战性。

近年来,针对自动驾驶过程驾驶员参与NDRTs及其后续接管表现等内容备受关注<sup>[3,4]</sup>。Dogan等<sup>[5]</sup>研究表明,NDRTs使驾驶员反应能力下降,接管时间增加,但是对于车辆的横向控制没有影响;钮建伟等<sup>[6]</sup>对驾驶员玩游戏和打电话状态下的接管过程进行了探索,对驾驶员在收到TOR后立即接管和收到TOR并发现冲突再接管两种行为模式进行了对比;王抢等<sup>[7]</sup>讨论了视觉和听觉两种类型的NDRTs对视觉搜索能力的影响;鲁光泉等<sup>[8]</sup>研究表明,年轻驾驶员参与视觉非驾驶相关任务时会显著增加接管时间。

自动驾驶接管请求发出后,驾驶员的接管准备将取决于驾驶员正在从事的NDRT和其个体反应特性。Zeeb等<sup>[9]</sup>的研究显示从自动驾驶到人工驾驶的接管控制过程,从一些突发事件引起接管请求开始,驾驶员会逐步启动涉及视觉、认知和身体等方面的准备过程。驾驶员在该准备过程需要对周围有良好的了解,也就是需要有良好的情景意识(Situation awareness, SA)。SA是在一定的时空范围内对环境要素的感知、理解,以及对未来状态的预测<sup>[10]</sup>。Kass等<sup>[11]</sup>发现,开车时打电话会导致对驾驶情况理解的不准确,SA较差;Scott-Parker等<sup>[12]</sup>研究发现,有经验的驾驶员对驾驶环境及其带来的风险有着相似的理解,不同年龄驾驶员的SA存在很大的差异。此外,对于SA的评价的研究也逐渐发展成熟,SA全局评估技术(Situation awareness global assessment technique, SAGAT)、情景现状评估方法(SPAM)等直接SA测量方法和通过生理指标的间接测量方法在研究中应用较多。

综上所述,要保证安全高效地完成驾接管任务,针对不同特性的驾驶员在不同参与程度的NDRTs下,驾驶员情景意识的合理评估很有必要。为此,基于驾驶模拟器平台,本文在PreS-

can+Simulink联合仿真环境下搭建了L3级自动驾驶功能与道路环境仿真场景,测试驾驶员在从事不同的NDRTs下的接管准备情况,通过情景意识问卷与驾驶员眼动行为测量对SA恢复情况进行讨论分析。

## 1 实验设计

### 1.1 参与者

实验招募了27名参与者(包括16名男性和11名女性),年龄范围在21岁至51岁之间,平均年龄为31.13岁,标准差为8.67岁。实验参与者均持有中国有效驾照,平均驾龄为8.48年,标准差为5.59年,平均年均驾驶里程为7103.70公里,标准差为9398.75公里。根据年均驾驶里程数将参与者分为驾驶经验丰富组(13人)和驾驶经验不足组(14人)。

### 1.2 实验设备

本文在搭建的驾驶模拟器平台上进行。实验设备包括工作站主机,驾驶场景显示屏,听觉提醒音响,一个附加的7英寸小屏幕用作接管提醒显示装置,平板电脑用作NDRTs设备,罗技G29 Driving Force模拟方向盘,加速踏板,制动踏板等,实验设备如图1所示。模拟器设计模拟的是L3级自动驾驶场景。实验过程中,开启自动驾驶功能后,参与者的手、脚、眼、注意力可以脱离驾驶任务。测试者佩戴穿戴式眼球跟踪系统Tobii Glasses 2.0用于采集眼动信息,可采集到如注视时间、瞳孔位置、注视方向、瞳孔直径、眼睑开度等眼动数据,记录频率为50 Hz。

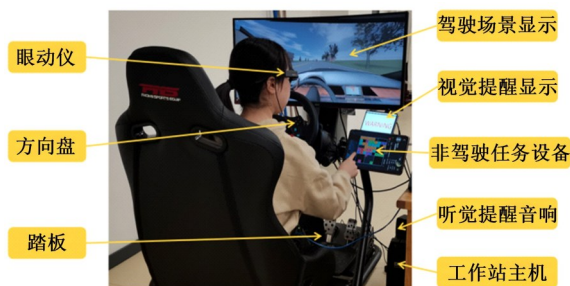


图1 驾驶模拟器平台

Fig. 1 Driving simulator platform

### 1.3 实验场景

在PreScan+Simulink联合仿真环境下搭建城市道路场景。在接管请求发出前,L3级驾驶自动化系统以50 km/h的车速在城市道路环境中自动驾驶,包含双向四车道和双向六车道道路。接

接管请求后的场景,向参与者显示一些驾驶环境元素,包括行人、非机动车、周围行驶车辆、静止障碍物、道路标志、静止车辆等,如图 2 中黑色图标所示,红色车代表自车。每位参与者进行 4 次(4 种 NDRT)模拟驾驶任务实验。每次实验接管提醒后呈现的环境要素的数量和类型大致相同,但出现的位置和时间不同,目的是在不同任务条件下创造环境元素的不同组合,形成随机顺序,降低学习效果。

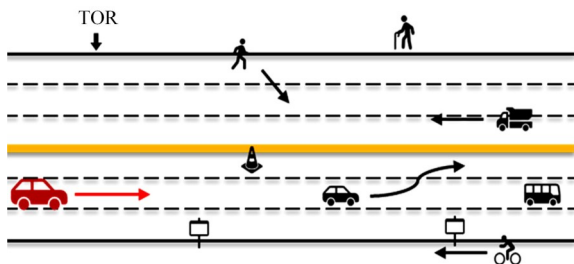


图 2 实验场景示意图

Fig. 2 Diagram of experimental scenario

### 1.4 NDRTs

在 L3 自动驾驶过程,驾驶员可能会从事多种 NDRTs。NDRTs 根据占据驾驶员手、眼、脑等感官模式的不同,可分为认知类型 NDRT、视觉类型 NDRT、动作类型 NDRT 以及组合类型 NDRT。本研究选择了参与者在实际自动驾驶过程中发生频率较高的 4 种 NDRTs 进行对照实验,包括听新闻(认知)、看视频(认知和视觉组合)、玩游戏与打字聊天(认知、视觉和动作组合)。本文测试驾驶员在从事不同参与程度的 NDRTs 对于

接管准备的差异。

### 1.5 实验流程

在实验之前,要求参与者填写一份实验信息调查问卷,包括年龄、性别、受教育程度以及有关他们驾驶经历的问题。然后,向参与者介绍研究目的、实验任务要求、模拟器功能和参与者在实验中的任务。之后,要求参与者坐在驾驶模拟器中,使其调整座位到一个舒适的位置,以确保参与者能够看到驾驶场景显示、接管提醒显示以及非驾驶任务设备。位置调整好后向参与者对眼动仪设备进行了简单的介绍,并且对眼动仪进行标定。

参与者在驾驶模拟器上进行 5~10 min 的练习实验,以熟悉驾驶仿真场景、NDRTs、接管场景和 SAGAT 问卷。练习实验场景与正式实验场景相似。在练习实验结束时,向参与者展示 SAGAT 问卷的示例。SAGAT 问卷示例中的问题类型和数量与实际实验中相同。

准备工作就绪、练习实验结束后,开始进行正式实验。实验中,参与者需要在模拟器上进行 4 次模拟驾驶任务,每次涉及一种 NDRT。每次模拟运行包括 3 min 左右的 L3 级自动驾驶阶段,然后是一个 1 s 左右的“warning”人声警报音和红色的“warning”图像被用作接管请求,之后参与者进行 6~8 s 的周围环境信息观察,最后完成 SAGAT 问卷。实验流程如图 3 所示。参与者被要求在模拟器有条件自动驾驶模式下执行 NDRTs,一旦参与者感知到 TOR,需要停止执行 NDRT,并将注意力集中到模拟器显示屏上的驾驶场

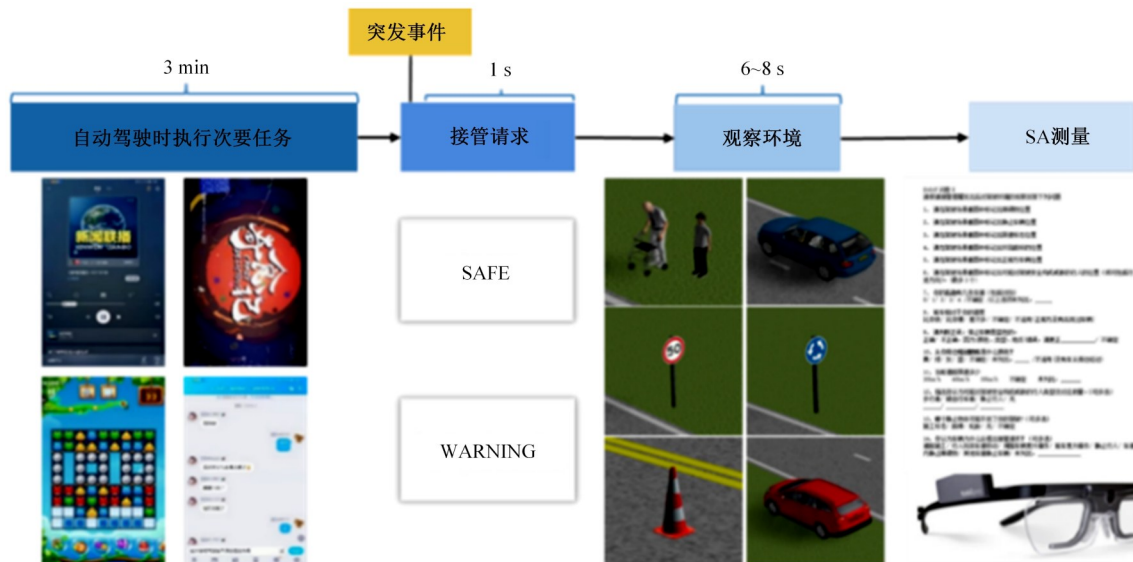


图 3 实验流程

Fig. 3 Experimental procedure

景。在 TOR 之后,车辆将继续以自动驾驶模式行驶。在这一阶段,参与者要尽可能多地观察并理解周围环境要素,为即将到来的接管做准备。4 次实验中,接管场景出现的时间不同,同时 NDRTs 以随机顺序呈现,以降低参与者的学习效果。一次实验运行结束后,参与者休息 3 min,实验人员记录保存数据、更换实验场景。

## 1.6 SA 测量方法

### 1.6.1 SAGAT

SAGAT 是一种应用广泛的客观的 SA 直接测量方法,它要求参与者在模拟仿真场景中执行目标

任务,在任意时间点停止模拟实验,并询问参与者对当时环境的认识情况,可以提供参与者对情境的心理模型定格<sup>[13]</sup>。根据研究需要关注与视觉注意力分配相关的情景意识水平,制定可以反映出驾驶员对驾驶场景中元素的感知(SA 等级-1)和理解(SA 等级-2)程度的问卷,表 1 显示了问卷的问题列表。在每次模拟实验结束后,向参与者展示剔除了所有驾驶环境元素的空白驾驶场景截图,要求参与者在图中指出曾经出现的行人、周围车辆、道路标志、障碍物等元素的位置,并回答相关问题。根据参与者回答问题正确率,给出 SA 分数。

表 1 情景意识全局评估技术(SAGAT)问卷问题列表

Table 1 Question list of situation awareness global assessment technique

序号	兴趣区域	SA 等级	问题	答案选项
1	道路标志	1	指出环岛路标的位置	目标在驾驶场景中的实际位置
2	行人	1	指出你认为可能对驾驶安全构成威胁的行人的位置	目标在驾驶场景中的实际位置
3	前方车辆	1	指出前车位置	目标在驾驶场景中的实际位置
4	静止车辆	1	指出停止车辆位置	目标在驾驶场景中的实际位置
5	限速标志	1	指出限速标志位置	目标在驾驶场景中的实际位置
6	静止物体	1	指出障碍物位置	目标在驾驶场景中的实际位置
7	车道位置	1	右边有几条车道,左边有几条车道(包括对向)	0/1/2/3/4 / 不确定
8	前方车辆	2	停在前面的是蓝色 SUV? 前面的红色车试图向左并道? 前车在模拟停止前做了什么?	正确/不正确,因为(颜色、类型、地点)错误,请重新描述情况/减速/转到右车道/转到左车道/不
9	总体情况	2	你认为车辆为什么会提出接管请求	道路施工/行人向本车道移动/周围车辆意外操作/前车意外操作/静止行人/车道内静止障碍物/其他车道静止车辆/未列名,请在此填写
10	运动车辆	2	从你旁边经过的那辆车颜色	黄/绿/灰/蓝/不确定/不适用(没有车从旁边经过)
11	限速标志	2	当前道路限速多少(km/h)	30/40/50/未列出/不确定
12	行人	2	你认为可能对驾驶安全构成威胁的行人类型及数量	步行者/跑步者/骑自行车者/静态行人/无
13	静止物体	2	哪个静止物体可能干扰了你的驾驶?	施工标志/路障/轮胎/无/不确定
14	静止车辆	2	哪辆静止车辆可能干扰了你的驾驶策略?	救护车/消防车/货车/小汽车/无/不确定

### 1.6.2 眼动测量

眼动追踪是 SA 研究中较为常用的方法,有研究指出了有意识的眼动指标与 SA 之间的相关性。本研究所采用的眼动测量指标如下:

(1)总注视次数:实验原始的眼动数据中,眼睛对一个目标保持 100 ms 以上的停留被定义为注视行为。注视次数即为接管请求发出后到该次模拟驾驶停止前,参与者注视行为的计数。

(2)兴趣区域(Areas of interests, AOIs)注视时间占比:本研究中兴趣区域(AOIs)为接管请求后,特定环境元素(行人、前方运动车辆、周围运动车辆、道路标志、静止障碍物和静止车辆等)所在的区域。由于这些 AOIs 大小不规则且运动状态

不统一,需要逐帧对 AOIs 进行标记。

(3)扫视路径长度:扫视行为是两次注视行为之间双眼同时快速的运动。两次注视行为的注视点之间的距离即为扫视路径长度。

## 2 结果分析

剔除异常数据后得到有效实验数据共 24 组,其中驾驶经验丰富 12 组,驾驶经验不足 12 组;女性驾驶员 10 组,男性驾驶员 14 组。

### 2.1 SA 分数

图 4(a)为不同非驾驶任务类型下参与者的 SA 分数对比。随着非驾驶任务所占据的感官模态的增加,参与者的 SA 分数降低。正态性检验

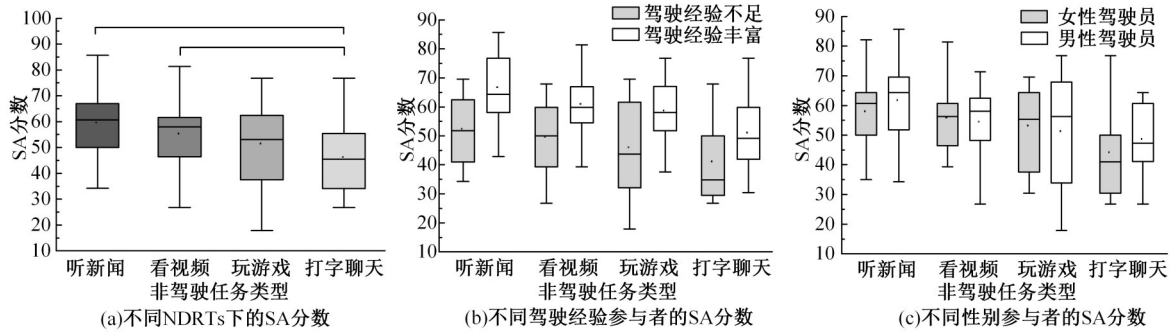


图 4 不同 NDRTs 下的 SA 分数差异分析

Fig. 4 Analysis of difference of SA score for different non-driving related tasks

结果显示,各组数据均服从正态分布( $p$ 值分别为 0.621、0.861、0.524、0.350,均大于 0.05);球形度检验结果显示满足球形假设( $W=0.785$ ,近似  $\chi^2=5.270$ ,  $p=0.384>0.05$ )。不同非驾驶任务的 SA 分数差异具有统计学意义(单因素重复测量方差分析,  $F(3, 69)=4.099$ ,  $p=0.010<0.05^*$ )。事后检验显示,听新闻任务下的 SA 分数比打字聊天任务下的 SA 分数高(95% 置信区间:0.798~25.761),差异具有统计学意义( $p=0.002<0.01^{**}$ );看视频任务下的 SA 分数比打字聊天任务高(95% 置信区间: -0.410~18.443),差异具有统计学意义( $p=0.032<0.05^*$ )。听新闻任务只涉及听觉认知模态脱离驾驶任务,在这种情况下参与者对回归驾驶任务循环重新获得车辆控制有更好的准备。

不同驾驶经验参与者在各个不同的 NDRTs 下的 SA 分数对比如图 4(b)所示。不同驾驶经验组别的参与者在听新闻任务、看视频任务、玩游戏任务下的 SA 分数存在显著差异,不同驾驶经验组别在打字聊天任务下的 SA 分数不存在显著差异。驾驶经验丰富的参与者之间,不同非驾驶任务下的 SA 分数存在显著差异(单因素重复测量

方差分析,  $F(3, 33)=3.500$ ,  $p=0.023<0.05^*$ )。驾驶经验不足的参与者之间,不同非驾驶任务下的 SA 分数不存在显著差异(单因素重复测量方差分析,  $F(3, 33)=1.394$ ,  $p=0.257>0.05$ )。

图 4(c)表明了 4 种不同的 NDRTs 下,不同性别的参与者之间的 SA 分数均不存在显著差异。

### 2.2 注视次数

图 5(a)为不同非驾驶任务类型下注视次数对比。注视次数与情景意识问卷分数呈现相同的趋势,随着非驾驶任务所占据的感官模态的增加,注视次数降低。正态性检验结果显示,各组数据均服从正态分布( $p$ 值分别为 0.972、0.980、0.611、0.541,均大于 0.05);球形度检验结果显示满足球形假设( $W=0.878$ ,近似  $\chi^2=2.818$ ,  $p=0.728>0.05$ )。不同非驾驶任务条件下的注视次数存在显著差异(单因素重复测量方差分析,  $F(3, 69)=6.030$ ,  $p=0.00126<0.01^{**}$ )。事后检验显示,听新闻任务与打字聊天任务下注视次数具有显著性差异( $p=0.000483<0.001^{***}$ );看视频任务下的注视次数比打字聊天任务下的多(95% 置信区间: -0.011~6.678),差异具有统

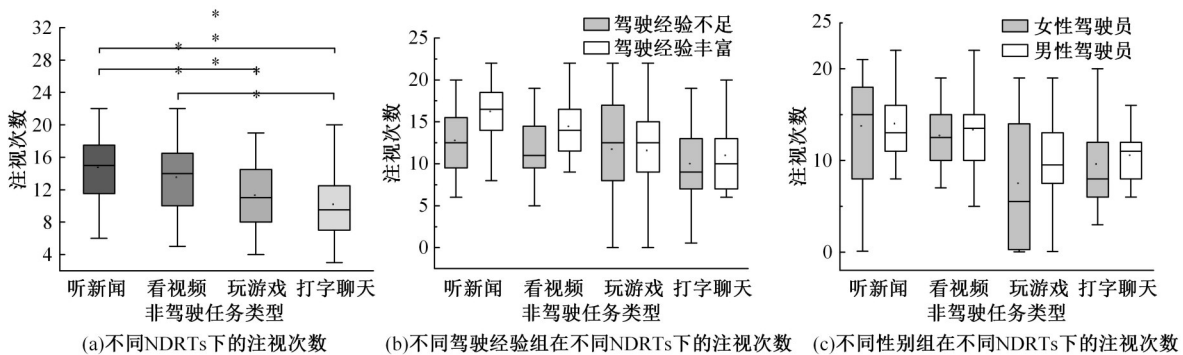


图 5 不同 NDRTs 下的注视次数差异分析

Fig. 5 Analysis of difference of fixation count for different non-driving related tasks

计意义( $p=0.00782<0.01^{**}$ );听新闻任务下的  
 注视次数比玩游戏任务下的注视次数多(95%置  
 信区间:0.190~6.643),差异具有统计学意义  
 ( $p=0.00824<0.01^{**}$ )。

图 5(b)显示了不同驾驶经验参与者在各  
 NDRTs 条件下的注视次数对比。不同驾驶经验  
 组别在进行听新闻任务后的注视次数存在显著差  
 异(配对  $t$  检验,  $p=0.047<0.05^*$ ),不同驾驶经  
 验组别在进行看视频任务、玩游戏任务、打字聊  
 天任务后的注视次数不存在显著差异。驾驶经验  
 丰富的参与者之间,不同非驾驶任务后的注视次  
 数存在显著差异(单因素重复测量方差分析,  $F(3,$   
 $33)=3.625, p=0.018<0.05^*$ );驾驶经验不足  
 的参与者之间,不同非驾驶任务条件下的注视次  
 数不存在显著差异(单因素重复测量方差分析,  
 $F(3,33)=2.089, p=0.083>0.05$ )。

4 种不同的 NDRTs 下,不同性别的参与者之  
 间的注视次数均不存在显著差异,如图 5(c)  
 所示。

### 2.3 兴趣区域注视时间占比

图 6(a)中显示了不同 NDRTs 条件下参与  
 者在 AOIs 的注视时间占比。参与者 AOI 注视时  
 间占比和注视次数有相似的结果,AOI 注视时  
 间占比受到非驾驶任务类型的显著影响。AOI 注  
 视时间占比反映了参与者对兴趣区域环境元素  
 的关注程度。正态性检验结果显示,各组数据均  
 服从正态分布( $p$  值分别为 0.207、0.074、0.300、

0.119,均大于 0.05);球形度检验结果显示满  
 足球形假设( $W=0.933$ ,近似  $\chi^2=1.427, p=0.921>$   
 $0.05$ )。不同非驾驶任务条件下的 AOI 注视时  
 间占比存在显著差异(单因素重复测量方差分  
 析,  $F(3,69)=4.164, p=0.009<0.01^{**}$ )。事后检  
 验显示,听新闻任务、看视频任务下的 AOI 注  
 视时间占比差异具有统计学意义( $p=0.028<0.05^*$ );  
 听新闻任务、玩游戏任务具有显著性差异( $p=0.003<$   
 $0.01^{**}$ );听新闻任务、打字聊天任务下的 AOI 注  
 视时间占比具有显著性差异( $p=0.001<0.01^{**}$ )。

不同驾驶经验分组的参与者在各 NDRTs 下  
 的 AOI 注视时间占比如图 6(b)所示。不同驾  
 驶经验组别的参与者在听新闻任务(配对  $t$  检  
 验,  $p=0.046<0.05^*$ )、看视频任务(配对  $t$  检  
 验,  $p=0.048<0.05^*$ )、玩游戏任务(配对  $t$  检  
 验,  $p=0.029<0.05^*$ )和打字聊天任务(配对  $t$  检  
 验,  $p=0.011<0.05^*$ )后的 AOI 注视时间占比均  
 存在显著差异。驾驶经验丰富的参与者之间,  
 不同非驾驶任务条件下的 AOI 注视时间占比不  
 存在显著差异(单因素重复测量方差分析,  $F(3,$   
 $33)=1.416, p=0.251>0.05$ )驾驶经验不足的参  
 与者之间,不同非驾驶任务条件下的 AOI 注  
 视时间占比存在显著差异(单因素重复测量方  
 差分析,  $F(3,33)=2.976, p=0.046<0.05^*$ )。

图 6(c)表明在 4 种不同 NDRTs 下,不同性  
 别的参与者之间的 AOI 注视时间占比均不存  
 在显著差异。

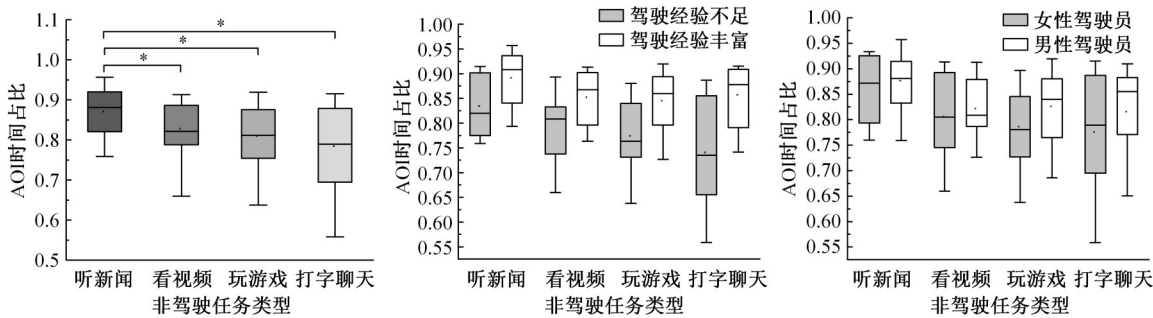


图 6 不同 NDRTs 下的 AOI 时间占比差异分析

Fig. 6 Analysis of difference of % time in AOIs for different non-driving related tasks

### 2.4 扫视路径长度

不同 NDRTs 条件下扫视路径长度对比如  
 图 7(a)所示。扫视路径长度与吸引参与者视  
 觉注意力的环境元素的位置和分布有关。整体  
 来看,随着非驾驶任务涉及的认知类型的增加,  
 扫视路径长度减少。正态性检验结果显示,各  
 组数据

均服从正态分布( $p$  值分别为 0.645、0.291、  
 0.905、0.557,均大于 0.05);球形度检验结  
 果显示满足球形假设( $W=0.781$ ,近似  $\chi^2=5.380,$   
 $p=0.372>0.05$ )。不同非驾驶任务条件下的  
 扫视路径长度存在显著差异(单因素重复测  
 量方差分析,  $F(3,69)=5.609, p=0.002<0.01^{**}$ )。事

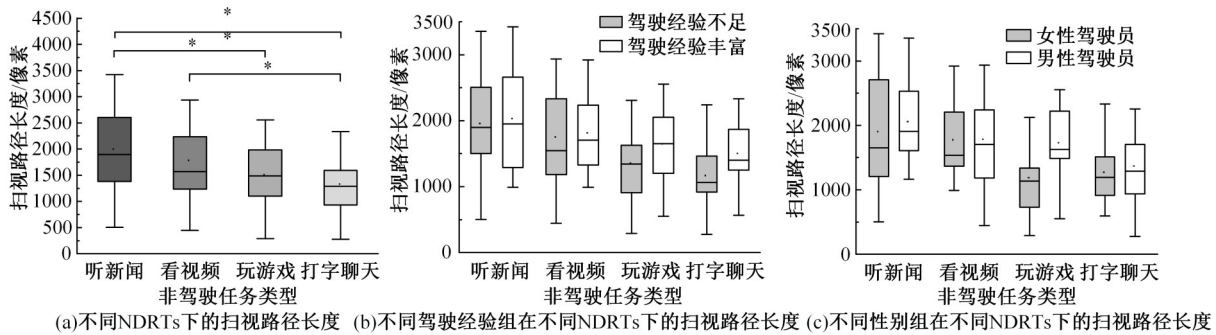


图7 不同NDRTs下的扫视路径长度

Fig. 7 Analysis of difference of scan path length for different non-driving related tasks

后检验显示,听新闻、玩游戏,听新闻、打字聊天,看视频、打字聊天两项任务直接存在显著性差异。

图7(b)显示了不同驾驶经验分组的参与者在各NDRTs下的扫视路径长度对比。不同驾驶经验组别在听新闻、看视频、玩游戏和打字聊天条件下的扫视路径长度均不存在显著差异。驾驶经验丰富的参与者之间,不同非驾驶任务的扫视路径长度不存在显著差异(单因素重复测量方差分析, $F(3,33)=1.515, p=0.224>0.05$ )。驾驶经验不足的参与者之间,不同非驾驶任务的扫视路径长度存在显著差异(单因素重复测量方差分析, $F(3,33)=3.586, p=0.020<0.05^*$ )。

图7(c)为不同性别参与者在各NDRTs下的扫视路径长度对比。不同性别驾驶员在听新闻、看视频和打字聊天下的扫视路径长度不存在显著差异,不同性别驾驶员在玩游戏任务下的扫视路径长度存在显著差异(配对 $t$ 检验, $p=0.0238<0.05^*$ )。男性驾驶员之间,不同非驾驶任务的扫视路径长度存在显著差异;女性驾驶员之间也存在显著差异。

### 3 讨论

随着NDRTs所涉及认知类型的增加,问卷正确率、注视次数、AOI时间占比、扫视路径长度都减小;问卷正确率、注视次数、AOI时间占比、扫视路径长度等指标受到非驾驶任务类型的显著影响。

与听新闻任务相比,打字聊天任务和玩游戏任务的SAGAT问卷正确率较低,且两者之间不存在显著差异。参与者被要求持续参与与驾驶无关的任务,在自动驾驶过程中将视觉注意力和行为动作从前方驾驶场景中脱离。在这样的情况下,参与者没有对周围环境有足够的了解,没有为

接管自动驾驶系统做好准备。在先前的研究中已经有人指出视觉干扰会对SA产生负面影响。Briggs等<sup>[14]</sup>研究表明,在手动驾驶任务期间,驾驶员自愿参与视觉辅助任务,SA的下降可能与参与者没有注意有关。在本文中,看视频任务、玩游戏任务和打字聊天任务时,参与者的视觉注意力是不在前方道路上的,在接管请求之后才将注意力回归到道路场景上。因此,他们之间SA得分的差异可能并不是由于执行NDRTs使得注意力脱离驾驶场景,而是在有限的时间内注意力的分配有关。在听新闻任务条件下,尽管驾驶员在整个驾驶过程中可能没有观察环境,但他们可以根据需要自由地分配视觉注意,驾驶员似乎更多地自愿参与道路环境观察。在先前的研究中,Liang等<sup>[15]</sup>发现,参与视觉检测任务不会改变驾驶员SA的结构,无论视觉检测任务是否存在,驾驶员分配注意力的策略都是相似的。

随着NDRTs所占据的感官模态的增加,注视次数降低。听新闻和看视频是相对简单的NDRTs,认知需求较低;而玩游戏和打字聊天任务的认知需求则较高。玩游戏和打字聊天任务的注视次数明显更少,注视次数越少,说明参与者对于驾驶场景的关注减少,视觉搜索效率降低。AOI注视时间占比反映了参与者的注意力分配情况,也就是对AOI环境元素的关注程度。随着NDRTs所占据的感官模态的增加,AOI时间占比降低,说明参与者对于环境元素的关注减少,注意力分配在驾驶场景上的更少。这些发现与之前涉及眼动跟踪和SA的研究一致,Zhang等<sup>[13]</sup>研究表明有意识的眼球运动通常与直接SA得分呈正相关。随着NDRTs涉及的认知类型的增加,参与者对于前方驾驶场景的关注减少,视觉搜索范围随之缩小,扫视路径长度减少。参与者不足以在

有限时间内关注整个驾驶场景的信息。扫视路径长度同样受到 NDRTs 类型条件的显著差异,这与 Liang 等<sup>[15]</sup>的研究结果不一致。这可能是因为吸引参与者视觉注意力的环境元素的位置和分布可能会降低扫描路径的有效性。也就是说,元素之间的距离可能会影响扫描策略,从而影响扫描路径长度。这种位置分布对结果的影响提出了使用路径相关眼睛跟踪测量进行 SA 评估的可靠性问题。

在4种 NDRTs 类型条件下,驾驶经验丰富的参与者的 SA 得分、注视次数、AOI 时间占比、扫视路径长度的测量值都大于驾驶经验不足的参与者。驾驶经验丰富的参与者和驾驶经验不足的参与者在本文研究的几个指标方面存在较大差异。驾驶经验丰富和不足的参与者的 SAGAT 问卷得分在听新闻、看视频、玩游戏任务后存在显著差异,注视次数在听新闻任务后存在显著差异,AOI 时间占比在4种任务后都存在显著差异;而扫视路径长度按驾驶经验分类显示不存在显著差异。驾驶经验不足的参与者在 NDRTs 后的注视次数更少、在 AOI 注视时间的占比更小、扫视路径长度更短,这显示出他们倾向于减少对前方驾驶场景的关注,并选择相对简单、认知负荷相对较小的观察方式;而驾驶经验丰富的参与者一般来说在 NDRTs 后的注视次数更多、AOI 注视时间占比更多、扫视路径长度更长,这显示出他们倾向于广泛关注驾驶环境中的信息。

## 4 结束语

本文深入发掘了不同 NDRTs 类型对自动驾驶接管过程驾驶员接管准备的影响。结果显示,接管请求前参与 NDRTs 的程度增加会对 SA 的建立恢复产生负面影响。占据的感官模式、涉及的认知类型更多的 NDRTs,使参与者的注意力会更少地集中在驾驶任务上,对于驾驶场景以及其中环境元素的关注减少,视觉搜索效率随之降低。接管过程中,对驾驶场景的注意力分配更多、在驾驶环境的注视时间更长、视觉搜索范围更大,会有更好的 SA。本文研究可以为 SA 评估和针对不同 NDRTs 采取不同的接管策略的研究提供支持。在实际应用中,需要进一步综合考虑驾驶员-车辆-道路-环境的多源信息,确保自动驾驶接管的安全和效率。

## 参考文献:

- [1] SAE J3016—2021. Taxonomy and definitions for terms related to on-road motor vehicle automated driving systems[S].
- [2] Dillmann J, Kurpiers C M, Pelzer J, et al. Keeping the driver in the loop through semi-automated or manual lane changes in conditionally automated driving[J]. *Accident Analysis and Prevention*, 2021, 162: 106397.
- [3] 姚荣涵,徐文韬,郭伟伟.基于因子长短期记忆的驾驶人接管行为及意图识别[J].*吉林大学学报:工学版*,2023,53(3):758-771.  
Yao Rong-han, Xu Wen-tao, Guo Wei-wei. Drivers' takeover behavior and intention recognition based on factor and long short-term memory[J]. *Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition)*, 2023, 53(3): 758-771.
- [4] 华强,金立生,郭柏苍,等.一种混行环境下驾驶人认知分心识别方法[J].*吉林大学学报:工学版*,2022,52(8):1800-1807.  
Hua Qiang, Jin Li-sheng, Guo Bai-cang, et al. A recognition method for driver's cognitive distraction in simulated mixed traffic environment[J]. *Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition)*, 2022, 52(8): 1800-1807.
- [5] Dogan E, Rahal M C, Deborne R, et al. Transition of control in a partially automated vehicle: effects of anticipation and non-driving-related task involvement[J]. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2017, 46(46): 205-215.
- [6] 钮建伟,张雪梅,孙一品,等.险情中驾驶人接管自动驾驶车辆的驾驶行为研究[J].*中国公路学报*,2018,31(6):272-280.  
Niu Jian-wei, Zhang Xue-mei, Sun Yi-pin, et al. Analysis of the driving behavior during the takeover of automatic driving vehicles in dangerous traffic situations[J]. *China Journal of Highway and Transport*, 2018, 31(6): 272-280.
- [7] 王抢,朱彤,朱可宁,等.视觉与听觉次任务对驾驶人视觉的影响及差异[J].*安全与环境学报*,2014,14(4):49-52.  
Wang Qiang, Zhu Tong, Zhu Ke-ning, et al. Effects and differences of auditory and visual secondary tasks on drivers' visual[J]. *Journal of Safety and Environment*, 2014, 14(4): 49-52.
- [8] 鲁光泉,赵鹏云,王兆杰,等.自动驾驶中视觉次任务对年轻驾驶人接管时间的影响[J].*中国公路学*

- 报, 2018, 31(4): 165-171.
- Lu Guang-quan, Zhao Peng-yun, Wang Zhao-jie, et al. Impact of visual secondary task on young drivers' take-over time in automated driving[J]. China Journal of Highway and Transport, 2018, 31(4): 165-171.
- [9] Zeeb K, Buchner A, Schrauf M. What determines the take-over time? An integrated model approach of driver take-over after automated driving[J]. Accident Analysis & Prevention, 2015, 78: 212-221.
- [10] Endsley M R. Measurement of situation awareness in dynamic systems[J]. Human Factors, 1995, 37: 65-84.
- [11] Kass S J, Cole K S, Stanny C J. Effects of distraction and experience on situation awareness and simulated driving[J]. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2007, 10(4): 321-329.
- [12] Scott-Parker B, Regt T D, Jones C, et al. The situation awareness of young drivers, middle-aged drivers, and older drivers: same but different? [J]. Case Studies on Transport Policy, 2020, 8(1): 206-214.
- [13] Zhang T, Yang J, Liang N, et al. Physiological measurements of situation awareness: a systematic review[J]. Human Factors, 2020, 65(5): 737-758.
- [14] Briggs G F, Hole G J, Turner J A J, et al. The impact of attentional set and situation awareness on dual tasking driving performance[J]. Transportation Research Part F-Traffic Psychology and Behaviour, 2018, 57: 36-47.
- [15] Liang N, Yang J, Yu D, et al. Using eye-tracking to investigate the effects of pre-takeover visual engagement on situation awareness during automated driving[J]. Accident Analysis & Prevention, 2021, 157: 106-143.