

自然驾驶状态下使用手机对驾驶控制行为的影响

张兰芳¹, 崔博宇¹, 王俊骅¹, 折欣^{1,2}

(1. 同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804; 2. 中国安全生产科学研究院, 北京 100012)

摘要: 研究基于上海市自然驾驶项目, 共计提取了 296 个驾驶人使用手机的行为样本, 并基于动态时窗构建了表征驾驶人控制行为的特征指标, 针对使用手机的 5 种操作行为: 拨打、接听、通话、挂断和查看信息, 分别分析了各操作过程中驾驶人纵向、横向控制活动的强弱情况, 执行控制操作的灵敏程度以及车辆控制状态的稳定性。研究表明驾驶过程中使用手机的部分操作会导致驾驶人控制活动有所减弱, 控制操作更加迟缓, 且大多数分心操作对纵向控制稳定性产生了显著影响。这些发现有助于更好地了解驾驶人使用手机时的自然行为变化, 为交通安全管控提供指引。

关键词: 分心驾驶; 手机; 自然驾驶; 动态时窗; 驾驶控制行为

中图分类号: U491

文献标志码: A

Effects of Naturalistic Mobile Phone Operations on Driving Control Behavior

ZHANG Lanfang¹, CUI Boyu¹, WANG Junhua¹, SHE Xin^{1,2}

(1. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. China Academy of Safety Science and Technology, Beijing 100012)

Abstract: There is a clear relationship between driving behavior and crash risk, with using mobiles during driving one of the key factors related to crash risk and severity. Towards the limitation of driving simulators in an unnatural setting, 296 samples of mobile phone operations during driving were extracted in Shanghai naturalistic driving study data, and the process of using mobile phones was divided into five operations: dialing, answering, talking and listening, hanging up and viewing. The study respectively analyzed the strength of driver's control activities, the sensitivity of the control operation and the stability of the control state during each operation. Studies have shown that some operations will lead to a decrease in driver's control activities and affect the

stability of vertical control. These findings help develop more reasonable traffic safety management measures.

Key words: distracted driving; mobile phone; natural driving; moving time window; driving control behavior

相关研究表明, 驾驶过程中使用手机是导致交通事故发生的重要因素之一, 并且会导致事故风险显著上升^[1-6]。针对这一问题, 已有近 70 个国家和地区颁布了驾驶时禁止使用手机相关行为的法律法规^[7-8]。法规之间的差异在一定程度上表明各国或地区在使用手机对驾驶行为的影响方面缺乏全面的共识。与此同时, 这些法规也并未得到驾驶人的广泛接受^[9-12], 而随着智能手机功能的爆炸式发展, 驾驶人驾驶时使用手机的行为愈加频繁。

在驾驶过程中, 驾驶任务主要包括控制车辆稳定和监控行车环境, 与驾驶人视觉注意水平直接相关。研究显示在使用手机的过程中, 驾驶人执行接听、拨打操作时, 视线平均偏移率为 33.1% 和 59.5%, 而在使用手持和免持方式的通话操作中, 视线偏移率分别为 9.5% 和 15.6%^[13-14]。因而一些国家或地区制定相关的法律法规时, 禁止使用手机进行手持通话, 但可以使用免持通话, 忽略了通话操作产生的认知分心对行车安全的影响。依据人机工程学理论, 通话操作产生的认知分心对车辆控制稳定以及监控行车风险的影响有两个方面: 首先, 人的注意力是有一定限度的^[15], 在驾驶过程中主要用于执行驾驶操作和处理行车环境信息。当分心行为产生的分心强度较强时, 需要分配部分注意力用于处理分心任务, 从而对驾驶人控制活动的强度和监控行车环境的能力产生干扰; 同时, 根据 Wickens 的多资源理论^[16], 虽然通话过程主要依赖于听觉, 执行驾

收稿日期: 2018-11-30

基金项目: 国家自然科学基金(71871161)

第一作者: 张兰芳(1972—), 女, 副教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为道路规划与几何设计, 道路交通安全。

E-mail: zlf2276@tongji.edu.cn

通信作者: 王俊骅(1979—), 男, 教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为道路安全, 道路规划与设计。E-mail: benwjh@163.com

驶任务主要依赖于视觉,但当通话内容引发驾驶人在视觉方面的记忆时,就会对视觉行为产生干扰,导致驾驶人处理视觉信息的能力更加迟钝,执行控制操作和监控行车环境的敏感程度有所下降。Collet 等^[17]比较了手持通话和与乘客谈话时驾驶人心率、皮肤电阻的变化,结果表明驾驶人进行这两种分心行为时的生理指标显著提高,且手持通话时驾驶人的生理反应和与乘客交谈时并无显著不同。

早期与使用手机相关的分心驾驶研究主要是基于驾驶模拟器探究使用手机对驾驶行为的影响,研究发现驾驶过程中手持通话或收发短信会导致车速显著降低^[18-19]、行车速度与车距难以保持稳定^[20]、分心过程中平均变道次数降低、横向偏移增加、横向稳定性降低^[21-22],同时驾驶人识别信号出现失误^[23],反应时间变长^[24-25]、驾驶人行车速度和换挡能力受到显著影响^[26]等,驾驶模拟环境为驾驶过程中使用手机行为的相关研究提供了良好的实验条件和数据采集机会,并取得了大量的研究成果。但驾驶模拟研究的实验性较强,实验者往往在相对陌生的驾驶环境下被要求进行分心行为,无法依据驾驶状态选择是否执行分心行为,与真实场景有较大差异,研究结果存在一定的局限性。

随着大型自然驾驶项目的展开(SHRP2、UTDrive、SH-NDS),研究人员开始基于自然驾驶数据进行相关的分心驾驶研究^[8,13,27-29]。自然驾驶研究减少了实验设计对驾驶人的干扰,但驾驶行为也易受到各类行车环境的影响。当前,大部分自然驾驶研究并未考虑道路环境等因素对驾驶行为的干扰,相关分析结果容易受到干扰影响。而且,自然分心驾驶状态下,驾驶人会在分心程度较弱的时刻进行一定的自我调整,导致难以表征出分心行为对车辆运行状态的影响。此外,使用手机这一分心行为包含了多项子操作如接听、拨打、通话、挂断,不同分心操作的主要分心类型、强度以及时长存在差异,以往研究一般将使用手机行为分为几种典型操作,并未依据操作特征对分心过程中的子操作进行区分比较。

因此,本文基于上海自然驾驶实验,首先通过设置样本筛选条件,减少道路交通因素对分析结果的干扰,并对驾驶人使用手机过程中的不同阶段的操作行为进行了划分,然后从驾驶人使用手机的分心机理出发,基于动态时窗构建多个表征驾驶人控制行为的指标,包括驾驶控制活动强度指标,驾驶控制操作敏感度指标以及驾驶控制状态稳定性指标,探究自然驾驶状态下使用手机的 5 种操作行为:接听、

拨打、通话、挂断和查看信息对驾驶人控制行为的影响。

1 数据采集

1.1 上海自然驾驶项目

上海自然驾驶研究项目(SH-NDS)由同济大学、通用汽车和弗吉尼亚理工大学交通学院联合进行,是国内的首个自然驾驶研究,可以长时间连续观察驾驶人的行为,并且可以将收集的数据存储长达两个月,从而在一定程度上减少了对驾驶人日常驾驶行为的干扰。目前,项目共有 60 名实验者参与,年龄介于 35 至 50 岁之间,且每位实验者拥有 5 年以上的驾驶经验。迄今为止,项目已开展六期,收集了超过 750 000 km 行程的驾驶数据。如表 1 和图 1 所示,数据采集系统由多普勒雷达、三轴加速仪、全球定位系统(GPS)和 4 个同步高清摄像头等组成。

表 1 数据采集设备的功能概述

Tab.1 Function introduction of data acquisition devices

数据类型	数据采集设备	功能概述
车辆行驶状态数据	多普勒雷达	采集试验车辆两侧车道、当前车道前车之间的车距及相对速度,测量范围为车辆前方横向 40 m,纵向 150 m 内区域,数据采集频率 10 Hz。
	三轴加速仪	采集车辆三个方面的横向、纵向加减速速度、方位角信息,用于确定车辆运动状态,数据采集频率 10 Hz。
	GPS 定位系统	提供车辆定位信息(x 、 y 、 z 坐标),数据采集频率 1 Hz。
视频数据	高清摄像头	共 4 个摄像头拍摄车辆前视、后视、驾驶人面部、手部的驾驶行为。

1.2 样本筛选

为了减少道路交通因素对分心驾驶行为分析结果的干扰,本文在样本获取阶段设置了 5 个样本筛选条件:①行驶在高速路或快速路上;②处于连续交通流或自由流;③驾驶过程中一次只执行一种分心操作;④实验车辆无急刹、紧急变道行为;⑤分心前后存在一段时长的正常驾驶过程。

使用手机分心驾驶样本筛选条件的判断通过核查自然驾驶视频中的驾驶人面部视频、手部视频和前视视频进行。当驾驶人视线发生偏移,一只手开始伸向手机即认为事件发生,直到驾驶人视线回归,重新将双手放置在方向盘上,判定事件结束,期间确认驾驶人未发生其他分心行为,并通过前视视频判别

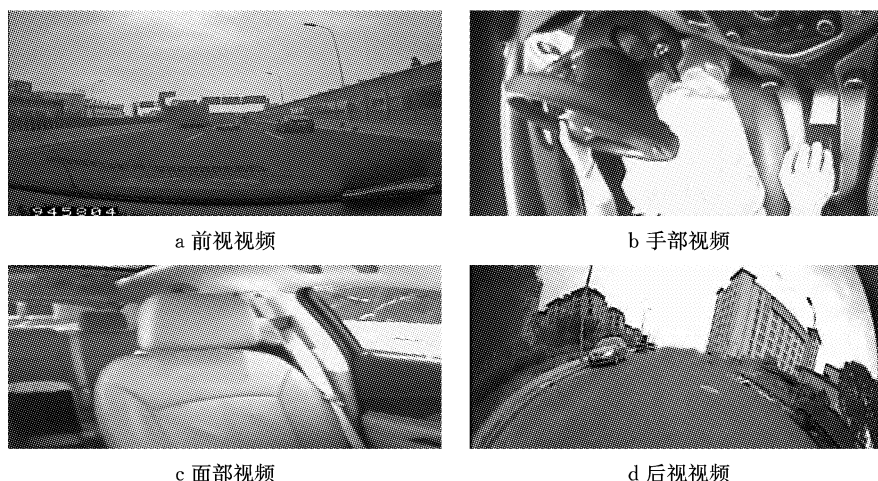


图 1 上海自然驾驶项目视频数据采集框架

Fig.1 The framework of video data in SH-NDS

周边行车环境信息是否满足筛选要求. 上海自然驾驶项目中的视频数据与总线数据采用了统一的时间轴, 可以通过自然驾驶视频中的时间戳提取对应的总线数据.

1.3 行为分割

驾驶过程中使用手机的行为可归为两类: 手持通话行为与查看信息行为; 其中, 手持通话行为分为接听通话与拨打通话. 如表 2 所示, 手持通话行为可以划分为接听或拨打、通话和挂断等过程. 在使用手

机过程中, 查看、拨打、接听、挂断主要导致驾驶人产生视觉和操作分心, 且分心的复杂程度依次下降, 而通话操作主要对驾驶人的认知水平产生干扰. 表 2 列举了各子操作发生时的判定条件, 当符合判定条件时, 通过记录自然驾驶视频中的时间戳, 可以获取对应时间轴的车辆行驶状态数据. 此外, 在使用手机行为发生前后取时长 3 s 的正常行驶过程作为对照样本. 为避免对照样本受到使用手机行为的影响, 在对照样本区间与分心样本区间设置 1 s 缓冲间隔.

表 2 使用手机时各操作过程的行为描述

Tab.2 Description of sub-operations

行为类别	行为描述	发生判定条件
接听	驾驶人视线发生偏移, 检查来电信息并准备通话.	第一次视线偏移
拨打	驾驶人视线发生偏移, 同时点击屏幕进行拨号.	第一次视线偏移
通话	驾驶人视线集中前方, 同时手持手机通话.	手机放至耳边
挂断	驾驶人停止通话, 视线偏移, 选择位置放置手机.	手机移开耳边
查看	驾驶人视线偏移, 每次偏移时长较长, 点击屏幕查看信息.	第一次视线偏移
正常驾驶	驾驶人视线注视道路, 双手放置在方向盘上.	视线前视, 双手驾驶

2 指标构建

本文将基于自然驾驶项目中采集的车辆行驶状态数据表征驾驶控制行为, 分析不同操作对驾驶人控制活动、控制灵敏度和控制状态的影响. 在使用手机的过程中, 分心操作会导致驾驶人在某一不确定的时刻注意力显著分散, 从而对驾驶控制行为产生影响. 结合这一特点, 需要充分利用自然驾驶项目的序列数据, 构建能够捕捉分心行为影响的特征指标.

本文将基于动态时窗概念^[30]构建表征驾驶人控制行为的特征指标. 如图 2 所示, α 代表速度、加速度等参数值, 在每个 1 s 时窗内针对某一参数值计算标准差作为该秒内参数波动情况的度量. 上海自然

驾驶项目中车辆行驶状态数据的采集频率一般为 10 Hz, 因此每隔 0.1 s 即可构建一个 1 s 时间窗口, σ_i 则代表第 i 个 1 s 窗口参数值的标准差. 可通过该方法获取某一过程中所有 1 s 窗口的参数标准差计算结果, 形成由参数标准差组成的新序列.

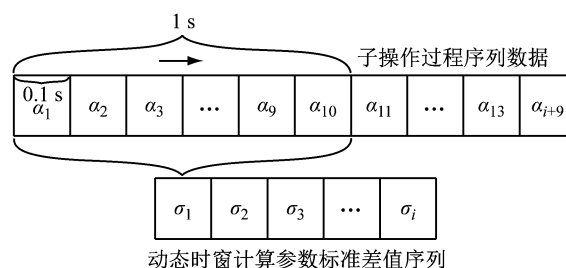


图 2 动态时窗示意图

Fig.2 The concept of moving time window

在自然驾驶状态下,车辆的速度、加速度、车道偏移值等容易受到道路交通因素或驾驶人自身驾驶意愿的影响。当驾驶人的控制能力保持在正常水平,且行车环境较为稳定时,每秒内参数的波动将维持在一定范围内,且在较小时间段内的参数波动更加稳定,从而能较好地表征分心操作对驾驶行为产生的影响。采用动态时窗的方法进行计算,可以充分利用整个分心过程的序列数据进行初步的特征提取,确保初步计算得到的参数标准差值序列与分心行为存在较强的相关性,便于后续依据参数的特性进行指标构建。

2.1 控制活动指标

控制活动指标体现了驾驶人进行驾驶控制操作的频率与积极的强度,表征了驾驶人在执行驾驶操作任务时的注意力资源分配情况。车辆的加速度值是是与驾驶控制操作如控制油门、刹车踏板、转动方向等直接相关的参数,故本文采用纵向加速度值和横向加速度值分别构建表征驾驶人纵向和横向控制活动的特征指标。基于动态时窗进行计算后,选用各操作过程中加速度值的标准差序列的中位数值表征该过程中驾驶人的控制活动的强度。

2.2 控制操作灵敏度指标

控制操作灵敏度指标主要表征驾驶人获取道路信息和执行驾驶任务的迟缓程度。当驾驶人注意力分散程度较高时,执行控制操作的灵敏度开始下降。本文计算了各操作过程中横向和纵向加速度值的标准差序列,在第 i 个时间窗口内,将两个加速度的 σ_i 值构造为二维向量用于表征 i 窗口内驾驶人的整体控制活动情况。进一步通过计算相邻窗口向量的标准欧式距离(d)表征相邻时刻驾驶人控制操作的变化情况,并采用该过程中所有距离值的中位数值表征该过程驾驶人控制操作变化的灵敏程度。

$$d = \sqrt{\sum_{j=1}^2 \frac{(\sigma_{ij} - \sigma_{(i+1)j})^2}{S_j^2}} \quad (1)$$

式中: i 为动态视窗的序列编号; j 的取值为 $\{1, 2\}$, 代表两种加速度类别; σ_{ij} 即为 i 时刻窗口内 j 加速值的标准差; S_j 代表整个过程 j 加速度的标准差值序列的标准差; d 为相邻特征向量的标准欧式距离计算值。

2.3 控制状态稳定性指标

速度、车道偏移是表征车辆在纵向与横向上的最直观的运行状态信息,与行车安全有着很强的相关性,因此本文采用速度值和车道偏移值构建表征驾驶人纵向和横向控制状态稳定性的指标,用于反

映分心操作对控制状态稳定性的影响。 S 为整个操作过程中速度值标准差序列的标准差,用以表征该过程纵向驾驶控制状态的波动情况。同理,采用车道偏移值的 S 值表征操作过程内驾驶人横向控制状态的稳定情况。

3 结果

如表 3 所示,研究共计提取了涉及 25 名实验人员的 296 个使用手机分心操作的样本,包括接听、拨打、通话、挂断和查看五种类型的操作。本文将通过配对样本 T 检验或单因素重复测量方差分析探究不同操作过程中驾驶控制行为指标的差异性。

表 3 样本情况统计

Tab.3 Sample description of each operation			
行为类别	样本量	操作过程	平均时长/s
接听通话	68	接听	5.2
	81	通话	50.1
	73	挂断	4.5
	60	接听通话完整过程	65.4
拨打电话	39	拨打	21.5
查看信息	35	查看	25

3.1 接听通话过程

T 检验结果显示,在接听过程中,驾驶人纵向控制活动显著减弱($T(59)$ 为 2.659;显著性水平 $P=0.010$),但在其他操作过程未发现显著变化;如表 4、图 3 和图 4 所示(图中数字为异常值样本编号):在剔除异常值样本后,在接听通话过程中,接听、通话与挂断操作均导致驾驶人控制操作的灵敏度显著下降;在接听和通话过程中,驾驶人纵向控制状态的稳定性受到了显著影响,且通话操作对纵向控制状态的影响显

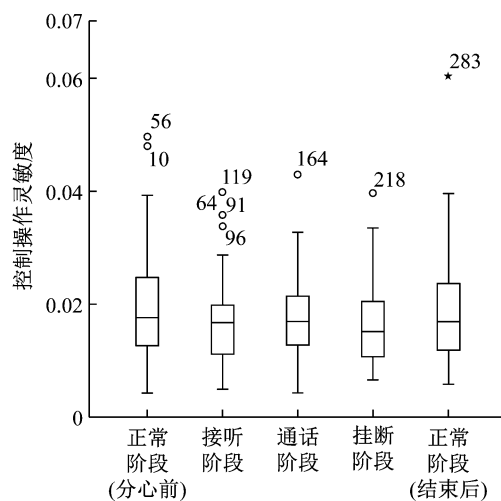


图 3 接听通话过程控制操作灵敏度统计结果

Fig.3 Statistical results of sensitivity during answering calls

表 4 接听通话过程各指标配对样本 T 检验统计结果

Tab.4 Results summary of main effects and comparisons during answering calls

操作比较	控制操作灵敏度	纵向控制状态稳定性
正常过程(分心前)与接听过程	$T(59)=3.010, P=0.004$	$T(59)=-2.484, P=0.016$
正常过程(分心前)与通话过程	$T(59)=3.580, P=0.001$	$T(59)=-5.751, P\leq 0.05$
接听过程与通话过程	$T(59)=0.915, P=0.364$	$T(59)=-2.752, P=0.008$
通话过程与挂断过程	$T(59)=-0.860, P=0.393$	$T(59)=6.446, P\leq 0.05$
通话过程与正常过程(结束后)	$T(59)=-2.541, P=0.014$	$T(59)=5.420, P\leq 0.05$
挂断过程与正常过程(结束后)	$T(59)=-2.528, P=0.014$	$T(59)=-0.165, P=0.869$

注:显著性水平为 0.05, $P\leq 0.05$ 代表 P 值小于 0.001.

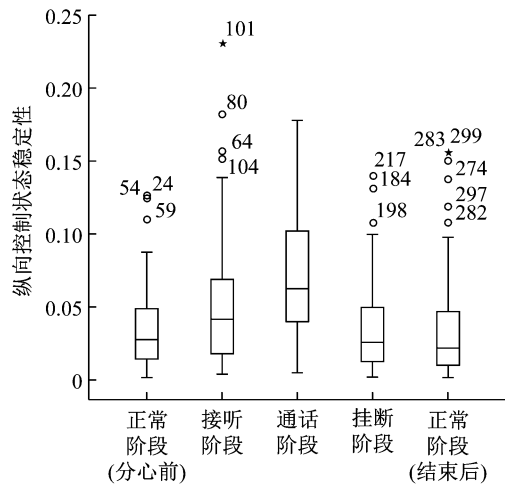


图 4 接听通话过程纵向控制状态稳定性统计结果

Fig.4 Statistical results of longitudinal stability during answering calls

著高于其他分心操作;此外,单因素重复测量方差分析 F 检验结果显示未发现接听通话行为对驾驶人横向控制活动($F(1.6, 94.8)=3.033, P=0.064$)和横向控制状态的稳定性($F(2.9, 78.6)=0.668, P=0.570$)产生显著影响。

3.2 拨打通话过程

相较于接听过程,拨打操作的分心程度更加复杂。配对 T 检验结果显示相较于正常驾驶过程,拨打操作导致驾驶人纵向控制活动的强度显著降低($T(38)=2.045, P=0.048$),控制操作灵敏度显著下降($T(38)=2.315, P=0.026$),导致纵向控制状态的稳定性变差($T(38)=-4.466, P\leq 0.05$),但横向控制状态方面未发现显著变化($T(38)=1.385, P=0.174; T(38)=-0.806, P=0.425$)。

3.3 查看信息过程

表 5 查看信息过程控制操作敏感度配对样本 T 检验结果

Tab.5 Results summary of control operation sensitivity during viewing information

Results Summary of Control Operation Sensitivity during Viewing Information			
正常阶段(分心前)与查看阶段		查看阶段与结束后 1~4 s	
T(34)=2.277 P=0.029		T(34)=2.853 P=0.007	
查看阶段与结束后 2~5 s		查看阶段与结束后 3~6 s	查看阶段与结束后 4~7 s
T(34)=−0.164 P=0.871		T(34)=−0.493 P=0.625	T(34)=−1.788 P=0.083
			查看阶段与结束后 5~8 s
			T(34)=−2.279 P=0.029

在控制活动方面,查看信息过程中纵向相关控制活动并未受到影响($T(34)=1.839, P=0.075; T(34)=-0.617, P=0.514$),但横向相关控制活动显著减弱($T(34)=2.498, P=0.017; T(34)=-2.044, P=0.049$)。

在控制操作灵敏度方面,分心过程中驾驶人驾驶控制的灵敏度显著低于分心前,且分析结果显示,分心行为发生前后的对照组样本存在显著差异。因此,本文进一步选取了分心行为结束后 2~5 s, 3~6 s, 4~7 s 和 5~8 s 共 4 段作为对照组样本进行比较。如图 5、表 5 所示,在分心行为结束后 5 s,驾驶人控制操作的灵敏度回归正常状态。

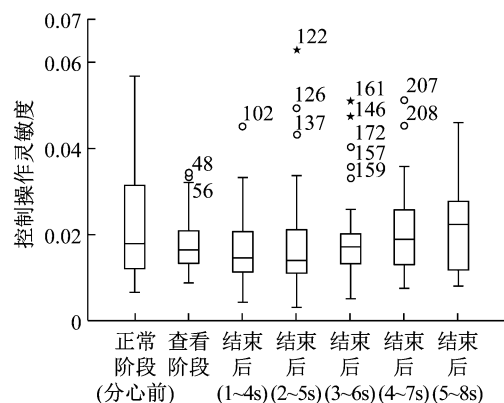


图 5 查看信息过程中控制操作敏感度统计

Fig.5 Statistical results of control operation sensitivity during viewing information

最终,查看信息行为导致纵向驾驶控制状态的稳定性变差($T(34)=-3.265, P=0.002; T(34)=5.709, P\leq 0.05$),而横向控制状态未受到显著影响($F(1.9, 63.2)=1.429, P=0.247$)。

4 讨论

在使用手机分心驾驶的过程中,接听、拨打和查看是较为复杂的手动视觉分析操作。在接听、拨打操作过程中,驾驶人的纵向控制活动有所减弱,执行横向控制活动的强度仍然保持在正常状态。而在查看过程中,横向控制活动的强度有所降低,纵向控制活动没有显著变化。表明驾驶人在面对不同的分心压力时具有一定的自我调节策略。

以往的研究曾表明,驾驶人在分心状态下往往表现出一定的自我调节行为,如主动降低车速、增加前车间距、减少换道次数等,这种自我调节行为被认为可以有效降低驾驶需求和事故风险^[31-33]。不过,一些相近的自然驾驶研究没有发现类似的结果^[28-29],这可能与自然驾驶实验环境的复杂性有关。本文则通过设置样本筛选条件和指标构建尽量消除环境干扰因素的影响,控制活动强度指标在一定程度上反映了驾驶人的驾驶决策意愿。分析结果表明,驾驶人在面对较为复杂的手动视觉干扰引起的额外负荷时无法投入更多的注意力资源,并且倾向于减少纵向控制活动,从而确保横向控制活动的强度不受影响。随着分心负荷的加剧,这一策略发生了转变。

此外,在接听和拨打过程中,驾驶人执行控制操作的灵敏度受到显著影响,表明分心操作导致驾驶人的反应更加迟缓。从控制状态的稳定性来看,在上述两个方面的影响下,驾驶人在接听和拨打过程中纵向控制状态的稳定性开始恶化,但横向控制状态的稳定性仍能保持在正常状态。

挂断操作对驾驶人的控制行为几乎没有影响。分析结果表明,虽然该操作削弱了驾驶人控制操作的灵敏度,但它对车辆控制的稳定性没有显著影响,表明驾驶人可以应对该操作产生的额外负荷。

本文的分析结果显示,通话操作没有对驾驶人控制活动的强度产生显著影响,表明通话操作的分心干扰对驾驶人注意力资源再分配所产生的压力较小。但与其他操作相比,通话操作对驾驶人控制操作灵敏度的影响是相近的,且通话操作对驾驶人纵向控制状态稳定性的影响更加剧烈,表明通话行为产生的认知分心同样会对行车稳定性产生显著影响。

在查看信息的过程中,查看信息同样导致驾驶人综合控制操作的灵敏度显著下降。而且,在查看操作结束后4~5 s的时间段内,驾驶人执行控制操作的灵敏程度仍未回归正常状态,表明大脑在后续处

理信息内容时产生的认知分心仍然对驾驶人存在显著干扰。从控制状态的结果来看,尽管驾驶人的横向控制活动受到了显著影响,但横向控制状态的稳定性未受到影响,而纵向控制状态出现了显著波动。本文认为,在行车环境较为稳定的情况下,驾驶人维持纵向稳定比维持横向稳定需要投入更多精力,导致车辆纵向控制的稳定性更易受到分心行为的影响。

5 结论

本文基于上海市自然驾驶项目,采集获取了真实状态下驾驶人使用手机分心驾驶的高精度样本数据,相较于驾驶模拟实验与实车实验,数据质量与真实性有了较大提升。且在样本获取中,设置了多项筛选条件用于减少干扰因素的影响,增加了分析结果的可靠性。同时,基于人机工程学理论,本文认为使用手机行为主要对驾驶人控制活动的强弱情况、控制操作的灵敏程度以及车辆控制状态的稳定性产生影响,并进一步基于动态时窗的概念,充分利用了自然驾驶序列数据构建了这三项特征指标。最终,本文依据使用手机过程中不同阶段的行为特性对分心过程进行了操作划分,分析了不同操作尤其是通话操作对驾驶控制行为的影响,得出结论如下:

在使用手机分心驾驶的过程中,驾驶人会采取不同的资源分配策略应对分心操作产生的额外负荷。典型的手动视觉分心操作,如接听、拨打和查看,会对驾驶人的注意力水平产生显著干扰,因而驾驶人进行了自我调节行为。分析表明,驾驶人在接听或拨打过程中倾向于减少纵向控制活动,而在查看过程中倾向于减少横向控制活动,这对降低驾驶需求和事故风险起到了一定作用。

在手持通话过程中,通话行为产生的认知分心会降低驾驶人控制操作的敏感度,其影响程度与其他操作并无显著差异。此外,在接听通话过程中,通话操作对纵向控制稳定性的影响最为显著,其对行车稳定的影响并不亚于其他操作。结果表明仅禁止手持通话方式并不能完全消除使用手机行为产生的安全隐患。此外,自然条件下免持通话与手持通话的对比研究将在后续开展。

查看信息行为不仅对驾驶控制的敏感性和稳定性有显著影响,而且在分心行为结束后,这种影响仍将存在一段时间。随着智能手机功能的发展,使用手机编辑短信的行为越来越少,而浏览查看信息的行为却日益频繁。社交媒体、移动导航,尤其是网约车

服务的出现,让驾驶人对手机的依赖程度进一步加深,接下来需要进一步研究这些分心行为对各类道路行车安全的影响。

此外,本文的研究背景是基于高速公路或快速路环境,城市道路自然驾驶研究较为复杂,需要进一步研究。

参考文献:

- [1] REGAN M, LEE J, YOUNG K. Driver distraction: theory, effects, and mitigation[M]. Indianapolis: CRC Press, 2008.
- [2] NAWOED A. Psychological factors for driver distraction and inattention in the Australian and New Zealand rail industry[J]. Accident Analysis & Prevention, 2013, 60:193.
- [3] DINGUS T A, GUO F, LEE S, *et al.* Driver crash risk factors and prevalence evaluation using naturalistic driving data[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2016, 113(10):2636.
- [4] VIOLANTI J M, MARSHALL J R. Cellular phones and traffic accidents: an epidemiological approach[J]. Accident Analysis & Prevention, 1996, 28(2):265.
- [5] REDELMEIER D A, TIBSHIRANI R J. Association between cellular-telephone calls and motor vehicle collisions[J]. New England Journal of Medicine, 1997, 336(7):453.
- [6] STRAYER D L, DREWS F A, CROUCH D J. A comparison of the cell phone driver and the drunk driver [J]. Social Science Electronic Publishing, 2006, 48(2):381.
- [7] 白玉, 何熊, 龙力. 手机使用对驾驶员行为影响研究综述[J]. 交通信息与安全, 2013, 31(3):136.
BAI Yu, HE Xiong, LONG Li. Research review on the influence of mobile phone use on driver behavior [J]. Traffic Information and Safety, 2013, 31(3):136.
- [8] DOZZA M, FLANNAGAN C, SAYER J. Real-world effects of using a phone while driving on lateral and longitudinal control of vehicles[J]. Journal of Safety Research, 2015, 55:81.
- [9] NELSON E, ATCHLEY P, LITTLE T D. The effects of perception of risk and importance of answering and initiating a cellular phone call while driving [J]. Accident Analysis & Prevention, 2009, 41(3):438.
- [10] LI W, GKRTZA K, ALBRECHT C. The culture of distracted driving: evidence from a public opinion survey in Iowa[J]. Transportation Research Part F Psychology & Behaviour, 2014, 26:337.
- [11] ATCHLEY P, ATWOOD S, BOULTON A. The choice to text and drive in younger drivers: behavior may shape attitude [J]. Accident Analysis & Prevention, 2011, 43(1):134.
- [12] METZ B, LANDAU A, JUST M. Frequency of secondary tasks in driving—Results from naturalistic driving data[J]. Safety Science, 2014, 68(10):195.
- [13] STUTTS J, FEAGANES J, REINFURT D, *et al.* Driver's exposure to distractions in their natural driving environment [J]. Accident Analysis & Prevention, 2005, 37(6):1093.
- [14] FITCH G M, BARTHOLOMEW P R, HANOWSKI R J, *et al.* Drivers' visual behavior when using handheld and hands-free cell phones[J]. Journal of Safety Research, 2015, 54:105.
- [15] 彭聃凌, 张必隐. 认知心理学[M]. 杭州:浙江教育出版社, 2005.
PENG Danling, ZHANG Biyin. Cognitive psychology [M]. Hangzhou: Zhejiang education press, 2005.
- [16] WICKENS C D. Multiple resources and mental workload[J]. Human Factors, 2008, 50(3):449.
- [17] COLLET C, CLARION A, MOREL M, *et al.* Physiological and behavioural changes associated to the management of secondary tasks while driving [J]. Applied Ergonomics, 2009, 40(6):1041.
- [18] HAIGNEY D E, TAYLOR R G, WESTERMAN S J. Concurrent mobile (cellular) phone use and driving performance: task demand characteristics and compensatory processes [J]. Transportation Research Part F: Psychology & Behaviour, 2000, 3(3):113.
- [19] CAIRD J K, JOHNSTON K A, WILLNESS C R, *et al.* The use of meta-analysis or research synthesis to combine driving simulation or naturalistic study results on driver distraction [J]. Journal of Safety Research, 2014, 49(203):91.
- [20] RAKAUSKAS M E, GUGERTY L J, WARD N J. Effects of naturalistic cell phone conversations on driving performance [J]. Journal of Safety Research, 2004, 35(4):453.
- [21] BEEDE K E, KASS S J. Engrossed in conversation: the impact of cell phones on simulated driving performance[J]. Accident Analysis & Prevention, 2006, 38(2):415.
- [22] HOSKING S G, YOUNG K L, REGAN M A. The effects of text messaging on young drivers[J]. Human Factors, 2009, 51(4):582.
- [23] STRAYER D L, DREWS F A, JOHNSTON W A. Cell phone-induced failures of visual attention during simulated driving [J]. Journal of Experimental Psychology: Applied, 2003, 9(1):23.
- [24] STRAYER D L, JOHNSTON W A. Driven to distraction: dual-task studies of simulated driving and conversing on a cellular telephone[J]. Psychological Science, 2010, 12(6):462.
- [25] DREWS F A, YAZDANI H, GODFREY C N, *et al.* Text messaging during simulated driving[J]. Human Factors, 2009, 51(5):762.
- [26] 邢伟伦, 王雪松. 基于自然驾驶的中国驾驶员驾驶使用手机行为研究[J]. 汽车与安全, 2017(7):114.
XING Yilun, WANG Xuesong. Research on the driving behavior of Chinese drivers using mobile phones based on natural driving[J]. Automotive & Safety, 2017(7):114.
- [27] FITCH G M, SOCCOLICH S A, GUO F, *et al.* The impact of hand-held and hands-free cell phone use on driving performance and safety-critical event risk[R]. Washington D C: National Highway Traffic Safety Administration, 2013.
- [28] TIVESTEN E, DOZZA M. Driving context influences drivers' decision to engage in visual-manual phone tasks: evidence from a naturalistic driving study[J]. Journal of Safety Research, 2015, 53:87.
- [29] SCHNEIDER EIT T, PETZOLDT T, KEINATH A, *et al.* Using SHRP 2 naturalistic driving data to assess drivers' speed choice while being engaged in different secondary tasks[J]. Journal of Safety Research, 2017, 62:33.
- [30] YE M, OSMAN O A, ISHAK S, *et al.* Detection of driver

engagement in secondary tasks from observed naturalistic driving behavior[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2017, 106:385.

- [31] OVIEDO-TRESPALACIOS O, HAQUE M M, KING M, *et al.* Driving behaviour while self-regulating mobile phone interactions: a human-machine system approach[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2018, 118(1):12.
- [32] OVIEDO-TRESPALACIOS O, HAQUE M M, KING M, *et al.*

Self-regulation of driving speed among distracted drivers: an application of driver behavioral adaptation theory[J]. *Traffic Injury Prevention*, 2017, 18(6):599.

- [33] GARRISON T M, WILLIAMS C C. Impact of relevance and distraction on driving performance and visual attention in a simulated driving environment [J]. *Applied Cognitive Psychology*, 2013, 27(3):396.

(上接第 1734 页)

- [10] 孟斌. 北京城市居民职居分离的空间组织特征[J]. *地理学报*, 2009, 64(12): 1457.
- MENG Bin. The spatial organization of the separation between jobs and residential locations in Beijing[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(12): 1457.
- [11] 周翔. 基于职住平衡测度与通勤强度的交通政策分区研究[D]. 上海: 同济大学交通运输工程学院, 2017.
- ZHOU Xiang. Study on transport policy zoning based on jobs-housing balance measure and commuting intensity [D]. Shanghai: College of Transportation Engineering of Tongji University, 2017.
- [12] 郑思齐, 徐杨菲, 张晓楠, 等. “职住平衡指数”的构建与空间差异性研究: 以北京市为例[J]. *清华大学学报(自然科学版)*. 2015, 55(4): 475.
- ZHENG Siqi, XU Yangfei, ZHANG Xiaonan, *et al.* Jobs-housing balance index and its spatial variation: a case study in Beijing[J]. *Journal of Tsinghua University (Science and Technology)*, 2015, 55(4): 475.
- [13] 钟喆, 孙斌栋. 居住—就业平衡与城市通勤——以上海普陀区为例[J]. *地域研究与开发*. 2012, 31(3): 88.
- ZHONG Zhe, SUN Bindong. A discussion on job-housing balance and city commuting: taking Putuo district of Shanghai as example [J]. *Areal Research and Development*, 2012, 31(3): 88.
- [14] 朱小玉. 职住相对平衡的城市空间单元尺度研究基于抑制私人小汽车通勤出行视角[D]. 武汉: 华中科技大学. 2013.
- ZHU Xiaoyu. Study on the scale of urban spatial unit of job-housing balance: based on private mobility inhibiting [D]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology. 2013.
- [15] OPENSHAW S. The modifiable areal unit problem, concepts and techniques in modern geography [M]. Norwich: Geobooks, 1984.
- [16] 陈江平, 张瑶, 余远剑. 空间自相关的可塑性面积单元问题效应[J]. *地理学报*, 2011, 66(12): 1597.

CHEN Jiangping, ZHANG Yao, YU Yuanjian. Effect of MAUP in spatial autocorrelation[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(12): 1597.

- [17] CERVERO R. Jobs-housing balance and regional mobility[J]. *Journal of the American Planning Association*, 1989, 55(2): 136.
- [18] ZHOU X, CHEN X, ZHANG T. Spatial scale analysis and layout optimization of commuting circle based on one-hour's law: a case study of Shanghai metropolis [C] // CICTP2017 Transportation Reform and Change-Equity, Inclusiveness, Sharing and Innovation. Proceedings of the 17th Cota International Conference of Transportation Professionals. Shanghai: American Society of Civil Engineering, 2018: 3943-3952.
- [19] 于涛方, 吴唯佳. 单中心还是多中心: 北京城市就业次中心研究[J]. *城市规划学刊*, 2016, 229(3): 21.
- YU Taofang, WU Weijia. Monocentric or polycentric? a study on urban employment sub-centers in Beijing [J]. *Urban Planning Forum*, 2016, 229(3): 21.
- [20] 王德, 赵锦华. 城镇势力圈划分计算机系统的开发研究与应用——兼论势力圈的空间结构特征[J]. *城市规划*, 2000, 24(12): 37.
- WANG De, ZHAO Jinhua. A computer assisted hinterland division system: its development and application [J]. *City Planning Review*, 2000, 24(12): 37.
- [21] ALONSO W. Location and land use [M]. Cambridge, Mass: Harvard University Press, 1964.
- [22] MILLS E S. An aggregate model of resource allocation in a metropolitan area [J]. *American Economic Review*, 1967, 57(2): 197.
- [23] MUTH R F. Cities and housing [M]. Chicago: University of Chicago Press, 1969.
- [24] HENDERSON J V. Economic theory and the cities [M]. New York: Academic Press, 1985.