

基于选择性注意的交通环境显著性及眼动特征研究

邓 涛, 罗恩晴, 张艳山, 颜红梅

(电子科技大学神经信息教育部重点实验室 成都 610054)

【摘要】通过行为实验,采集了两组被试在不同注意状态下观看道路交通场景图像时的眼动数据,研究了在交通驾驶环境中两种不同注意机制(自底向上和自上而下)驱动下的眼动特征。研究表明,在交通驾驶环境中,基于自底向上注意驱动的眼动特征与基于自上而下注意驱动的眼动特征存在着显著性差异,二者对应的视觉显著图也有明显区别。另外,两种注意机制对信号灯及交通标识等重要交通元素的关注及识别等方面也存在显著的不同。

关键词 自底向上; 眼动; 选择性注意; 自上而下; 交通驾驶

中图分类号 U471

文献标志码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2014.04.027

Selective Attention-Based Saliency of Traffic Images and Characteristics of Eye Movement

DENG Tao, LUO En-qing, ZHANG Yan-shan, and YAN Hong-mei

(Key Laboratory for NeuroInformation of Ministry of Education, University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 610054)

Abstract Human visual system is a complicated information processing system. Selective attention is an important mechanism which enables us to process relevant inputs from a large amount of visual information. Traffic environment is a complex and tridimensional scene of multiple information sources, which changes dynamically and requires being processed instantly. The driver's attention is always controlled by two visual attention mechanisms, namely bottom-up and top-down attention. The bottom-up attention is driven by the environment and image features, and top-down attention is based on tasks and cognitive experiences. In this paper, the behavioral experiment was carried out to investigate the features of eye movements under these two selective attention mechanisms in traffic environment, and also to acquire the dataset of saliency maps of real eye movement. Our results show that there are significant differences between bottom-up and top-down selective attention in saliency maps, characteristics of eye movement, and viewing of traffic signals and traffic signs, and so on.

Key words bottom-up; eye movement; selective attention; top-down; traffic driving

人类视觉系统的选择性注意可以分为两种机制^[1-3]: 1) 基于数据驱动自底向上(bottom-up)的注意机制。2) 基于任务驱动自上而下(top-down)的注意机制。两种选择性注意机制存在区别又有紧密的联系^[4]。选择性注意机制和模型及其在图像处理中的应用已经成为目前神经科学与信息科学的研究前沿和热点之一^[5-6]。

在交通道路环境中,驾驶员对重要交通元素的注意状态以及对复杂道路场景的即时认知和应对处理是驾驶安全最重要的因素之一。在驾驶过程中,驾驶员通过视觉搜索来获得道路交通的各种信息^[6-8]。驾驶员视觉搜索同样受自底向上和自上而下两种注意机制的驱动。研究交通环境中两种不同注意

机制下的眼动特征及目标显著性,对机器学习和无人驾驶智能车的发展具有重要的意义。2008年,国家自然科学基金委专门启动了重大研究计划“视听觉信息的认知计算”,复杂交通场景下的视觉认知机理是其重要的研究内容之一。

对于交通驾驶环境中,驾驶员视觉搜索的眼动特征及影响因素的研究,国外开展较早较多。已有研究发现驾驶经验、驾驶员年龄、驾驶员性格及酒精、药物等因素对驾驶中的眼动特征均有一定的影响^[9-10],这些眼动特征包括注视时间、眼跳幅度、眼跳次数及眼跳速度等。文献[11]表明没有驾驶经验的驾驶员比经验丰富的驾驶员注意状态更加杂乱,对驾驶场景识别能力相对较弱。文献[12]研究了在不同

收稿日期: 2013-11-12; 修回日期: 2014-03-30

基金项目: 国家自然科学基金(91120013, 61375115); 国家973项目(2013CB329401)

作者简介: 邓涛(1989-),男,博士生,主要从事视觉选择性注意、视觉计算模型、图像处理等方面的研究。

天气下, 驾驶经验和与驾驶员注意状态之间的关系。另外, 文献[13]通过研究发现驾驶员疲劳程度、边驾驶边打手机等分心任务, 对眼动及视觉搜索模式也有影响。国内在该方面的研究非常少, 近几年已有为数不多的几项研究, 如酒后驾驶的心理、生理及眼动特性分析^[14], 在认知负荷对驾驶过程中影响的眼动研究^[15]。目前国内外专门针对交通场景的不同注意机制驱动下, 眼动特征的对比分析报道比较少见, 也缺少较大被试量的交通环境图像眼动显著性数据库。

对于无驾驶经验者, 在无任务自由观看时, 其眼动主要受自下而上的注意控制。而对于有驾驶经验的驾驶员, 在驾驶任务和模拟驾驶中, 其眼动主要受自上而下的注意控制。两种注意机制下的眼动特征有何差异? 对交通场景表现出的视觉显著性有何差异? 两种注意机制对重要交通元素如交通标识和信号灯等的关注度和眼动特征有何差异? 针对以上问题, 本文通过对无驾驶经验者无任务自由观看和有驾驶经验的驾驶员假设驾驶观看这两种不同视觉注意机制驱动情况下, 以不同的天气和日照环境中, 静态标准道路交通场景图像库作为实验材料, 用眼动仪来记录被试在实验中的眼动。同时结合数据处理方法^[16], 获得人眼视觉显著图及眼动特征等实验结果, 并建立了人眼交通环境视觉显著性图像数据库, 为视觉模型计算和图像处理提供实验数据基础。

1 眼动实验设计

1.1 实验材料及装置

本文的实验总共采用了100幅在不同日照、不同天气以及不同道路交通场景的静态道路交通图片作为实验材料, 其中国外图像40幅, 自行拍摄的国内复杂交通图像60幅。实验被试共40名, 年龄在21~45岁之间, 平均年龄28岁。被试分为两组, 无任何驾驶经验者和有两年以上驾驶经验者各20名, 采用组间比较的分析方法。刺激程序采用Experiment Builder编写, 实验采用EyelinkII眼动仪(Eyelink2000, SR Research Ltd.), 记录被试在观看图像过程中的眼动数据。

1.2 实验流程

实验分两组任务进行, 一组是无任何驾驶经验者自由观看随机呈现的道路交通图, 另一组是至少有两年驾驶经验的被试, 模拟平时的驾驶状态观看

道路交通图像。实验流程如图1所示。实验以指导语开始, 受试者自行按键开始实验, 每幅交通图呈现的时间为10 s, 随后有20 s的空屏。10幅图组成一个实验小节, 中间休息3~5 min, 每个小节开始前均做9点眼动校正。

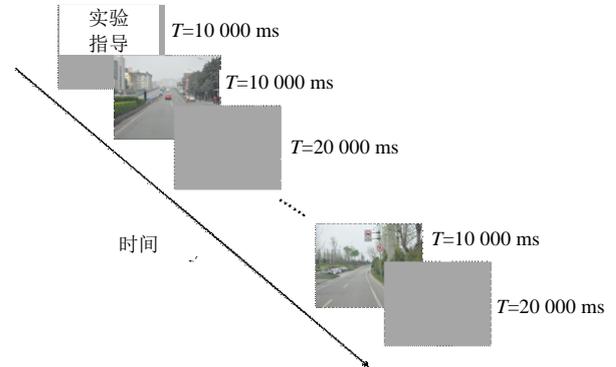


图1 实验流程图

1.3 眼动数据分析方法

每次实验的眼动数据通过眼动仪记录, 所有数据通过MATLAB做离线分析, 剔除眼动跳出屏幕以外的试次, 剔除试次数量小于1%。

2 实验结果分析

2.1 眼跳路径及注视点特征图

图2所示为实验获得的眼跳路径及注视点分布示例图, 其中带有箭头的线段代表被试在观看交通图片的过程中眼跳的路径图, 线段的长短代表被试在眼跳过程中的眼跳幅度。



图2 被试的眼跳路径及注视点分布示例图

2.2 视觉感知显著图

图3所示为两种实验任务下获得的视觉感知显著图。其中, 图3a是测试原图, 图3b是无任何驾驶经验的被试自由观看时的视觉感知显著图, 图3c是有两年以上驾驶经验的被试模拟驾驶状态观看所获得的视觉显著图。这些显著图是将眼动数据用高斯函数按照注视时间长短作为阈值合成的热图(hot

map)。

由图3可以看出,被试在无任务自由观看和有任务观看的视觉感知显著图具有一定的差异。具体表现为有任务观看的实验条件下,所获得的人眼视觉感知显著图面积更小,被试的注意更集中。为了更好地反映有任务和无任务这两种实验条件下的差异,本文具体分析了所有被试在不同实验条件观看100幅交通场景图片时,视觉感知显著图的面积散点图以及面积平均值。



a. 原图



b. 无驾驶经验的被试自由观看时视觉感知显著图



c. 有驾驶经验者模拟驾驶状态观看所获得的视觉显著图

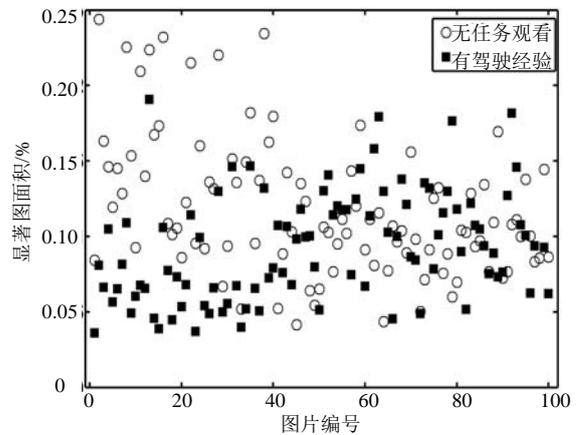
图3 不同选择性注意机制驱动下的视觉显著图

2.3 显著图相关数据分析

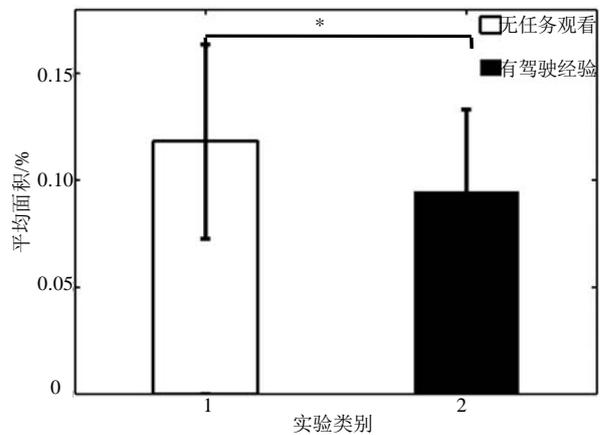
图4所示为实验中的显著图面积散点图及平均面积直方图。其中,图4a是被试所观看100幅道路交通图片显著性面积散点图;图4b是100幅显著图的平均面积直方图。

对比两组实验中的结果可以发现,无驾驶经验的被试在无任务自由观看道路交通图片的实验状态下,所获得的视觉感知显著图中,注视点和眼动轨

迹凌乱且视觉感知显著图分布较分散,而另一组则相对比较集中,两组平均面积存在显著性差异($P<0.05$)。



a. 显著性面积散点图



b. 平均面积直方图

图4 显著图面积散点图及平均面积直方图

(误差线表示标准差)

2.4 注视点时间分布、眼跳幅度和次数分布

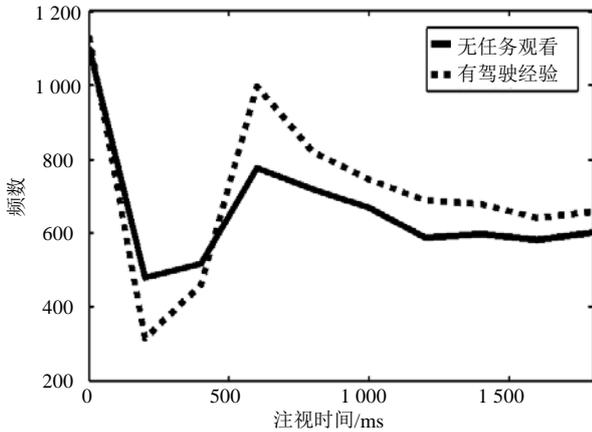
图5a所示为前2 s时间内注视点的时间分布频数折线图。可以看出,有驾驶经验被试长时注视较多,表明有目的的注视次数较多,在任务中能更有目的地观看目标。

图5b所示为前2 s时间内眼跳幅度随时间分布曲线图。可以看出,无任务自由观看组和有驾驶任务组的眼跳幅度存在较大的差异。具体表现在:有驾驶经验被试在有任务观看的实验前2 s时间里,仅在400 ms左右眼跳幅度很大,其余时间眼跳幅度很小,提示有驾驶经验者在驾驶中有较特定的眼动搜索模式,能有目的地观看目标。而无驾驶经验组在整个时间过程中的眼跳幅度都相对较大,表明整个观看过程中无目的散乱的眼动较多。

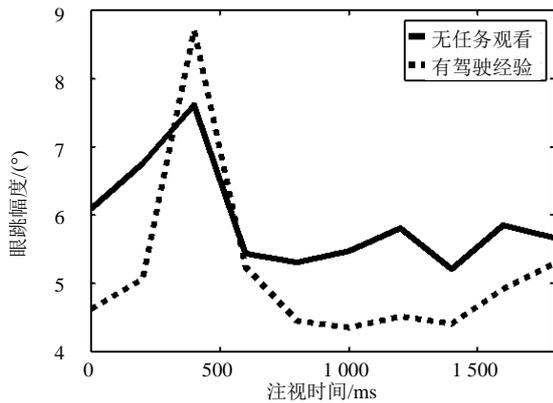
在眼跳频数分布折线图(图5c)中也有类似结果,

有驾驶经验者在假设驾驶观看过程中, 比没有驾驶经验者的眼跳次数少, 说明有驾驶经验者在驾驶观看过程中注意力更加集中, 而无经验者散乱的眼跳多。

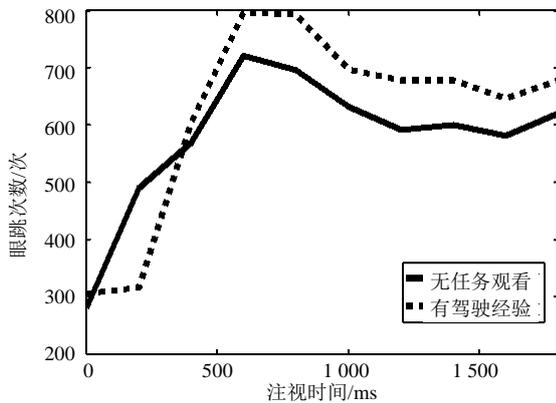
由此可见, 两组被试对交通图片的眼动搜索模式有显著的差异。有驾驶经验者在驾驶过程中有目的的注视次数较多, 能更有针对性地观看感兴趣目标, 并且注视时间较长, 杂乱眼跳次数也较少。



a. 注视点时间分布折线图



b. 眼跳幅度分布折线图



c. 眼跳次数分布折线图

图5 前2 s眼动搜索模式比较

2.5 观看交通标志的相关眼动数据分析

在图6中, 白色柱子代表无任务的自由观看组, 黑色柱子代表有驾驶经验有任务的观看组。

由图6可以发现, 两组被试对交通标志的忽视率、平均观看次数及落点前眼跳次数上均表现出显著性差异, 表明两者对交通标志的敏感度不同。有驾驶经验者在驾驶过程中更重视交通标志, 观看交通标志的次数多, 发生的眼跳次数少, 能够更容易地找到交通标志。

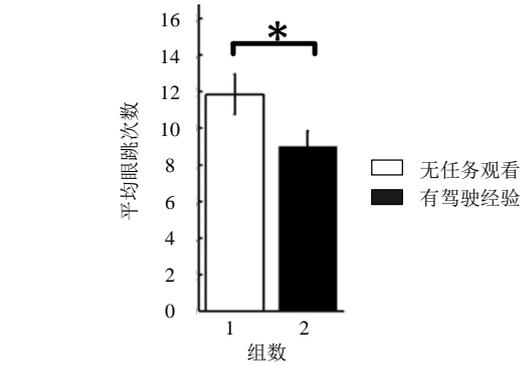
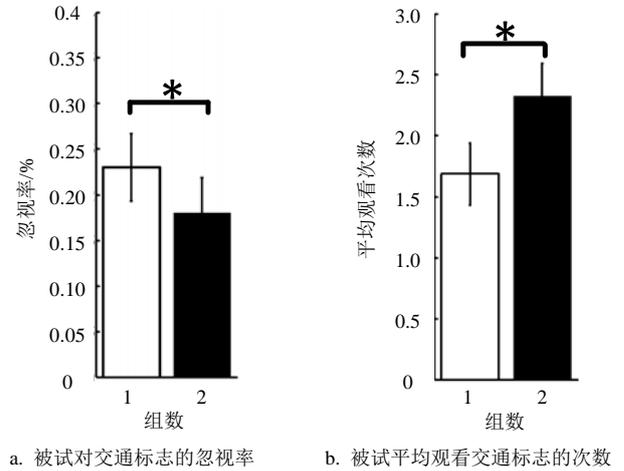
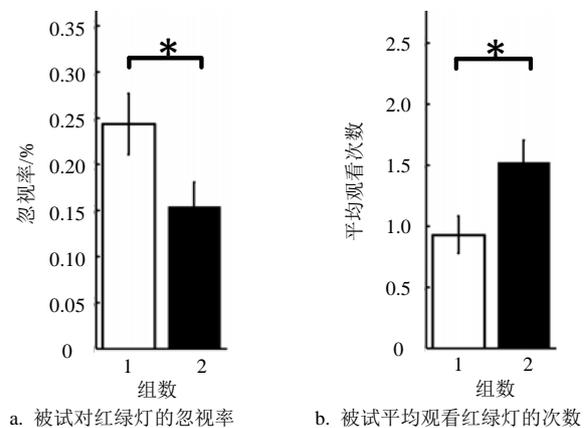
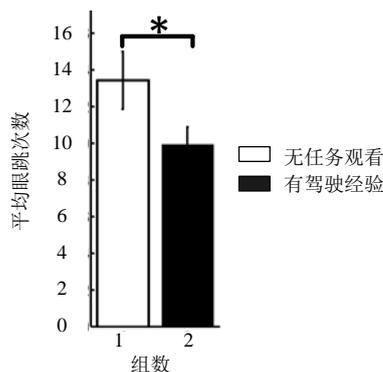


图6 对交通标志的视觉显著性分析(误差线表示标准差)

2.6 观看红绿灯的相关眼动数据分析

本文对信号灯相关的眼动数据也进行了分析, 如图7所示。白色柱子代表无任务的自由观看, 黑色柱子代表有驾驶经验有任务的观看。





c. 被试看到红绿灯所经过的平均眼跳次数

图7 对红绿灯的视觉显著性分析(误差线表示标准差)

同样,无任务观看组与有驾驶经验组对红绿灯的观看存在显著性差异。有驾驶经验的被试对红绿灯的重视率和敏感性高于无任务无驾驶经验组,更容易使注意力集中于相关任务。

3 结论

实验结果表明,在交通环境中,基于交通场景图像特征驱动的自下而上的注意机制和基于驾驶知识经验驱动的自上而下的注意机制,在眼动特征和图像视觉显著性方面存在显著性差异。这种差异主要体现在:驾驶员在观看交通图像时,有目的的注视次数更多,对交通标识以及红绿灯等重要目标搜索和提取速度更快,视觉感知显著图更为集中,表明自上而下的任务驱动使被试能更有效性地提取和处理特定环境信息。

本文的创新点为:1)研究了交通驾驶这种特殊环境中,两种视觉注意机制驱动下的眼动特征差异,揭示了在特定场景中进行重要信息提取与视觉目标搜索时的神经机制差异,为驾驶训练及自动驾驶等提供了生物视觉实验依据。2)建立了一个交通图像显著性眼动数据库,可为交通环境显著性计算模型提供参考数据,同时也可为无人驾驶智能车辆的研究提供重要的实验参考数据。

参考文献

- [1] BUSCHMAN T J, MILLER E K. Top-down versus bottom-up control of attention in the prefrontal and posterior parietal cortices[J]. *Science*, 2007, 315(30): 1860-1862.
- [2] ITTI L. Models of bottom-up and top-down visual attention[D]. California, USA: California Institute of Technology, 2000.
- [3] ITTI L, KOCH C. Computational modeling of visual attention[J]. *Nature Reviews Neuroscience*, 2001, 2(3): 194-230.
- [4] MIRPOUR K, ARCIZET F, ONG W S, et al. Been there, seen that: a neural mechanism for performing efficient visual search[J]. *Neurophysiol*, 2009, 102(6): 3481-3491.

- [5] SHINN-CUNNINGHAM B G. Object-based auditory and visual attention[J]. *Trends in Cognitive Sciences*, 2008, 12(5): 182-186.
- [6] KOCH C, ULLMAN S. Shifts in selective visual attention: towards the underlying neural circuitry[M]. Netherlands: Springer, 1987.
- [7] MA Y. Study on drivers' visual search pattern based on analysis of eye movements[D]. Xi'an: Chang'an University, 2006.
- [8] 杜志刚, 蒋宏, 潘晓东. 眼动仪在道路交通安全与环境评价中的应用[C]//第三届全国公路科技创新高层论坛论文集(下册). 北京: 人民交通出版社, 2006: 938-943.
DU Zhi-gang, JIANG Hong, PAN Xiao-dong. Eye tracking system's application on evaluation of road traffic safety and environment[C]//Proceedings of the third Session of the National Highway Technological Innovation Top BBS. Beijing: China Communications Press, 2006: 938-943.
- [9] SCOTT H, HALL L, LITCHFIELD D, et al. Visual information search in simulated junction negotiation: Gaze transitions of young novice, young experienced and older experienced drivers[J]. *Journal of Safety Research*, 2013(45): 111-116.
- [10] 闫国利, 田宏杰, 张仙峰. 汽车驾驶行为的眼动研究[J]. *心理科学*, 2005, 28(5): 1211-1212.
YAN Guo-li, TIAN Hong-jie, ZHANG Xian-feng. A review of studies of eye movement during driving[J]. *Psychological Science*, 2005, 28(5): 1211-1212.
- [11] BOROWSKY A, SHINAR D, ORON-GILAD T. Age, skill, and hazard perception in driving[J]. *Accident Analysis and Prevention*. 2010, 42(4): 1240-1249.
- [12] KONSTANTOPOULOS P, CHAPMAN P, CRUNDALL D. Driver's visual attention as a function of driving experience and visibility. using a driving simulator to explore drivers' eye movements in day, night and rain driving[J]. *Accident Analysis and Prevention*, 2010, 42(3): 827-834.
- [13] MYUNGHOON K, HIGGINS L L, CHRYSLER S T, et al. Effect of driving environment on drivers' eye movements: Re-analyzing previously collected eye-tracker data[C]//Transportation Research Board 89th Annual Meeting, [S.l.]: [s.n.], 2010.
- [14] 裴玉龙, 周侃, 张诚. 酒精作用下驾驶人心理生理及眼动特性分析[J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2011, 13(5): 80-86.
PEI Yu-long, ZHOU Kan, ZHANG Cheng. Analysis of driver's psycho-physiological and eye movement characteristics under alcohol effect[J]. *Journal of Harbin Institute of Technology*, 2011, 13(5): 80-86.
- [15] 叶晓林, 杨海波. 认知负荷对驾驶行为影响的眼动研究[J]. *交通信息与安全*, 2012, 30(6): 67-76.
YE Xiao-lin, YANG Hai-bo. Impact of cognitive loading on simulated driving performance: an eye movement study[J]. *Computer and Communications*, 2012, 30(6): 67-76.
- [16] EHINGER K A, HIDALGO-SOTELO B, TORRALBA A, et al. Modelling search for people in 900 scenes: A combined source model of eye guidance[J]. *Visual Cognition*, 2009, 17(6-7): 945-978.