

基于马尔可夫链的驾驶人视觉转移特征

袁 伟,付 锐,郭应时,薛传亮,马 勇

(长安大学 汽车运输安全保障技术交通行业重点实验室,陕西 西安 710064)

摘 要:为了不割裂视觉转移过程的连续性,运用动态聚类方法,对驾驶人注视点的视野平面解析坐标进行聚类,实现驾驶人注视区域划分。在考虑驾驶人注视行为在时间轴上关联性的基础上,分析驾驶人注视行为在各注视区域间转移模式的齐次性,运用马尔可夫链理论,探讨各注视区域间视觉转移概率的求解方法,并对 5 名不同驾驶经验驾驶人的眼动数据进行统计,求得其一步转移概率矩阵和平稳分布,分析驾驶人视觉转移特征。分析结果表明:驾驶人对任一注视目标都需要多次重复注视才能获取足够的信息,且注视点主要集中在前方车道远处、前方车道近处、右侧车道和左侧车道 4 个区域。

关键词:汽车工程;驾驶人;视觉转移;注视区域;马尔可夫链

中图分类号:U491.254

文献标志码:A

Driver's visual transition characteristics based on the Markov chain

YUAN Wei, FU Rui, GUO Ying-shi, XUE Chuan-liang, MA Yong

(Key Laboratory of Automotive Transportation Safety Technology of the
Ministry of Transport, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: In order to maintain continuity of visual transfer process, the dynamic cluster method was used to process the analytic coordinates of driver's fixation points in visual fields, and the driver's fixation areas were distinguished. Taking the relevance of fixation behaviors along time scales into consideration, the homogeneity of driver's visual transition pattern among different fixation areas was analyzed. The solutions of visual transition probabilities were exploited with the Markov chain theory, and the one-step transition probability matrix and the stationary distribution of five drivers with different driving experiences were evaluated from the eye movement data. The results indicate that many repeated fixations are necessary for driver to get sufficient information and the most fixation points are grouped in the far side of front lane, the near side of front lane, the right lane and the left lane. 2 tabs, 5 figs, 11 refs.

Key words: automotive engineering; car driver; visual transition; fixation area; Markov chain

0 引 言

注视行为是驾驶人的一种基本的眼动形式,也

是眼动研究中用来探讨内在认知过程的一个重要指标。驾驶人在驾驶过程中,主要通过注视行为来识别交通环境中的目标信息^[1]。同济大学的潘晓东等

利用 EMR-8B 眼动仪,研究了在逆光条件下交通标志的可视距离^[2];长安大学郭应时等分析了不同通道宽度条件下驾驶人注视行为变化特征,认为随着通道宽度变窄,驾驶人注视点变近,对障碍物的注意变得集中,且习惯以左侧障碍物为参照来调整车辆的运行状态^[3];瑞典林雪平大学的 Falkmer 等通过对测得的眼动数据进行分析,认为相对于熟练驾驶人而言,非熟练驾驶人的眼动行为具有以下特征:① 注视点更靠近所驾驶的 vehicle 而不是远方;② 对车内物体注视更为频繁;③ 水平方向搜索广度小;④ 对重要交通信息的注视更为频繁;⑤ 对包含潜在危险目标的注视更为频繁^[4];英国南安普顿大学的 Brackstone 等对高速行驶时驾驶人的眼动行为进行了研究,通过对驾驶人平均注视时间及各区域注视时间所占百分比的分析发现,驾驶人在整个驾驶过程中花费 80% 的时间来观察前方道路区域,且每次视线从车辆前方区域移走的平均时间约为 0.65 s^[5];英国诺丁汉大学 Underwood 等通过试验,对非熟练驾驶人水平方向搜索广度比熟练驾驶人小的原因进行了研究,分析了注视次数、总的注视时间、注视持续时间以及回头看的次数,发现非熟练驾驶人更依赖车内后视镜来观察交通状况^[6]。

虽然国内外关于驾驶人注视行为特征的研究已经取得了大量的研究成果,但基本上集中在注视点的位置和注视持续时间这 2 个指标,鲜见对驾驶人注视点前后之间联系的深入分析。本文把各个注视点作为时间轴上的连续点来进行研究,分析前一个注视点、当前注视点和下一注视点之间的内在变化规律,体现了注视行为时刻运动变化的特性。

1 驾驶人注视区域划分

1.1 传统驾驶人注视区域划分方法

国内外相关研究检索发现,驾驶人注视区域划分方法主要有 2 种:视野平面法和录像回放法。视野平面法是把视野平面划分为几个部分,认为落在各部分的注视点即为注视该区域的场景,这是比较常用的一种视觉注视区域的研究方法,来源于对静态场景的视觉行为研究,如图 1 所示为一种典型的驾驶人视野平面法对注视区域的划分^[4-5]。通过把视野平面划分几个部分的注视区域研究方法,优点是简单易行,区域划分后对各项指标的统计分析工作量较小;缺点是精确度低,统计结果可信度较差。录像回放法是通过观看带有注视点的试验录像回放,逐帧分析每幅画面的注视点位置,确定每个注视点的注视目标,如图 2 为试验录像回放中驾驶人注视左后视镜的画面^[6]。录像回放法的优点是精确度

高,因为对每幅画面都进行分析,不会出现误差,各因素的差异也不会对统计结果产生影响;缺点是统计工作量大,如在本文试验中,所有样本的注视点数量达到 20 万个以上,逐一分析是不现实的。

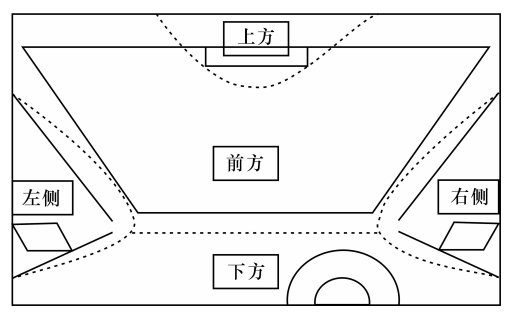


图 1 视野平面法对注视区域的划分
Fig. 1 Division of fixation areas with visual field plane method



图 2 录像法对注视区域的划分
Fig. 2 Division of fixation areas with record analysis method

1.2 驾驶人注视区域划分的动态聚类法

为了克服传统注视区域划分方法的缺陷,探索采用聚类方法对注视点在视野平面上位置的解析坐标进行聚类,对驾驶人行车过程中的注视区域进行了划分,该方法具有划分速度快,工作量小,且注视区域划分结果比较准确的优点^[7]。通过对聚类为 5 类、6 类、7 类、8 类、9 类和 10 类比较,认为聚类为 6~8 类比较合适,图 3 为某驾驶人注视点位置聚类为 8 类的结果^[8]。

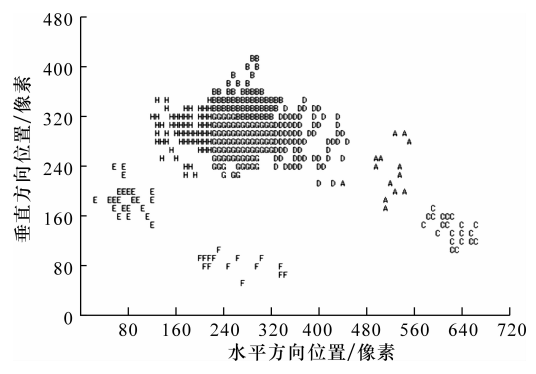


图 3 某驾驶人注视点位置 8 类聚类结果
Fig. 3 Eight clusters of driver's fixation positions

对每类注视点所在区域轮廓进行简单描画后,视野平面被分成了 8 个界线明显的区域,如图 4 所示。通过与试验录像的对照,可以确定各区域内的主要注视目标,见表 1。

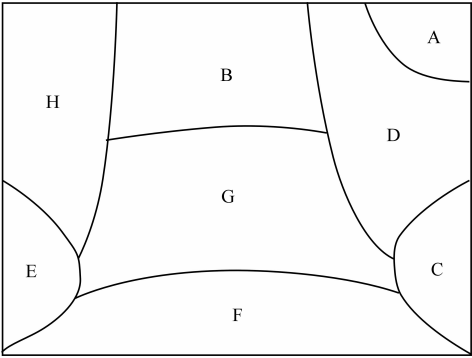


图 4 动态聚类 8 区域划分结果
Fig. 4 Division result for eight clusters
of dynamic clustering

表 1 各注视区域主要注视目标

Tab. 1 Main visual objects in each fixation area

注视区域	A	B	C	D	E	F	G	H
注视目标	道路 外侧	前方车 道远处	右后 视镜	右侧 车道	左后 视镜	车内 仪表	前方车 道近处	左侧 车道

2 驾驶人注视行为一步转移概率矩阵

2.1 马尔可夫 (Markov) 链

设随机序列 $\{X(n), n=0, 1, 2, \cdots, n\}$ 的离散状态空间 E 为 $\{1, 2, \cdots, n\}$, 若对于任意 m 个非负整数 $n_1, n_2, \cdots, n_m (0 \leq n_1 < n_2 < \cdots < n_m)$ 和任意自然数 k , 以及任意 $i_1, i_2, \cdots, i_m, j \in E$, 满足

$$P\{X(n_m+k)=j|X(n_1)=i_1, X(n_2)=i_2, \cdots, X(n_m)=i_m\}=P\{X(n_m+k)=j|X(n_m)=i_m\} \tag{1}$$

则称 $\{X(n), n=0, 1, 2, \cdots\}$ 为马尔可夫链^[9]。

马尔可夫链是一个典型的无后效性随机过程,即模型在时刻 t 的状态只与它的前一个时刻 $t-1$ 的状态条件相关,与以前的状态条件独立^[10]。

驾驶人的注视行为中,下一个注视点所处的位置,只依赖于当前的注视点,而与在当前注视点之前驾驶人注视了什么地方无关,因而可以用马尔可夫链来解决这个问题。驾驶人注视点马尔可夫链,在时间、状态上都是离散的^[11]。

2.2 注视行为一步转移概率矩阵求解

式(1)右边的条件概率形式为

$$P\{X(n+k)=j|X(n)=i\}, k \geq 1 \tag{2}$$

称为马尔可夫链在 n 时刻的 k 步转移概率,转移概率表示已知 n 时刻处于状态 i , 经 k 个单位时间后过程处于状态 j 的概率。转移概率不依赖于 n 的

马尔可夫链,称为齐次马尔可夫链。这种马尔可夫链的状态转移概率仅与转移出发状态 i 、转移步数 k 、转移到达状态 j 有关,而与转移的起始时刻 n 无关。

把转移概率 $P_{ij}(n, n+k)$ 记为 $p_{ij}(k)$, 当 $k=1$ 时, $p_{ij}(1)$ 称为一步转移概率,记为 p_{ij} 。

设 p 表示一步转移概率 p_{ij} 所组成的矩阵,且状态空间 $E=\{1, 2, \cdots, n\}$, 则

$$p = \begin{bmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ p_{n1} & \cdots & p_{nn} \end{bmatrix} \tag{3}$$

称为系统状态的一步转移概率矩阵。

驾驶人注视点落在不同的区域为不同状态,下一个注视点落在哪个区域只与当前注视点所在的区域有关,是一个典型的齐次马尔可夫链。运用统计估算的方法来求解驾驶人的一步转移概率矩阵,基本思路是:将每一个注视区域作为马尔可夫链的一个状态,然后统计出在各状态之间转移的概率。统计方法如图 5 所示。

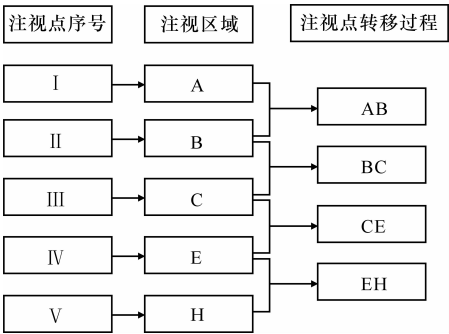


图 5 注视转移概率统计
Fig. 5 Statistics of transition probabilities

设 1、2、3、4、5、6、7、8 为注视点 8 种状态,分别对应 A、B、C、D、E、F、G、H 区域。 a_{ij} 为由状态 i 转向状态 j 的频数,如 a_{11} 表示当前注视点在 1 状态(A 区域),下一注视点仍在 1 状态的频数; a_{13} 表示当前注视点在 1 状态(A 区域),下一注视点在 3 状态(C 区域)的频数; a_{83} 表示当前注视点在 8 状态(H 区域),下一注视点在 3 状态(C 区域)的频数,其余以此类推。

设

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} = a_i \quad (i, j=1, 2, \cdots, n) \tag{4}$$

那么由状态 i 转向状态 j 的转移概率为 $f_{ij} \approx a_{ij}/a_i, (i=1, 2, \cdots, n)$ 。由概率论知识可知,当状态概率的理论分布未知时,若样本容量足够大,可以用样本分布近似地描述状态的理论分布。因此,对于未知的转移概率,可以用转移频率来近似地估计转移概率。所以,由状态 i 转向 j 的转移概率的估计

值为 $p_{ij} \approx a_{ij} / a_i$ 。这样便可以得到驾驶人注视点马尔可夫链的一步转移概率矩阵。

选取 5 名具有不同驾驶经验的驾驶人作为试验对象,驾驶经验里程见表 2。在同一路段进行真实交通环境下实车试验,尽量保证各驾驶人试验时的交通量、天气、光照强度等条件相同,试验时预先告诉驾驶人行驶线路,要求驾驶人按照自己的驾驶习惯自由行驶,不要求行车速度。试验车辆为瑞风 7 座商务车,使用 EyeLink II 眼动仪监测记录驾驶人行驶过程中的眼动数据^[8]。

表 2 受试驾驶人编号与驾驶经验里程

Tab. 2 Numbers and driving mileages of drivers

驾驶人编号	001	002	003	004	005
经验里程/ 10^4 km	0.4	1.0	2.0	10~30	60~100
驾驶人类型	非熟练驾驶人			熟练驾驶人	

对 EyeLink II 眼动仪记录的数据进行统计分析,首先运用 1.2 节中的方法对各受试驾驶人的注视区域进行划分,然后运用前述方法求得各驾驶人视线在各注视区域间的一步转移概率矩阵为

$$\begin{aligned} p_{001} &= \begin{bmatrix} 0.529\ 4 & 0.058\ 8 & 0.000\ 0 & 0.117\ 6 & 0.000\ 0 & 0.000\ 0 & 0.294\ 1 & 0.000\ 0 \\ 0.000\ 0 & 0.569\ 0 & 0.007\ 3 & 0.094\ 4 & 0.000\ 0 & 0.007\ 3 & 0.266\ 3 & 0.055\ 7 \\ 0.093\ 8 & 0.125\ 0 & 0.468\ 8 & 0.062\ 5 & 0.000\ 0 & 0.000\ 0 & 0.187\ 5 & 0.062\ 5 \\ 0.011\ 8 & 0.230\ 8 & 0.017\ 8 & 0.491\ 1 & 0.000\ 0 & 0.005\ 9 & 0.189\ 3 & 0.053\ 3 \\ 0.000\ 0 & 0.000\ 0 & 0.142\ 9 & 0.285\ 7 & 0.428\ 6 & 0.000\ 0 & 0.142\ 9 & 0.000\ 0 \\ 0.000\ 0 & 0.166\ 7 & 0.000\ 0 & 0.000\ 0 & 0.000\ 0 & 0.583\ 3 & 0.250\ 0 & 0.000\ 0 \\ 0.004\ 5 & 0.157\ 5 & 0.011\ 9 & 0.057\ 9 & 0.004\ 5 & 0.001\ 5 & 0.693\ 9 & 0.068\ 4 \\ 0.000\ 0 & 0.134\ 0 & 0.010\ 3 & 0.015\ 5 & 0.005\ 2 & 0.000\ 0 & 0.252\ 6 & 0.582\ 5 \end{bmatrix} \\ p_{002} &= \begin{bmatrix} 0.500\ 0 & 0.071\ 4 & 0.071\ 4 & 0.142\ 9 & 0.000\ 0 & 0.000\ 0 & 0.142\ 9 & 0.071\ 4 \\ 0.004\ 8 & 0.647\ 6 & 0.004\ 8 & 0.004\ 8 & 0.004\ 8 & 0.000\ 0 & 0.295\ 2 & 0.038\ 1 \\ 0.000\ 0 & 0.000\ 0 & 0.656\ 3 & 0.000\ 0 & 0.000\ 0 & 0.000\ 0 & 0.062\ 5 & 0.281\ 3 \\ 0.008\ 9 & 0.017\ 9 & 0.000\ 0 & 0.607\ 1 & 0.026\ 8 & 0.000\ 0 & 0.321\ 4 & 0.017\ 9 \\ 0.000\ 0 & 0.037\ 0 & 0.000\ 0 & 0.259\ 3 & 0.592\ 6 & 0.000\ 0 & 0.111\ 1 & 0.000\ 0 \\ 0.000\ 0 & 0.000\ 0 & 0.000\ 0 & 0.000\ 0 & 0.000\ 0 & 0.800\ 0 & 0.200\ 0 & 0.000\ 0 \\ 0.006\ 1 & 0.078\ 9 & 0.007\ 3 & 0.035\ 2 & 0.007\ 3 & 0.002\ 4 & 0.810\ 7 & 0.052\ 2 \\ 0.000\ 0 & 0.029\ 9 & 0.018\ 0 & 0.035\ 9 & 0.006\ 0 & 0.006\ 0 & 0.281\ 4 & 0.622\ 8 \end{bmatrix} \\ p_{003} &= \begin{bmatrix} 0.578\ 9 & 0.026\ 3 & 0.263\ 2 & 0.052\ 6 & 0.000\ 0 & 0.000\ 0 & 0.078\ 9 & 0.000\ 0 \\ 0.000\ 0 & 0.000\ 0 & 0.000\ 0 & 0.222\ 2 & 0.000\ 0 & 0.000\ 0 & 0.777\ 8 & 0.000\ 0 \\ 0.123\ 7 & 0.000\ 0 & 0.536\ 1 & 0.123\ 7 & 0.000\ 0 & 0.010\ 3 & 0.206\ 2 & 0.000\ 0 \\ 0.002\ 9 & 0.002\ 9 & 0.061\ 0 & 0.508\ 7 & 0.005\ 8 & 0.002\ 9 & 0.407\ 0 & 0.008\ 7 \\ 0.000\ 0 & 0.027\ 0 & 0.000\ 0 & 0.027\ 0 & 0.594\ 6 & 0.216\ 2 & 0.135\ 1 & 0.000\ 0 \\ 0.000\ 0 & 0.030\ 8 & 0.015\ 4 & 0.000\ 0 & 0.076\ 9 & 0.723\ 1 & 0.153\ 8 & 0.000\ 0 \\ 0.002\ 4 & 0.000\ 8 & 0.010\ 5 & 0.121\ 5 & 0.006\ 4 & 0.006\ 4 & 0.844\ 7 & 0.007\ 2 \\ 0.000\ 0 & 0.107\ 1 & 0.000\ 0 & 0.071\ 4 & 0.000\ 0 & 0.000\ 0 & 0.250\ 0 & 0.571\ 4 \end{bmatrix} \\ p_{004} &= \begin{bmatrix} 0.250\ 0 & 0.125\ 0 & 0.375\ 0 & 0.000\ 0 & 0.000\ 0 & 0.000\ 0 & 0.250\ 0 & 0.000\ 0 \\ 0.000\ 0 & 0.636\ 4 & 0.002\ 5 & 0.125\ 3 & 0.014\ 7 & 0.002\ 5 & 0.206\ 4 & 0.012\ 3 \\ 0.222\ 2 & 0.055\ 6 & 0.444\ 4 & 0.000\ 0 & 0.000\ 0 & 0.000\ 0 & 0.111\ 1 & 0.166\ 7 \\ 0.005\ 4 & 0.183\ 8 & 0.005\ 4 & 0.573\ 0 & 0.016\ 2 & 0.005\ 4 & 0.200\ 0 & 0.010\ 8 \\ 0.000\ 0 & 0.076\ 9 & 0.051\ 3 & 0.153\ 8 & 0.589\ 7 & 0.051\ 3 & 0.000\ 0 & 0.076\ 9 \\ 0.000\ 0 & 0.090\ 9 & 0.000\ 0 & 0.045\ 5 & 0.090\ 9 & 0.727\ 3 & 0.045\ 5 & 0.0\ 0\ 0 \\ 0.002\ 1 & 0.202\ 1 & 0.006\ 3 & 0.040\ 0 & 0.008\ 4 & 0.004\ 2 & 0.682\ 1 & 0.054\ 7 \\ 0.000\ 0 & 0.169\ 5 & 0.000\ 0 & 0.050\ 8 & 0.016\ 9 & 0.000\ 0 & 0.423\ 7 & 0.339\ 0 \end{bmatrix} \\ p_{005} &= \begin{bmatrix} 0.428\ 6 & 0.285\ 7 & 0.000\ 0 & 0.000\ 0 & 0.000\ 0 & 0.142\ 9 & 0.000\ 0 & 0.142\ 9 \\ 0.002\ 5 & 0.718\ 1 & 0.000\ 0 & 0.007\ 4 & 0.000\ 0 & 0.004\ 9 & 0.088\ 2 & 0.178\ 9 \\ 0.000\ 0 & 0.058\ 8 & 0.588\ 2 & 0.058\ 8 & 0.000\ 0 & 0.000\ 0 & 0.176\ 5 & 0.117\ 6 \\ 0.000\ 0 & 0.230\ 8 & 0.000\ 0 & 0.346\ 2 & 0.000\ 0 & 0.000\ 0 & 0.307\ 7 & 0.115\ 4 \\ 0.062\ 5 & 0.125\ 0 & 0.000\ 0 & 0.000\ 0 & 0.687\ 5 & 0.000\ 0 & 0.062\ 5 & 0.062\ 5 \\ 0.000\ 0 & 0.021\ 3 & 0.021\ 3 & 0.021\ 3 & 0.021\ 3 & 0.766\ 0 & 0.106\ 4 & 0.042\ 6 \\ 0.000\ 0 & 0.183\ 9 & 0.011\ 5 & 0.040\ 2 & 0.005\ 7 & 0.040\ 2 & 0.563\ 2 & 0.155\ 2 \\ 0.009\ 0 & 0.321\ 3 & 0.018\ 1 & 0.022\ 6 & 0.013\ 6 & 0.004\ 5 & 0.104\ 1 & 0.506\ 8 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

2.3 注视行为一步转移特征分析

在求得的一步转移概率矩阵中,元素 p_{ij} 表示当前注视点在 i 区域、下一注视点转移到 j 区域的概率值。通过对 5 个驾驶人一步转移概率矩阵的分析,结合 1.2 节中对注视区域的划分,发现驾驶人的注视行为在各注视区域间转移时存在以下规律。

(1) 设第 n 注视点驾驶人注视 i 区域,第 $n+1$ 个注视点驾驶人注视 j 区域,若概率 $p_{ij}^{(1)} = 0$,则说明驾驶人注视点不会从 i 区域经过一步转移到 j 区域;反之,若 $p_{ij}^{(1)} \neq 0$,则说明驾驶人注视点有一定的概率从 i 区域经过一步转移到 j 区域。

如果以上矩阵的某一行上所有的元素都不为 0,则说明注视点可以由该行表示的区域转移到其他的任何区域。各驾驶人一步转移概率转移矩阵中第 7 行中的元素,除驾驶人 005 外,都不为 0,驾驶人 005 也仅仅出现了一个不为 0 的元素。第 7 行对应的区域是 G 区域即驾驶人前方车道近处,说明如果驾驶人的当前注视点如果在前方车道近处区域,则下一个注视点将会按照一定的概率落在任何区域。

(2) 当 $i=j$, $p_{ii}^{(1)}$ 构成了马尔可夫一步转移概率矩阵主对角线上的数值,这些数值表示当前注视点在某一区域,下一注视点仍然在这一区域,即对某区域重复注视的概率。5 位驾驶人的一步转移概率矩阵主对角线上的概率值均远远大于其他概率值,说明驾驶人在任一区域信息的获取并不是通过一次注视能够完成的,需要进行多次重复注视,才能获取足够的信息。

(3) 除 003 号外,其他驾驶人对 B 区域和 F 区域的重复注视概率都比较大,说明前方车道远处和车内仪表 2 个区域的信息比较复杂,需要多个连续注视点停留在这一区域,才能完成信息摄取。

(4) 001、002、003 号驾驶人,对 A 区域和 G 区域的重复注视的概率要大于 004 和 005 号驾驶人,说明与熟练驾驶人相比,非熟练驾驶人视觉搜索模式僵化,对道路外侧和前方车道近处的区域重复注视较多,不能通过快速、大范围的扫描来实现信息摄取。

3 驾驶人注视行为平稳分布

3.1 注视行为平稳分布求解

设 $\{X_n, n \geq 0\}$ 是齐次马尔可夫链,状态空间为 E ,转移概率为 p_{ij} ,存在概率分布 $\{\pi_i, j \in E\}$,若满足

$$\left. \begin{aligned} \pi_j &= \sum_{i \in E} \pi_i p_{ij} \\ \sum_{i \in E} \pi_j &= 1, \pi_j \geq 0 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

则称 $\{\pi_i, j \in E\}$ 为马尔可夫链的平稳分布。

设马尔可夫链 $\{X_n, n \geq 0\}$,有限状态空间 $E = \{0, 1, \dots, s\}$,若存在正整数 n_0 ,使对一切 $i, j \in E$,都有 $p_{ij}^{(n_0)} > 0$,则此马尔可夫链是遍历的。此时,有

$$\lim_{n \rightarrow \infty} p_{ij}^{(n)} = \pi_j \quad (6)$$

马尔可夫链具有遍历性说明,经历一段时间后,系统达到了平稳状态。即对某一状态 j ,马尔可夫链在初始时刻从 i 出发,通过长时间的转移,到达 j 的概率都趋近于 π_j 。根据马尔可夫链的相关性质,针对上述 5 位驾驶人建立的马尔可夫链是不可约并且是非周期的。故此马尔可夫链存在稳态分布。

根据马尔可夫链平稳分布的定义,由式(1)可以推导建立八元一次方程组。以驾驶人 001 的一步转移概率矩阵 p_{001} 为例,建立的方程组为

$$\left. \begin{aligned} \{[p_{001}^T - \text{diag}(1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1)]\pi = 0 \\ \sum_{i=1}^8 \pi_i = 1 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

求解 5 位驾驶人的注视行为平稳分布如下

$$\begin{aligned} \pi_{001} &= \begin{bmatrix} 0.011 & 3 \\ 0.272 & 4 \\ 0.021 & 2 \\ 0.112 & 7 \\ 0.004 & 6 \\ 0.007 & 8 \\ 0.443 & 5 \\ 0.126 & 5 \end{bmatrix} & \pi_{002} &= \begin{bmatrix} 0.010 & 0 \\ 0.149 & 7 \\ 0.022 & 9 \\ 0.081 & 7 \\ 0.019 & 4 \\ 0.010 & 6 \\ 0.586 & 7 \\ 0.118 & 9 \end{bmatrix} & \pi_{003} &= \begin{bmatrix} 0.020 & 4 \\ 0.004 & 9 \\ 0.052 & 3 \\ 0.185 & 8 \\ 0.019 & 8 \\ 0.034 & 8 \\ 0.667 & 1 \\ 0.015 & 0 \end{bmatrix} \\ \pi_{004} &= \begin{bmatrix} 0.006 & 6 \\ 0.334 & 0 \\ 0.014 & 9 \\ 0.154 & 0 \\ 0.032 & 1 \\ 0.018 & 2 \\ 0.391 & 6 \\ 0.048 & 6 \end{bmatrix} & \pi_{005} &= \begin{bmatrix} 0.007 & 7 \\ 0.445 & 4 \\ 0.018 & 6 \\ 0.028 & 4 \\ 0.017 & 5 \\ 0.051 & 3 \\ 0.189 & 9 \\ 0.241 & 3 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

3.2 注视行为平稳分布特征分析

根据马尔可夫平稳分布的性质,驾驶人长时间驾驶后,对各区域的注视点分布的概率会趋于稳定。5 位驾驶人注视行为的平稳分布值表明:

(1) 5 位驾驶人的注视点以较大的概率出现在 B、D、G、H 区域,而在 A、C、E、F 出现的概率较小,即驾驶人对各个区域的注视逐渐稳定后,注视点大

都集中在:前方车道远处、前方车道近处、右侧车道和左侧车道4个区域。

(2)非熟练驾驶人001、002对B区域的注视概率要小于熟练驾驶人004、005,说明与非熟练驾驶人相比,熟练驾驶人更注重获取前方远处道路的交通信息。

(3)非熟练驾驶人001、002对D区域的注视概率要大于熟练驾驶人004、005,说明与熟练驾驶人相比,非熟练驾驶人更习惯于观察近处道路的交通信息。

4 结 语

(1)运用聚类方法对注视点在视野平面上位置的解析坐标进行聚类,可以实现对驾驶人行车过程中的注视区域进行划分,该方法具有划分速度快,工作量大,且注视区域划分结果比较准确的优点。

(2)驾驶人注视点在不同注视区域的转移过程是一个典型的齐次马尔可夫链,且具有遍历性,可以运用马尔可夫链理论求解驾驶人视觉行为的一步转移概率矩阵和平稳分布。

(3)通过对注视行为的一步转移概率矩阵分析可知,在城市道路环境中,驾驶人对任一注视区域都需要多次重复注视才能获取足够的信息;前方车道远处和车内仪表是驾驶人重复注视概率最大的区域;与熟练驾驶人相比,非熟练驾驶人对道路外侧和前方车道近处的区域重复注视较多。

(4)通过对注视行为平稳分布特征分析可知,驾驶人长时间驾驶后,对各区域的注视点分布的概率会趋于稳定,注视点主要集中在:前方车道远处、前方车道近处、右侧车道和左侧车道4个区域;熟练驾驶人更注重获取前方远处道路的交通信息,非熟练驾驶人更习惯于观察近处道路的交通信息。

参考文献:

References:

- [1] 闫国利,田宏杰,张仙锋. 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. (in Chinese)
- [2] 潘晓东,林雨,郭雪斌,等. 逆光条件下交通标志的可视距离研究[J]. 公路交通科技,2006,23(5):118-120.

- PAN Xiao-dong, LIN Yu, GUO Xue-bin, et al. Research on traffic sign discernible visual range under backlighting condition[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2006, 23(5):118-120. (in Chinese)
- [3] 郭应时,付锐,袁伟,等. 通道宽度对驾驶员动态视觉和操作行为的影响[J]. 中国公路学报,2006,19(5):83-87.
GUO Ying-shi, FU Rui, YUAN Wei, et al. Influences of passage width on driver's dynamic vision and operation behavior[J]. China Journal of Highway and Transport, 2006, 19(5):83-87. (in Chinese)
- [4] Falkner T, Gregersen N P. A comparison of eye movement behavior of inexperienced and experienced drivers in real traffic environment[J]. Optometry and Vision Science, 2005, 82(8):732-739.
- [5] Brackstone M, Waterson B. Are we looking where we are going an exploratory examination of eye movement in high speed driving [C] // Proceedings of the 83rd Transportation Research Board Annual Meeting. Washington: TRB, 2004:2602-2626.
- [6] Underwood G, Crundall D, Chapman P. Selective searching while driving: the role of experience in hazard detection and general surveillance [J]. Ergonomics, 2002, 45(1):1-15.
- [7] 黄丽娟. 动态聚类新方法 & 最优聚类算法研究[D]. 扬州:扬州大学,2006.
HUANG Li-juan. New non-hierarchical clustering objectives and the algorithms to optimal clustering[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2006. (in Chinese)
- [8] 袁伟. 城市道路环境中汽车驾驶员动态视觉特性试验研究[D]. 西安:长安大学,2008.
YUAN Wei. Study on car driver's dynamic visual characters test on city road [D]. Xi'an: Chang'an University, 2008. (in Chinese)
- [9] 刘建民. 随机过程[M]. 西安:西北大学出版社,2004.
LIU Jian-min. Stochastic process[M]. Xi'an: North-West University Press, 2004. (in Chinese)
- [10] 茆诗松,王静龙,史定华,等. 统计手册[M]. 北京:科学出版社,2003.
MAO Shi-song, WANG Jing-long, SHI Ding-hua, et al. Statistics manual[M]. Beijing: Science Press, 2004. (in Chinese)
- [11] 张延安. 试论马尔可夫模型及应用[J]. 沈阳大学学报,2001,13(2):44-46.
ZHANG Yan-an. On the model and application of Markov[J]. Journal of Shenyang University, 2001, 13(2):44-46. (in Chinese)