

文章编号: 167121637(2010)04011206

交通仿真中驾驶人空间视野感知模型

张 驰, 杨少伟, 潘兵宏, 赵一飞

(长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064)

摘 要: 分析了驾驶人视野注视点的移动规律, 研究了空间视野范围内的视野水平角, 给出了车速与视野和注视距离的关系, 提出了空间视野感知模型。结合道路中心线与平行线三维坐标计算方程, 建立了驾驶人空间视野感知模型的计算方法。通过计算机模拟实际场景, 对5位受试者分别进行了4次测试, 得到了722段组合数据和3585个速度数据, 对模型进行了验证。研究结果表明: 预测结果与实测结果吻合率大于70%, 不明显效果率低于20%, 错误效果率低于10%。该模型仿真效果明显, 算法易于实现。

关键词: 交通仿真; 空间视野; 感知模型; 视野注视点

中图分类号: U491.123

文献标志码: A

Perception model of driver spatial vision in traffic simulation

ZHANG Chi, YANG Shao2wei, PAN Bing2hong, ZHAO Y2fei

(Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education,
Changan University, Xpan 710064, Shaanxi, China)

Abstract: The movement rule of driversp visual gaze points was analyzed, the horizontal visual angle of spatial vision range was studied, the relationship among speed, vision and gaze distance was established, and a perception model of driver spatial vision was proposed. According to the 3D coordinate equations of road centerline and parallel, a calculation method of spatial vision perception model was put forward. In order to test and verify the model, 5 participants carried out four different tests to obtain 722 combination data and 3585 speed data through simulating actual scene. Study result shows that the coincidence rate between prediction result and experimental result is more than 70%, the un conspicuous effect rate is less than 20%, and the error effect rate is less than 10%. So the model has a good simulation effect, and its calculation approach is easy to be realized. 4 tabs, 4 figs, 12 refs.

Key words: traffic simulation; spatial vision; perception model; visual gaze point

Author resumes: ZHANG Chi(19812), male, engineer, doctoral student, + 86229282334767, zhangchi@chd.edu.cn; YANG Shao2wei(19562), male, professor, PhD, + 86229282334338, gl06@chd.edu.cn.

0 引 言

随着计算机技术的发展, 交通仿真越来越得到

重视, 其中驾驶人的视觉仿真在人2车2路闭环系统中是对车辆控制和道路信息反馈的关键环节, 也是交通仿真中的重点和难点问题, 因此, 研究驾驶人的

收稿日期: 201020212

基金项目: 国家西部交通建设科技项目(200231881227); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(CHD2009JC035)

作者简介: 张 驰(19812), 男, 四川南溪人, 长安大学工程师, 工学博士研究生, 从事道路交通安全研究。

导师简介: 杨少伟(19562), 男, 陕西延安人, 长安大学教授, 工学博士。

视觉仿真技术对提高交通仿真软件的适用性和准确性起到重要的作用。

在理论上,国内外学者对驾驶人视觉感知模型和驾驶人空间视野进行了很多有价值的探讨。其中有代表性的为: Hidas 建立了车辆换道模型,提出了基于驾驶人视觉仿真的车辆信息获取技术,并应用于智能交通系统中,但在该模型中并没有对虚拟驾驶人的视觉信息来源进行限制^[1]; Dumbuya 等提出了一个非常逼真的驾驶人视觉感知模型,其不仅考虑了视觉关注的范围、遮挡,甚至还考虑到了眼睛、视网膜成像、瞳孔导致的图像失真,以及两只眼睛对目标的差分成像等,但对于交通仿真而言,该模型过于复杂,应用性不强^[2]; 杨建国等建立了独立的视野感知模型,将驾驶人仿真模型分为感知系统、决策系统和执行系统 3 部分,仿真现实中的驾驶人如何获取外界的视野信息,但作者只对无信号交叉口进行了仿真研究,对于路网中驾驶人仿真效果未作进一步研究,适用性有限^[3]; Lim 等提出了驾驶人观测模型,该模型在明确提出驾驶人的观测行为应该受到物理条件限制的同时,还提出了驾驶人的主观因素也会对驾驶人的观测行为产生影响,并且提出应该根据主观、客观因素来量化 VISA 值 (Visual Information Selective Acquisition),从而决定驾驶人的关注对象,但作者没有介绍如何将主观、客观因素量化处理,所以更像是一种概念模型^[4]; 潘兵宏等根据驾驶人的动视力、动视野与行驶速度的关系,分析了驾驶过程中驾驶人的动视觉特点,提出了满足动视觉特点的直线长度的合适范围、满足视觉条件的平曲线半径计算公式以及平纵设计中应该注意的问题,但作者只限于理论的初步论证并没有进行实际效果的验证^[5]; 袁伟等对驾驶人操作行为的信息感知、轨迹决策和操作校正 3 个阶段的行为反应进行了分析,提出了驾驶人视野宽度信息获取影响其驾驶行为的结论,但作者没有对影响驾驶人行驶速度的视野可视距离进行深入分析^[6]。

总的来看,目前关于驾驶人视觉感知模型在交通仿真中的应用研究尚处在初步探索阶段,有些模型考虑了视觉感知的范围并用简化的方法表示,忽略了很多影响视觉感知范围的关键因素,使得模型过于简单,有些研究者构建了复杂的视觉感知模型并全面考虑了视觉感知的影响因素,但模型的复杂程度使其难以在大规模交通仿真中使用。关于空间视野已经有一些动态视觉特征方面的研究成果,但

尚未见将空间视野与道路指标结合进行定量的分析研究。

本文在分析驾驶人空间视野特点的基础上,按照驾驶人动视觉特征,提出空间视野感知模型,结合道路中心线与平行线三维坐标计算方程,建立驾驶人空间视野感知模型的计算方法,并通过计算机模拟实际场景对驾驶人空间视野感知模型进行有效性验证。

1 驾驶人的空间视野感知建模

驾驶人在车辆行驶过程中要不断注视前方,观察环境变化,其视野会随着运行速度和运行环境的变化而变化的特性称为视野特性^[6]。研究表明,当驾驶人驾驶汽车高速行驶时,会感到车外的树木、房屋等固定物体不断地向后移动,越近的物体移动的速度越快,这是因为这些物体的映像在人眼视网膜上停留的时间太短,人眼来不及仔细分辨物体的细节,因此,随着车速的提高,驾驶人的视野会越来越窄。视野随车速的变化而变化,但是反过来解释同样成立,车速随视野的变化而变化,即驾驶人总是根据视野的大小来选择驾驶速度。当前方由于转弯或者纵坡使视野变小时,会相应地降低速度;当前方为长直线或者大半径平曲线而通视良好时,视野增大,会提高速度。一个正常的驾驶人绝对不会在高速行驶时看着近处,或者在低速行驶时长时间看着远处,即视野的大小和速度的高低存在对应关系,高速行驶时,驾驶人主要注意力是用来观察视点较远路段的线形状况,因此,只要合理地确定虚拟驾驶人的视野注视点范围以及视野角度和影响距离,就可以形成一个空间视野范围。在空间视野范围内,剔除掉交通标志标线等与视野空间体积无关信息对速度的影响,就完成了驾驶人空间视野感知模型的功能。

本文的驾驶人空间视野感知模型的实质是为驾驶人的速度决策行为提供一个视野信息分析器,从而在驾驶过程中只关注路基范围以内的道路空间,为此,假设如下。

(1) 驾驶人不会看很远处或者很偏处的目标,即使看见也不会关心,因此,存在一个扇形的视场^[7],驾驶人仅对该视场内的空间进行视野感知。

(2) 假设每辆车行驶在车道中心线上,并且驾驶人注视点的中心也在车道中心线上。

(3) 驾驶人的视线中线始终保持水平状态。

1.1 视野注视点

驾驶人在驾驶活动中有极其复杂的双眼注视点

移动规律, 因此, 模型中的视野注视点代表的是实际驾驶人的双眼注视点。目前很多学者已经开始关注视野的运动规律^[829], 在实际驾驶活动中, 驾驶人的视野运动还会受到其他因素的影响。比如, 频繁的换挡或方向操作, 会分散驾驶人的注意力, 周围环境不断变化和突发事件的发生, 大量不满足驾驶人期望的事件发生都会引起驾驶人视野注视点的移动, 这都加大了驾驶人视野注视点的建模的复杂程度, 但是, 在众多引起驾驶人注视点变化的因素当中, 一些主要的因素更需要注意。

参考相关文献[6210], 对视野注视点的产生方法做出如下假设。

- (1) 驾驶人行驶在车道中心线上, 视野注视点也始终在行车道中心线上。
- (2) 驾驶人的操作机^[3]总是滞后于视野感知。
- (3) 当操作机结束, 决策机^[3]会命令空间视野感知机将视野注视点重新移动到行车道中心线上。

1.2 视野角度和距离

视野关注焦点决定了扇形视野的中心方向, 在此基础上, 确定视距、视野水平角度和仰角, 根据路基边界的约束就可以唯一确定视野范围, 并计算出空间视野体积值。

视力检查的结果表明^[5], 人眼在注视点处的分辨能力很强, 偏离注视点的视力大大下降, 在视野12b以内的目标, 能够清晰可见。当视野角度增大时, 视力下降, 视物能力降低。驾驶人在路上行车, 经常移动自己的视线, 总是把目标置于视力清晰的视野范围之内, 因此, 将12b设定为空间视野范围中的视野水平角。

已有的研究认为^[6], 最大观测距离、视野均与车速有关, 表 1 给出了车速与视野和注视距离之间的关系^[5]。

表 1 车速与视野和注视距离的关系

Tab. 1 Relation among speed, vision and gaze distance

车辆速度/(km# h ⁻¹)	0	40	60	80	100	120
视野/(b)	170	100	86	60	40	22
注视距离/m	80	180	355	377	564	710

驾驶过程中, 驾驶人的空间分辨能力会逐渐降低。随着车速的增加, 驾驶人的视力呈下降趋势, 其视认距离会缩短; 车速增加, 景物距汽车就越近, 景物的角速度愈大, 景物在视野内的作用时间也会变短。Gibreel 等对平纵线形组合下驾驶人视野要求的研究表明^[11], 驾驶人的视野需求时间间隔一般在 1.5 s 左右, 因此, 可以将 1.5 s 认为是

驾驶人正常行驶状态下的驾驶操作适应时间。由于曲线路段的线形设计要保证一定的停车视距(表 2), 出于一般性考虑, 取 11 2 倍的停车视距作为驾驶人最远端注视点, 即前方线形影响范围的最远点, 见图 1。

表 2 各级公路停车视距

Tab. 2 Stopping sight distances of all class highways

等级	高速公路与一级公路				二~四级公路				
设计速度/(km# h ⁻¹)	120	100	80	60	80	60	40	30	20
停车视距/m	210	160	110	75	110	75	40	30	20

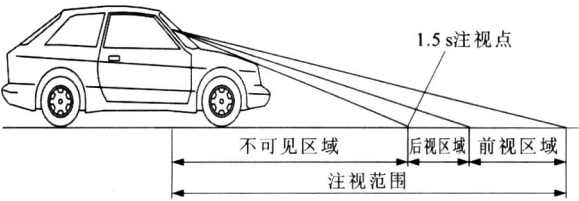


图 1 驾驶操作注视区域

Fig. 1 Eye fixation region of driving

假设一个驾驶人以 80 km# h⁻¹ (22 m# s⁻¹) 的速度驾驶车辆, 驾驶人的操作适应时间为 11 5 s, 停车视距为 110 m, 因而空间视野感知模型采用的视距范围为 33~ 132 m。由此, 在驾驶人眼前形成了一个水平角为 12b、仰角为 60b、半径为 33~ 132 m 的棱台, 见图 2。

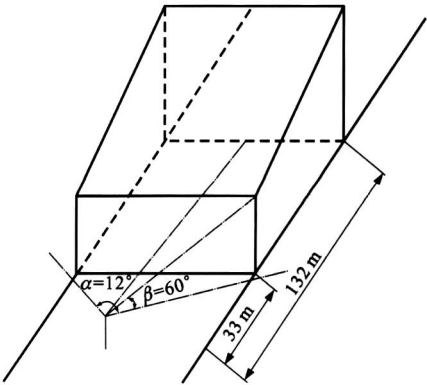


图 2 空间视野范围

Fig. 2 Range of spatial vision

2 空间视野模型的仿真计算

根据驾驶人空间视野感知建模的分析, 驾驶人在行驶过程中的空间视野是一个受到道路边界条件约束的棱台体, 因此, 空间视野模型的仿真计算实质就是计算此视野棱台的体积值。棱台体积值受道路平纵横指标、初始速度和驾驶人视点高度的影响。

2.1 道路中心线三维坐标计算方程

根据文献[12]可以得出道路的中心线方程为

$$\begin{cases} k(s) = ax(s) + b \\ U(s) = U_0 + \int_0^s k(s) ds \\ x(s) = x_0 + \int_0^s \cos[U(s)] ds \\ y(s) = y_0 + \int_0^s \sin[U(s)] ds \end{cases} \quad (1)$$

式中: $k(s)$ 为桩号为 s 处的曲线曲率, 直线上 $k(s)$ 为 0, 圆曲线上各点曲率相同, 为半径的倒数 b , 回旋线上各点曲率呈线性变化, 即 $k(s) = ax(s) + b$; $U(s)$ 为桩号为 s 处的切线与 x 轴正方向的夹角(规定以逆时针方向为正); U_0 为路线起点方位角; $x(s)$ 、 $y(s)$ 分别为桩号 s 处中桩对应的横、纵坐标值; x_0 、 y_0 分别为路线起点横、纵坐标值, a 为系数变量。

道路中线的标高 $z(s)$ 为

$$z(s) = \begin{cases} z_{fi} + G_{2i}(s - v_{fi}) & s \in [v_{fi}, v_{0(i+1)}) \\ z_{fi} + G_{2i}(s - v_{fi}) - \frac{|G_{1i} - G_{2i}|}{2} & \# \\ [s - v_{0(i+1)}]^2 & s \in [v_{0(i+1)}, v_{fi(i+1)}) \end{cases} \quad (2)$$

式中: G_{1i} 、 G_{2i} 分别为第 i 段竖曲线的前坡和后坡; v_{0i} 、 v_{fi} 分别为第 i 段竖曲线的起终点桩号; z_{fi} 为第 i 段竖曲线终点的高程值。

2.2 道路中心线平行线的三维坐标计算方程

道路中线切线方向的单位向量 $T(s)$ 表示为

$$T(s) = \begin{bmatrix} T_x(s) \\ T_y(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} xc(s) / \sqrt{[xc(s)]^2 + [yc(s)]^2} \\ yc(s) / \sqrt{[xc(s)]^2 + [yc(s)]^2} \end{bmatrix} \quad (3)$$

通过单位向量推出路线的法线方程 $N(s)$ 为

$$N(s) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} T(s) = \begin{bmatrix} T_y(s) \\ -T_x(s) \end{bmatrix} \quad (4)$$

根据式(3)、(4)推出与道路中线平行且距离中线宽度为 w 的轨迹线方程 $P(s)$ 为

$$P(s) = \begin{bmatrix} x(s) \\ y(s) \end{bmatrix} + w \begin{bmatrix} T_y(s) \\ -T_x(s) \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中: $T_x(s)$ 、 $T_y(s)$ 分别为 $T(s)$ 在 x 、 y 方向的值。

综合考虑超高因素, 可以推出与道路中线平行且距离中线宽度为 w 的轨迹线上任意一点的高程方程为

$$e(s) = \begin{cases} \operatorname{sgn}(w)(s - r_{0i}) \{e \operatorname{sgn}[U(s)]\} \# \\ \operatorname{sgn}(w) - e_c \{ (r_{fi} - r_{0i})^{-1} + e_c \} & s \leq r_{fi} \\ e \operatorname{sgn}[U(s)] & s \geq r_{fi} \end{cases} \quad (6)$$

$$z_c(s) = z(s) + w \frac{e(s)}{100}$$

式中: e 为路线超高的绝对值; e_c 为路拱横坡度; r_{0i} 、 r_{fi} 分别为超高过渡段的起终点桩号。

2.3 空间视野模型计算方法

假设驾驶人位于桩号 k 处, 行驶在道路中心线上, 初始行驶速度为 V , 道路宽度为 W , O_1 为 11.5 s 注视点, A_1 和 B_1 分别是视野范围的近端边界点, O_2 为最远影响点, A_2 和 B_2 分别是视野范围的远端边界点, L_1 为 1.5 s 注视距离, L_2 为最远端注视距离, 视野水平角为 A 、 O 、 B 为视野范围内任一断面上点, 见图 3。驾驶人视点高度为 h , 视野仰角为 B , 1.5 s 注视点处视野高度为 H_1 , 最远影响点处视野高度为 H_2 , 见图 4。由于空间视野构成的是一个

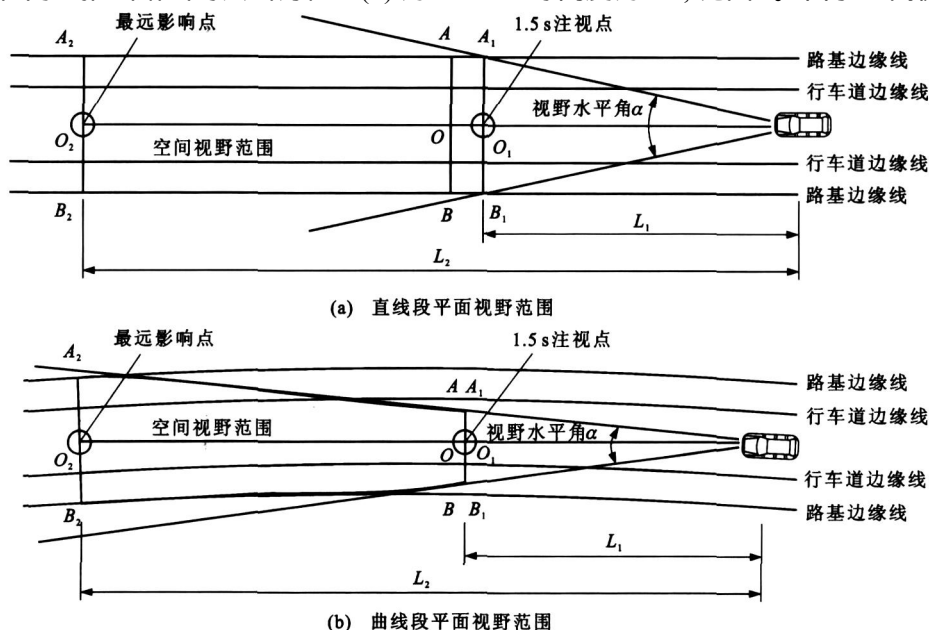


图 3 空间视野平面

Fig. 3 Planes of spatial vision

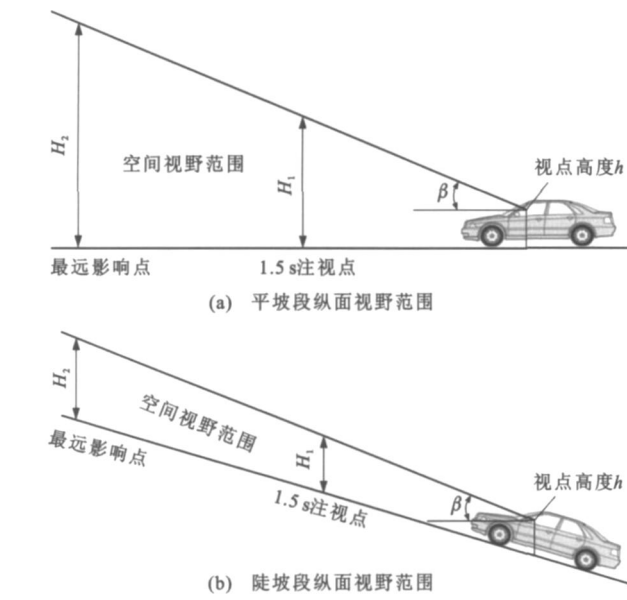


图 4 空间视野纵面

Fig. 4 Vertical sections of spatial vision

不规则棱台,采用分割法将整体棱台分割为微段棱台,通过在封闭的边界范围内积分的方法求得空间视野的体积。

棱台的体积 V_c 计算公式为

$$V_c = H (S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 S_2}) / 3 \quad (7)$$

式中: H 为棱台体的长度; S_1 为棱台底面面积; S_2 为棱台顶面面积。

- V_c 计算步骤如下。
- 第一步, 计算 $A_1 O_1$ 的长度 $l_1 = L_1 \tan(A/2)$, 如果 $l_1 > W/2$, 则 $l_1 = W/2$, 否则 l_1 不变; 用同样的方法可以得出 $B_1 O_1$ 的长度, 从而得到 $A_1 B_1$ 的长度 l 。
- 第二步, 通过式(6)计算驾驶人所在桩号 k 处地面高程 z 、点 A_1 的地面高程 z_{A_1} 、点 B_1 的地面高程 z_{B_1} 。
- 第三步, 根据仰角 B 和视点高度 h , 可以求出点 O_1 的视野高度为
- $$H_1 = z + h + L_1 \tan(B)$$
- 比较 z_{A_1} 、 z_{B_1} 与 H_1 的大小, 如果 z_{A_1} 和 z_{B_1} 均比 H_1 大, 则证明路面遮挡视线, 继续往下计算, 否则中止计算, 该处体积做 0 处理。
- 第四步, 计算 S_1 为
- $$S_1 = (z_{A_1} + z_{B_1} - 2H_1) l / 2 \quad (8)$$
- 第五步, 取微段 D 按照计算 S_1 的方法, 计算桩号为 $k + L_1 + D$ 处 S_2 的面积。
- 第六步, 根据式(7)计算微段棱台体积, 其中 H 等于 D 。
- 第七步, 按照式(9)计算 k 桩号处的视野范围的

体积 V_d 为

$$V_d = Q \int_{L_1}^{L_2} H (S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 S_2}) / 3 dL \quad (9)$$

3 模型的验证

为了验证空间视野感知与现实中驾驶人的操作行为是否一致, 本文对模型进行了试验验证。在验证中, 主要的判断标准是: 在视野范围明显变化的路段速度无变化, 说明模型效果不明显; 视野范围明显变大的路段速度显著降低, 或者视野范围明显变小的路段速度显著增加, 说明模型错误。

综合考虑设计车速、平面线形、纵面线形、横断面线形等因素, 试验选择双车道和四车道两类道路路段, 试验路段组成主要包括: 直线+ 缓和曲线+ 圆曲线; S 型曲线; 凸型竖曲线+ 平曲线; 凹型竖曲线+ 平曲线; 凸型竖曲线+ 直线; 凹型竖曲线+ 直线。每种组合选择 4~ 5 个点作为速度采样点, 试验路段线形组合数见表 3。

表 3 试验路段组合数

Tab. 3 Combination numbers of experimental sections

纵断面线形 (坡度或类型)	平曲线半径/ m						总数
	直线	> 800	600~ 800	400~ 600	300~ 400	< 300	
0~ 5%	2	2	3	2	1	1	11
- 5%~ 0	3	2	1	1	2	1	10
凸曲线	3	2	3	1	2	1	12
凹曲线	2	2	2	2	1	1	10
总数	10	8	9	6	6	4	43

试验首先将路线平纵横资料导入道路三维实景仿真软件 UC2win/ Road 中建立道路仿真模型, 通过对模型脚本编辑构成实景仿真驾驶项目。挑选 5 名驾龄均超过 5 年, 具有良好驾驶习惯的受试者。为确保受试者能够较为真实地按照正常的驾驶习惯进行试验, 试验前应向受试者说明试验的原理和步骤, 但不告知空间视野感知模型的设计思路及其关键参数, 以避免试验方法受到倾向性的诱导。

要求每位受试者在仿真试验路段上模拟驾驶操作。受试者随着道路线形的变化和空间视野的变化控制车辆速度, 从道路起点至终点进行连续驾驶, 完全进入自由驾驶环境。每人连续测试 4 次, 计算机自动记录测试桩号处的实际运行速度值。仿真试验共完成了 722 段组合测试, 共采集 3 585 个速度仿真结果, 试验结果见表 4。

通过试验验证可以看出, 由空间视野感知模型预测的结果有 70% 以上与实测结果完全吻合, 说明

表 4 试验结果
Tab. 4 Test results

试验参数	试验组合数	完全吻合段数	出现不明显效果段数	出现错误效果段数	速度采集数据总数	完全吻合速度数	出现不明显效果速度数	出现错误效果速度数
数量	722	554	122	46	3 585	2 544	683	358
百分比/%	100. 00	76. 73	16. 90	6. 37	100. 00	70. 96	19. 06	9. 98

本文所建立的空间视野感知模型对驾驶人操作行为的仿真效果良好,模型能够较为真实地反映驾驶人的视野感知能力,并证明了驾驶人的操作行为与其视野感知范围存在明显的相关性。

4 结 语

本文建立了驾驶人空间视野感知模型,构建了驾驶操作中驾驶人的空间视野范围,并结合道路纵横设计指标定量计算空间视野范围的体积大小,为交通仿真中的驾驶人模型提供了解决空间视野感知的方法,应用效果较好。该模型一方面较为真实地反映了驾驶人的视野关注范围,通过计算空间视野范围的体积大小与驾驶速度建立定量关系,另一方面也能作为评价道路线形组合质量的手段。此外,通过改变最远注视点的位置,运用该模型还可以评价在大雾、大雨或夜间等特殊环境条件下驾驶人的空间视野感知情况。

参 考 文 献 :
References :

[1] HIDAS P. Modelling lane changing and merging in microscopic traffic simulation [J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2002, 10(5/6): 3512371.

[2] DUMBUYA A D, WOOD R L. Visual perception modeling for intelligent virtual driver agents in synthetic driving simulation[J]. Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence, 2003, 15(1): 73102.

[3] 杨建国,王兆安,李庆丰. 混交交通微观仿真初探[J]. 系统仿真学报,2004, 18(6): 11121117.

YANG Jian2guo, WANG Zhao2an, LI Qing2feng. A preliminary study on mixed and disordered traffic microsimulation[J]. Journal of System Simulation, 2004, 18(6): 111521117. (in Chinese)

[4] LIM C, SAYED T, NAVIN F. A driver visual attention model. part1. conceptual framework[J]. Canadian Journal of Civil Engineering, 2004, 31(3): 4632472.

[5] 潘兵宏,赵一飞,梁孝忠. 动视觉原理在公路线形设计中的应用[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2004, 24(6): 2024.

PAN Bing2hong, ZHAO Y2fei, LIANG Xiao2zhong. Application

of dynamic vision theory in highway alignment design [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24(6): 2024. (in Chinese)

[6] 袁伟,付锐,郭应时,等. 汽车驾驶人感知2决策2校正行为模式[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2007, 27(3): 80283.

YUAN Wei, FU Rui, GUO Ying2shi, et al. Experiment on perception2decision2adjustment operation mode of automobile drivers[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2007, 27(3): 80283. (in Chinese)

[7] 张殿业. 驾驶员动态视野与行车安全可靠度[J]. 西南交通大学学报, 2000, 35(3): 3192322.

ZHANG Dian2ye. Dynamic visual field of driver with safety driving[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2000, 35(3): 3192322. (in Chinese)

[8] 杜志刚,潘晓东,杨轲,等. 高速公路隧道进出口视觉震荡与行车安全研究[J]. 中国公路学报, 2007, 20(5): 1012105.

DU Zh2gang, PAN Xiao2dong, YANG Zhen, et al. Research on visual turbulence and driving safety of freeway tunnel entrance and exit[J]. China Journal of Highway and Transport, 2007, 20(5): 102105. (in Chinese)

[9] 马艳丽,王要武. 驾驶员注意分配特性及其对行车安全的影响[J]. 交通运输工程学报, 2009, 9(4): 1142117.

MA Yan2li, WANG Yao2wu. Attention assignment characteristic of driver and its influences on driving safety [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2009, 9(4): 1142117. (in Chinese)

[10] 张磊,王建强,杨馥瑞,等. 驾驶员行为模式的因子分析和模糊聚类[J]. 交通运输工程学报, 2009, 9(5): 1212126.

ZHANG Lei, WANG Jian2qiang, YANG Fu2rui, et al. Factor analysis and fuzzy clustering of driver behavior pattern [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2009, 9(5): 1212126. (in Chinese)

[11] GIBREEL G M, EASA S M, EL DIMEERY I A. Prediction of operating speed on three2dimensional highway alignments [J]. Journal of Transportation Engineering, 2001, 127(1): 2230.

[12] 张驰,杨少伟,赵一飞,等. 公路三维视距的检验方法[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2009, 29(3): 54257.

ZHANG Chi, YANG Shao2wei, ZHAO Y2fei, et al. Methods of three2dimensional sight distance inspection for highway [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2009, 29(3): 54257. (in Chinese)