虚拟驾驶员视觉感知模型研究

任晓明，薛　青，郑长伟
（装甲兵工程学院 装备指挥与管理系，北京 100072）

摘　要： 视觉是驾驶员获得驾驶信息的主要通道，虚拟驾驶员的视觉感知模型是驾驶行为建模与仿真的重要内容，直接影响驾驶行为仿真的逼真度。介绍了四种视觉感知建模方法，根据视觉感知系统的反馈性和选择性，建立了视觉感知模型。在模型中，将视觉感知分为感觉和知觉两个过程，并引入了注意力、记忆力、驾驶疲劳和驾驶经验等因素，对每个因素进行分析。通过对虚拟驾驶员视觉感知模型的仿真实验，验证了该模型的可靠性和有效性，为驾驶行为研究提供了基础。

关键词： 视觉感知；行为建模；注意力；记忆力；驾驶疲劳
中图分类号： TP391.9　　**文献标志码：** A　　**文章编号：** 1001-3695(2012)07-2494-06
doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.07.025

Research of virtual driver's visual perception model

REN Xiao-ming, XUE Qing, ZHENG Chang-wei
(*Dept. of Equipment Commanding & Management*, *Academy of Armored Force Engineering*, *Beijing* 100072, *China*)

Abstract: Vision is the main channel of driving information for driver, the visual perception model of virtual driver is the imperative content of driving behavior modeling and simulation which affects the fidelity of driving behavior simulation. This paper introduced four methods of visual perception modeling. According to the feedback and selectiveness of vision, it established the visual perception model. It divided the visual perception into sensing and feeling and incorporated attention, memory, driving fatigue and driving experience into the model, further analyzed their effects on visual perception. By simulating the virtual driver's visual perception model, it validates the model which lay the foundation for driving behavior research.

Key words: visual perception; behavior modeling; attention; memory; driving fatigue

随着我国汽车保有量的不断增加，交通事故频发，交通安全形势非常严峻。研究结果表明约有 90% 的交通事故与驾驶员有关[1]，因此对驾驶员的驾驶行为研究成为新的热点。建模与仿真技术是人类研究自然界和社会活动的主要科学工程方法之一，通过对驾驶行为的建模与仿真，能够深入地理解、分析和预测驾驶员的驾驶行为，有助于制定更为合理的交通法规、设计更加高效的智能导航系统，从而达到减少交通事故、提高交通运输效率的目的。

在驾驶行为建模与仿真过程中，一个重要而基本的内容就是对驾驶员的感知行为进行研究。其原因在于驾驶员的感知行为贯穿整个驾驶过程，是驾驶员进行决策和控制的基础。据美国一项调查结果显示，车辆每行驶 1 km 约出现 300 多种信息，驾驶员需要作出 75 次决策[2]。人类从外部世界获得的信息约有 80% ~90% 来自于视觉系统[3]，因此大部分虚拟感知行为建模研究都是针对视觉系统进行的。

1　视觉感知行为研究现状

目前的视觉感知建模方法主要包括以下四种[4]：

a)基于图像渲染的视觉感知。根据人类视觉的感知原理，首先对虚拟环境进行图像渲染、识别，从中提取信息如颜色、深度值等[5]。该方法能够很容易地获取完全真实的视觉数据。这种图像直接包含了物体间的遮挡信息和诸多的视觉限制，但是由于图像识别技术不够成熟，精度和速度无法满足感知的实时性要求，因此该方法很难应用于虚拟驾驶员的视觉系统。

b)基于场景数据库的视觉感知。将每个对象在世界模型中进行注册，通过直接从世界模型中查询获取其相关信息。Reynolds[6]在鸟群行为模拟中就使用了这种方法。该方法可以充分地利用环境数据信息来快速得到对象信息，从而提高感知系统的运行效率。其缺点在于没有很好地模拟感知系统的有限性，从而影响了感知系统仿真的真实性。

c)几何视觉模型。对基于场景数据库的感知模型进行改进，采用几何算法设计多种信息过滤器对取得的场景信息进行过滤，以实现对人类视觉局限性的模拟。Bordeaux[7]提出了基于几何视觉模型的一种感知流水线结构。这种方法的研究重点是采用合理的几何公式准确地提取环境信息，但由于采用包围盒代替物体进行几何计算，简化了物体的形状，因此该方法的精度比合成视觉模型要低，而且没有考虑感知信息的取舍问题。

d)综合视觉模型。将基于图像、数据库和几何计算的方式结合起来，试图在计算精度、效率与真实感之间取得平衡。Tu[8]在人工鱼的视觉模型中运用了该方法。

已有的视觉感知模型研究大都集中于如何区分可感知与

收稿日期： 2011-12-09；**修回日期：** 2012-01-31

作者简介： 任晓明(1981-)，男，山东乳山人，博士研究生，主要研究方向为装备作战与保障仿真(renxiaoming1997@163.com)；薛青(1961-)，男，教授，博士，主要研究方向为装备作战与保障仿真、虚拟现实；郑长伟(1975-)，男，讲师，硕士，主要研究方向为装备作战与保障仿真.

不可感知对象,对人类视觉感知系统的有限性、反馈性和选择性特点没有完全考虑。视觉系统可以感知大量的信息,但真正被感知主体所选择和处理的信息只是极少的有用部分,这大大提高了视觉信息的处理效率。人类视觉感知系统的反馈性和选择性是视觉感知行为研究必须重视的内容。

2　虚拟驾驶员视觉感知模型

在 ACT-R 理论中,ACT-R 视觉系统将视觉分成两个模块,每个模块都有一个缓冲器,视觉位置模块与缓冲器就是背侧的“哪里”系统,视觉物体模块与缓冲器就是腹侧的“什么”系统:一个产生式规则在需要“哪里”系统时,具体说明许多限制条件,然后“哪里”系统发送一个组块表征一个位置以满足这些限制条件。通过“哪里”系统,ACT-R 知道了全部物体在环境中的位置,知道了有些基本特征是什么。“什么”系统提供的组块表征一个视觉位置,让该系统将视觉注意集中于这个位置,加工在此的物体,生成表征这个物体的陈述性记忆模块。

此外,在人类的视觉感知过程中,观察者的生理、心理和思维认知特性都会对视觉感知产生影响。因此,在 ACT-R 理论和模拟视觉感知系统有限性的基础上,提出了一种视觉感知模型,将驾驶员的疲劳程度、驾驶经验、注意力分配与集中、记忆与遗忘、视觉感知信息检索等引入驾驶员的视觉感知模型中,其视觉感知模型结构如图 1 所示。

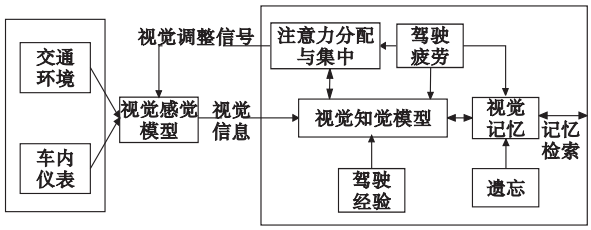

图1　视觉感知模型

2.1　视觉感觉模型

感觉是人脑对事物的个别属性的认知。感觉为主体提供了内外环境的信息,也是人的全部心理现象的基础。眼睛是人类的重要感觉器官,也是人类获取信息最重要的渠道。人的眼睛注视目标时,由目标反射来的信息经过眼中晶状体的屈折,投射于眼睛的黄斑凹,结成物像,再由视神经传至大脑的枕叶视中枢,激起心理反应,形成视觉。因此视觉就是外界光线经过刺激视觉器官在大脑中所引起的生理反应。视觉在辨别外界物体的明暗、颜色、形状等物理特性,以及区分物体的大小、远近等空间属性上都起着重要的作用。

建立视觉感觉模型分为两个步骤:a)确定视觉感知范围内的实体;b)实体可见性计算。

2.1.1　确定视觉感知范围内的实体

驾驶员视觉感知范围的大小与驾驶员的视觉特性密切相关。现将重要的驾驶员视觉特性[9]简要介绍如下:

a)视力。视力就是眼睛分辨两物体之间的最小距离的能力。根据眼睛所处的状态和时间不同,又分为静视力、动视力和夜间视力。随着车速的提高,驾驶员的动视力明显下降。

b)视野。在静止状态下,头部不动两眼注视前方时,眼睛两侧可以看到的范围成为静视野。静视野和动视野可以用角度来衡量。驾驶员的水平视野范围如图 2 所示。驾驶员的垂直视野范围如图 3 所示。

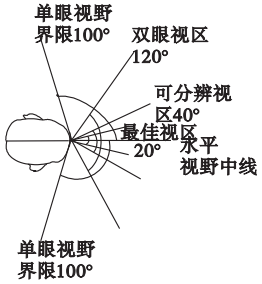

图2　驾驶员的水平视野范围

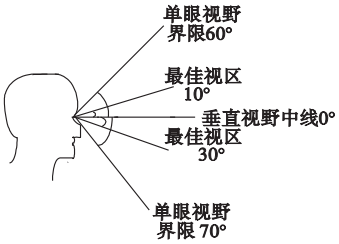

图3　驾驶员的垂直视野范围

c)色视觉。它是指驾驶员对不同颜色的辨认和感觉。在可见光波长范围内,不同波长的感觉阈值不同。红色刺激性强,使人产生兴奋和警觉;黄光亮度最高,反射光强度最大,透雾能力强,容易引起人的注意;绿色比较柔和,给人以平静和安全感。

决定驾驶员视觉感知范围的主要因素是驾驶员的视力和视野。视力决定了驾驶员视觉感知范围的半径,视野决定了驾驶员视觉感知范围的幅度。人类的视野范围大约为 200°,而视线范围为 120°,驾驶员需要通过转动头部和眼球来遍历整个视野范围。由于驾驶员的感知范围不是一个简单的球体,而是以 D 为半径、以当前方向垂直的截面为底面的半球体。因此可以将判断实体对象 o_i 是否在驾驶员 s 的视觉感知范围内的过程转换为:将驾驶员 s 与感知对象 o_i 的中心连线向驾驶员 s 横切面做投影,然后判断投影直线与方向向量的夹角 α_i,如果 $\alpha_i < 90°$,则此感知对象 o_i 在视觉感知范围之内;否则不在其视觉感知范围内。

推导 α_i 的计算过程。令 $\boldsymbol{U}\{x_u, y_u, z_u\}$ 为驾驶员 s 垂直于其横断面的前向轴线的方向向量,$\boldsymbol{W}\{x_u, y_u, z_u\}$ 为驾驶员 s 垂直于其横切面的顶向轴线的方向向量,$\boldsymbol{V}\{x_u, y_u, z_u\}$ 为驾驶员 s 垂直于其纵切面的侧向轴线的方向向量;s 为感知主体,o_i 感知对象。图 4 是驾驶员的各个轴线示意图。

经过 s 的水平面方程为 $y - y_s = 0$,$\boldsymbol{U}\{x_u, y_u, z_u\}$ 在该平面中的投影向量为 $\boldsymbol{U}'\{x_u, 0, z_u\}$,$\overrightarrow{so_i}$ 在该平面中的投影向量为 $\overrightarrow{so_i}'\{x_{oi} - x_s, 0, z_{oi} - z_s\}$。

两向量的夹角余弦值计算如式(1)所示:

$$\cos\alpha_i = \frac{|x_u(x_{oi} - x_s) + z_u(z_{oi} - z_s)|}{\sqrt{x_u^2 + z_u^2} \times \sqrt{(x_{oi} - x_s)^2 + (z_{oi} - z_s)^2}} \tag{1}$$

if $\alpha_i \leqslant \pi/2$ then 感知对象 o_i 在驾驶员视觉感知范围之内

else 感知对象 o_i 不在驾驶员视觉感知范围之内

通过对 α_i 的计算就可以确定在驾驶员的视觉感知范围内存在的具体实体,这些实体需要通过可见性分析决定能否被驾驶员感知。

2.1.2　实体可见性计算

以虚拟驾驶员的前方最大视野为例,视觉感知范围内如果存在多个实体,则需要判断实体之间的遮挡关系,计算视觉感知范围内实体的可见性。用经典的包围盒方法进行判断。检测步骤如下:

a)根据实体的空间位置关系,确定可能存在遮挡的实体。

b)分别求解虚拟驾驶员到前面实体包围盒顶点的射线。

c)计算射线与其他实体包围盒矩形是否有交点,如果没有交点,则说明实体之间是完全的遮挡关系;如果有交点,则实

体之间是部分遮挡。

2.2 注意力分配与集中

注意力是人类智能的开关。生物学家和心理学家提出的人类视觉注意力选择分为两个部分:由环境信息产生的自下而上的注意力和由主观意识指导的自上而下的注意力。

视觉注意过程被分为两个相互联系的阶段,即预注意和集中注意阶段。预注意加工是一个自下而上的信息处理过程,对视觉刺激的颜色、光强、局部方位和运动等简单特征进行快速、自动的并行加工,各种特征在大脑内被分别编码,产生相应的特征地图,构成预注意的表象。要获得物体知觉就需要依靠集中注意,通过聚光灯对特征地图进行扫描,把属于搜索目标的各个特征有机地整合在一起,实现注意力的聚焦功能。

注意力分配与集中模块实现了注意力自下而上和自上而下映射的两个过程。在驾驶员视觉感知时,如果观察目标的颜色、运动特征等视觉感知结果持续被决策模块检索,则该观察目标会被存放在记忆模块的长期记忆中,成为当前的注意力焦点,实现注意力自下而上的映射。在眼睛观察目标时,注意力将引导眼睛对当前的注意力焦点目标进行重点的观察和信息处理,从而体现视觉感知结果对视觉感知过程的影响。因此,在人类视觉感知模型中,注意力具有两个作用:a)引导视觉知觉模型对重点视觉信息进行判断和综合;b)在视觉知觉模型的驱动下,引导眼睛搜索和观察重点的信息。

当驾驶员感知环境时,由于环境复杂、可感知对象多,驾驶员不可能对所有观察到的信息进行处理。相反,驾驶员在注意力的引导下,有选择地只对自己感兴趣的对象进行重点的感知。这种注意力的产生可以是有意识的,也可以是潜意识的。根据驾驶行为的特点,驾驶员的视觉感知模型中,注意力的焦点包括与同向/对向行驶车辆的车间距、交通信号、道路曲率、路面情况四个方面。同时,如果出现紧急情况,则驾驶员的注意力会在视觉知觉模型的引导下转移至当前紧急视觉信息的观察和处理。

2.3 视觉知觉模型

人通过感官得到了外部世界的信息,这些信息经过头脑的加工(理解与解释),产生了对事物的整体认识,就是知觉。知觉是以感觉作为基础。视觉知觉模型根据当前注意力的焦点,从眼睛观察到的大量信息中,选择重点关注的信息,并进行信息的综合与判断,形成基本的感知信念,存储在记忆模块中。例如驾驶员在感知同向行驶的前方车辆与本车的车间距时,需要确定前车车尾和本车车头在此时刻的位置以及两车之间的路面长度。驾驶员从眼睛观察到的大量信息中选取与这三项内容相关的信息,进行集中注意的观察和处理,进而判断出感知的距离。

视觉知觉模型的另一个作用就是对驾驶员注意力的引导。当在预注意阶段观察到的某些视觉信息需要集中注意力观察时,视觉知觉模型将通过更新当前的注意力焦点,并引导注意力进行集中观察和感知。例如在驾驶过程中,突然有行人横穿行车道路,则视觉知觉模型将引导驾驶员将注意力集中到当前的行人对象上。

在虚拟驾驶员的视觉感知过程中,需要感知的变量有距离、速度、颜色、形状、大小、高度(深度)等。驾驶员、环境和被感知实体的相关因素对被感知实体变量的结果产生影响,如被感知实体的几何形状、驾驶员的视力、注意力集中程度、运动速度、被感知实体与环境的对比度等。现选取几个比较重要的因素对被感知实体变量的结果进行计算。

2.3.1 几何形状因子 δ_1

几何因素体现了感知实体的体积和距离对感知信念的影响。如图 5 所示,左边为人的眼球,右边为感知实体;d 为人眼视网膜与瞳孔的距离,不同的人眼差别较小,可以近似为定值;D 为感知实体与人眼之间的距离,这可能是不断变化的;S 是感知对象投影到视线垂直面上的有效面积;s_1 为物体在视网膜上的成像面积。由人眼的视网膜成像原理可知,经过瞳孔聚焦映射到人眼视网膜上的物体越大,在人眼体现出的就越清楚,也最能引起驾驶员的注意。因此 s_1 体现了感知实体在人眼中的清晰度和注意程度。

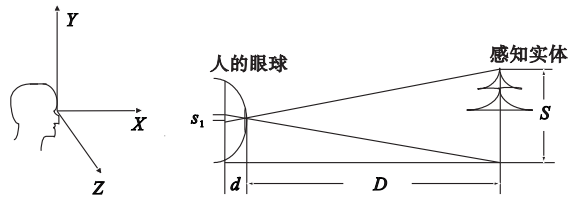

图4 驾驶员的坐标轴示意图 图5 视觉成像投影原理

由图 2 三角形的相似性可得

$$\frac{s_1}{S}=\frac{d}{D}$$

由此可得

$$s_1=\frac{Sd}{D} \tag{2}$$

其中:$0\leqslant s_1\leqslant 1$;$d$ 为定值;D 为实际距离;S 为感知实体的有效面积。

由式(2)得

$$\delta_1=\frac{s_1}{s_0}=\frac{Sd}{s_0D} \qquad 0\leqslant\delta_1\leqslant 1 \tag{3}$$

其中:s_0 为人眼视网膜的面积,s_1 为感知实体的投影面积。

在人眼观察感知实体时,感知实体的清晰度与实体在人眼中的暴露体积和人眼的距离有关。因此,几何形状因子代表了实体本身的形状、距离等相关几何数据的集合。其代表的值反映了上述因素对实体感知结果的综合影响。δ_1 越大,表明该实体的感知越准确;δ_1 越小,则准确性越差。

2.3.2 分辨力因子 δ_2

分辨力因子的值主要通过实际环境情况来确认。通过在给定环境下一名视力正常的人测试标准 E 字视力表来给分辨力划分等级。按照 E 字视力表的行数将分辨力因子划分为 12 个等级,从上到下依次为 1 到 12 级。测试人若能看见最下行的 E 字,表明分辨能力很好,即为第 12 等级,此时 $\delta_2=1$;若所有的行数都看不见,则表明分辨能力很差,此时 $\delta_2=0$。若能看见中间的某一行,其行数即是其等级,表明分辨能力为中间值,此时 v 值按式(4)计算:

$$\delta_2=\frac{v_{等}}{12} \quad 0\leqslant\delta_2\leqslant 1 \tag{4}$$

其中:$v_{等}$表示其分辨能力等级。

2.3.3 注意力因子 δ_3

注意力在知觉过程中起到了重要作用。在注意力的引导下,驾驶员对位于注意力焦点的感知实体进行全面的理解和综

合,对注意力焦点以外的实体则不进行分析解释。例如在行驶过程中对于道路中的障碍物、曲率变化等都需要重点感知,而道路两旁的房屋、植被则只需辨认层次,不需要具体的解释分析。因此,注意力对被感知实体的感知信念有着关键的影响。对于那些注意力聚焦的实体,其感知信念较准确,注意力因子 δ_3 的值只有 0 和 1。0 表示该实体不需要进行解释分析,不会产生感知信念;1 表示当前感知实体是注意力的焦点,其感知信念也是最大程度地使用了驾驶员的感知能力。注意力因子 δ_3 的值按式(5)计算:

$$\delta_3 = \begin{cases} 0 & e \notin \text{foa} \\ 1 & e \subseteq \text{foa} \end{cases} \tag{5}$$

其中:e 表示被感知实体的位置,foa 表示当前注意力焦点区域。

2.3.4　运动速度因子 δ_4

感知实体的速度对视觉感知的影响比较复杂。根据统计实验表明,当一个对象达到一个最佳速度 v_0 时,其最能引起观察者的注意,观察者会对其观察得更仔细和清楚。机动速度因子与感知实体的速度为正态分布,如图 6 所示。

从图 6 可以看出,y 轴值为 δ_4,x 轴值为 v,v_0 表示观察最佳速度,v_0 对应的机动速度因子 $\delta_4 = 1$。当超过最佳速度值 v_0 时,对象的速度 v 越大,其可感知性越差,达到一定程度就基本上观察不到了,即 $\delta_4 = 0$。δ_4 与速度 v 的关系为

$$\delta_4 = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\frac{(v - v_0)^2}{2}} \tag{6}$$

必须说明的是,此时感知实体的速度 v 值并不是物体实际的机动速度,而是被感知实体与观察者相对速度在虚拟驾驶员视线垂直面的投影。感知实体沿虚拟驾驶员视线方向的运动对可见性的影响只是体现在距离的远近和体积的大小,即有效速度为

$$v = v_{实际} \cos \theta \tag{7}$$

其中:θ 表示被感知实体实际运行方向与视线垂直面的夹角。

2.3.5　对比度因子 δ_5

对比度也是影响驾驶员视觉感知的重要因素。在相同条件下,感知对象与所处环境的对比度决定了物体被注意和发现的程度。视觉观察时,对比度主要体现在颜色的差异性上。采用 24 相色环图来区分感知对象与周围环境的对比等级。在划分等级时,按照色环图上最大差异等级,相对的颜色其差异性最大,越相近的颜色其差异性最小。按照此设想,将对比度分为 0 ~ 12 等级。第 12 等级表示对比度最大,此时 $d = 1$,即此物体由于颜色的大差异性,在环境中特别明显,最容易被感知到;第 0 等级表示对比度最小,此时物体由于颜色与环境一样,根本不可能被观察到,此时 $d = 0$。对比度的等级 c 按色环图中的编号计算如下:

$$c = \begin{cases} |Vm - Vn| & |Vm - Vn| \leqslant 12 \\ 24 - |Vm - Vn| & |Vm - Vn| > 12 \end{cases}$$

对比度 δ_5 值的计算式为

$$\delta_5 = \begin{cases} 0 & c = 0 \\ c/12 & 0 < c < 12 \\ 1 & c = 12 \end{cases} \tag{8}$$

2.3.6　感知信念的计算

由式(3) ~ (6)和(8)计算得出五个可见性因子后,影响感知信念因子的影响系数 δ 可按式(9)计算得出

$$\delta = \prod_{i=1}^{5} \delta_i \tag{9}$$

其中:δ 表示该感知实体在环境中能被驾驶员准确感知到的概率。对于静态实体,如在城市道路环境中对于交通信号灯感知,计算得出 $\delta = 0.8$,其含义表明当驾驶员观察交通环境时,只有 80% 的概率感知到交通信号灯的存在。对于数量型的感知变量,通过查询世界模型库,取得真实的被感知实体的数据,然后与影响系数 δ 相乘得出。

2.4　驾驶疲劳

驾驶疲劳是指驾驶员在驾驶过程中,由于主客观原因产生的心理、生理疲劳致使驾驶机能减弱的现象[10]。

根据已有的统计数据得出,驾驶疲劳感可按身体症状、精神症状和神经感觉分成五个阶段:0 ~ 2 h 为适应新驾驶工作的努力期;2 ~ 4 h 是驾驶的顺利期;4 ~ 10 h 为出现疲劳期;10 h 以后为疲劳的加重期;14 h 以后为过劳期。在此基础上,将驾驶疲劳对驾驶员驾驶行为效率的影响系数量化为如图 7 所示的线性函数。

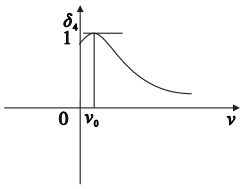

图6　机动速度因子与速度的函数关系

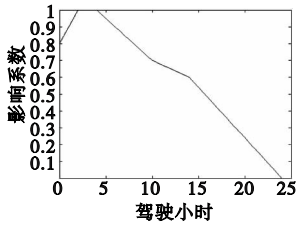

图7　驾驶疲劳影响系数

2.5　驾驶经验

驾驶经验是驾驶员驾驶过程中经历的累积,经验丰富的驾驶员在判断距离、车速,处理紧急情况和控制车辆方面具有明显的优势。驾驶经验用驾驶员的行驶公里数表示。驾驶经验对视觉信息综合、判断的影响系数如图 8 所示。

2.6　记忆模块

记忆模块分为短期记忆和长期记忆两类。根据 ACT-R 理论,短期记忆中存储着陈述性知识。在驾驶过程中,驾驶员的部分短期记忆用来临时存储视觉知觉模型的感知结果并被决策模块检索,为驾驶员实时决策提供了依据。短期记忆在很短时间内就会衰退(一般为 200 ms)。长期记忆可以在很长的时间内储存信息,而且长期记忆衰退很慢。长期记忆中存储着过程性知识,如驾驶员从以往驾驶经历中获得的应对各种驾驶情况的处理规则和具体操作步骤等。

长期记忆的一个作用是存储着当前的注意力焦点信息。对于驾驶员而言包含与同向/对向行驶车辆的车间距、交通信号、道路曲率、路面情况四个方面的信息。同时,短期记忆通过不断重复以及有意义的关联过程可转换为长期记忆。在驾驶过程中,对于短期记忆中某段时间内经常被检索的观察目标信息会转换为长期记忆中的信息,即作为添加的当前的注意力焦点。记忆模块会将此类信息反馈给视觉感知模块,由视觉知觉模型引导注意力集中观察和感知此类信息,实现注意力的自下而上和自上而下两个过程。

视觉信息感知结果的存储形式如下:

MessageNum = 〈ID, object, time, attribute, visibility, grade, duration, count〉

其中:ID 表示此结果的编号;object 表示该对象的名称;time 表

示此结果生成的时间;attribute 表示该对象的若干属性;visibility 则表示该对象的可见性;grade 表示感知结果可信度;duration 表示该感知结果的已持续时间;count 表示该结果被检索的次数。

信息检索的 duration 函数为

$$d_i = \mathrm{In}(\sum_{k=1}^{n} t_k^{-d})$$

其中:d_i 表示视觉感知信息还能够存在的时间;t_k 表示视觉感知信息从上次被检索至本次被检索的时间间隔;d 为衰减系数,使信息随着时间衰减。

遗忘模块模拟了人类短期记忆的清除功能,即对于已过时的视觉感知信息和过程性知识进行删除。删除的依据主要是视觉感知信息的存在时间和被检索次数。对于短期记忆中存储的信息,生存时间超过 200 ms 且没有被检索的信息,遗忘模块将其从短期记忆中删除;对于长期记忆中的注意力焦点信息则根据注意力焦点的转移进行删除。

3 虚拟驾驶员视觉感知模型验证

虚拟驾驶员视觉感知模型的验证主要从两个方面进行:a)虚拟驾驶员的视觉感知模型是否能够从众多的感知对象中选取出与驾驶任务密切相关的感知对象,即实现虚拟驾驶员的视觉注意力聚焦功能;b)虚拟驾驶员的视觉感知模型对感知对象所产生的感知信念与真实驾驶员感知结果的接近程度。因此,将本文的驾驶员视觉感知模型在某型车辆驾驶仿真系统中应用并进行仿真实验。该驾驶仿真系统由车辆仿真程序、虚拟道路环境和驾驶行为模型三个子系统组成。

驾驶仿真系统的硬件环境:仿真实验使用一台 PC 机。PC 机运行车辆仿真程序、虚拟驾驶场景程序和驾驶行为仿真程序。

PC 机的配置:CPU 为 Intel 酷睿 2 双核 E8400(3.00 GHz);内存为 DDR II 800 2 GB;硬盘为 200 GB,SATA 硬盘;显卡为 GeForce 9800GTX,512 MB 缓存;仿真实验的运行环境为 Windows XP SP3

仿真实验的软件环境:开发环境为 Visual C++ 6.0,OpenGVS 4.5,DI-GUY 4.3,技术工具为 Creator 3.1,地图矢量化工具。仿真系统运行的效果如图 9 所示。

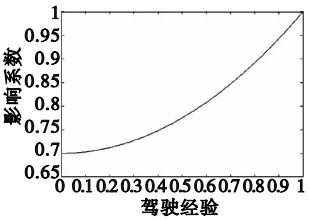

图8 驾驶经验影响系数

图9 驾驶仿真视景

3.1 虚拟驾驶员注意力选择实验

在虚拟驾驶视景中采集了一段视频作为测试集,分辨率为 1280×768,帧率是 25 fps。虚拟驾驶员事先学习了三个感兴趣的实体作为长期记忆中的注意力焦点,它们是跟车过程中的前导车辆、道路上的标志物(如限制杆)和障碍物等。同时,当驾驶场景中没有虚拟驾驶员所感兴趣的物体时,虚拟驾驶员会将当前行驶道路的中心作为当前的注意力焦点。

图 10 表示在测试视频中,记忆存储的注意力焦点。ID1、2 和 3 分别表示前导车辆、障碍物和道路环境。

图 11 显示了 75 和 428 帧的虚拟驾驶员当前的注意力焦点。其中,用圆圈标示的实体是长期记忆存储的当前的注意力焦点。

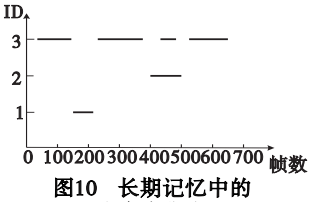

图10 长期记忆中的注意力焦点

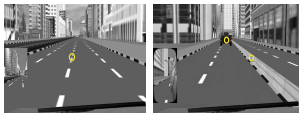

图11 虚拟驾驶员注意力焦点选择

从图 10、11 可看出,虚拟驾驶员的注意力分配和集中与真实驾驶员的注意过程较为接近,能够满足驾驶任务的需要。

3.2 虚拟驾驶员视觉感知实验

在驾驶过程中,由于真实的驾驶员之间存在视觉、驾驶经验等个体差异,不同的驾驶员在相同的驾驶场景中会得出不同的视觉感知结果;甚至同一个驾驶员面对同样场景的再现,都可能给出不同的结果,要求虚拟驾驶员视觉感知模型的输出结果与真实驾驶员的视觉感知结果完全一致是不可能的。因此,虚拟驾驶员视觉感知模型根据不同的参数设置,只能力求与真实驾驶员视觉感知结果接近或符合。

在仿真实验开始前,选取六名驾驶员使用驾驶仿真系统,要求驾驶员在 PC 机前遍历事先确定的驾驶场景,并记录真实驾驶员在该场景中的视觉感知结果。

在仿真实验中,按照真实驾驶员的相关数据,对虚拟驾驶员参数进行配置,然后进行驾驶仿真实验。在程序运行过程中,记录下所有虚拟驾驶员的视觉感知信念。在仿真结束后,从记录数据中查找与真实驾驶员相同场景的视觉感知信念数据进行对比。

在每次仿真实验中,要求每名真实的驾驶员对 16 个驾驶场景进行视觉感知,感知对象包括当前的注意力焦点、车距、前车车速等。其中前车真实车速设定的范围是 10 ~ 70 km/h,实际车间距范围是 20 ~ 180 m。在实验中获得两组视觉感知数据。每组数据是一个 6 行 16 列、包含 96 个数据项的二维数组。

实验中,一名驾驶员对车距的感知结果与虚拟驾驶员的感知信念对比如表 1 所示。

表 1 车距判断(本车车速为 60 km/h) /m

驾驶场景中的实际车距	真实驾驶员感知的车距	虚拟驾驶员感知的车距
30	39	35
91	127	132
152	219	228

所有感知数据的分类统计如表 2 所示。

使用 MATLAB 7.0 对两组视觉感知数据进行一元线性回归分析,真实驾驶员的感知数据作为 x,虚拟驾驶员相对应的感知数据作为 y。其车速感知数据进行回归分析,得到的线性回归方程为

$$\hat{y} = 0.872x + 2.561 \tag{10}$$

对车距感知数据进行回归分析,得到的线性回归方程为

$$\hat{y} = 1.042x - 5.376 \tag{11}$$

从式(10)和(11)可以得出,真实驾驶员和虚拟驾驶员的视觉感知数据具备较大的相似性,两者的接近程度较好。

表 2　感知数据分类统计

分类	驾驶员			
	真实驾驶员		虚拟驾驶员	
	次数	%	次数	%
高估	25	26	31	32.3
相等	13	13.6	10	10.4
低估	58	60.4	55	57.3
合计	96	100	96	100

从以上分析可以看出,文中的虚拟驾驶员视觉感知模型较好地模拟了真实驾驶员的视觉感知过程,感知结果也在误差允许的范围内。

另一方面,将文中的视觉感知模型与文献[11,12]中的驾驶员视觉感知模型进行比较。文献[11]中的视觉感知模型主要关注驾驶员视觉的误检和漏检,其建模目的是确定实际交通活动中驾驶员视觉关注的范围;文献[12]建立了基于车速过滤机制和注意力过滤机制的双眼立体几何视觉模型,并对虚拟自主汽车错车过程进行了验证。与以上两个驾驶员视觉感知模型相比,文中的视觉感知模型从驾驶员的真实感知过程出发,综合考虑了各种影响驾驶员视觉感知的因素,通过注意力和记忆力的引导实现了驾驶员感知过程的聚焦效应。通过仿真实验,该模型的逼真度、实时性和可靠性比文献[11,12]中的模型均有了改进和提高。

4　结束语

本文根据驾驶员视觉感知的特点,提出了基于认知的虚拟驾驶员视觉感知模型,考虑了驾驶员的注意力、驾驶疲劳、驾驶经验、记忆检索等生理心理特点和思维认知特性对视觉感知的影响,将记忆的反馈控制添加到视觉感知中,并进行了验证。下一步的研究工作包括建立虚拟驾驶员的听觉、触觉模型。

参考文献:

[1] 郭孜政. 驾驶行为险态辨识理论与方法[D]. 成都:西南交通大学,2009.

[2] 郭青山,汪元辉. 人机工程设计[M]. 天津:天津大学出版社,1994.

[3] 毛晓波,陈铁军. 仿生型机器视觉研究[J]. 计算机应用研究,2008,25(10):2903-2905,2910.

[4] 孙立博,孙济洲. 基于反馈控制的自主虚拟人感知模型[J]. 软件学报,2010,21(5):1171-1180.

[5] Jr KUFFNER J J, LATOMBE J C. Fast synthetic vision, memory and learning models for virtual humans[C]//Proc of IEEE Computer Animation. Washington DC: IEEE Computer Society,1999:118-127.

[6] REYNOLDS C W. Flocks, herds and schools: a distributed behavioral model[J]. ACM Computer Graphics,1987,21(4):25-34.

[7] BORDEAUX C. An efficient and flexible perception pipeline for autonomous agents[J]. Computer Graphics Forum,1999,18(3):23-30.

[8] TU Xiao-yuan. Artificial fishes-artificial life method for computer animation[M]. Beijing:Tsinghua University Press, 2001.

[9] 李江. 交通工程学[M]. 北京:人民交通出版社,2002.

[10] 杨海燕,蒋新华,聂作先. 驾驶员疲劳检测技术研究综述[J]. 计算机应用研究,2010,27(5):1621-1624.

[11] 杨建国,肖永剑,王兆安. 交通微观仿真中的驾驶员视觉感知模型[J]. 系统仿真学报,2005,17(10):2437-2441.

[12] 娄燕,何汉武. 虚拟自主汽车的动态几何视觉模型研究及实现[J]. 系统仿真学报,2006,18(10):2676-2680.