

## 基于反馈控制的自主虚拟人感知模型\*

孙立博<sup>+</sup>, 孙济洲, 刘艳, 倪慧

(天津大学 计算机科学与技术学院, 天津 300072)

### Perception Model for Autonomous Virtual Humans Based on the Feedback Control

SUN Li-Bo<sup>+</sup>, SUN Ji-Zhou, LIU Yan, NI Hui

(School of Computer Science and Technology, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

+ Corresponding author: E-mail: slb1210@yahoo.com.cn

**Sun LB, Sun JZ, Liu Y, Ni H. Perception model for autonomous virtual humans based on the feedback control. *Journal of Software*, 2010,21(5):1171-1180. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/3415.htm>**

**Abstract:** This paper presents a perception model based on the feedback control for autonomous virtual humans. In this model, the perception constraints of the organs are firstly maintained by the perceptual filters. Then, humans' memory function is simulated since the circular queue is designed to store the relevant information of the perceived objects. Furthermore, according to the results of the perception and memory, all the parameters of the perceptual filter are controlled by feedback so that the effect of the perceived outcome on the process of the perception is demonstrated. The experimental results show that the perception model based on the feedback control not only reflects the characteristics of the human perception system well, but also provides more authentic environment information for autonomous virtual humans to control their behaviors and make decisions.

**Key words:** feedback control; perception model; perceptual filter; memory model; autonomous virtual human

**摘要:** 提出了一种基于反馈控制的自主虚拟人感知模型. 该模型首先使用感知过滤器模拟人类器官感知限制, 然后设计了环形队列存储感知对象的相关信息来模拟人类的记忆功能, 进而利用感知和记忆的结果, 对感知过滤器的各项参数进行反馈控制, 从而体现感知结果对感知过程的影响. 实验结果表明, 基于反馈控制的感知模型不仅能够较好地体现人类感知系统的特性, 而且能够为自主虚拟人行为控制和决策提供更为真实的环境信息.

**关键词:** 反馈控制; 感知模型; 感知过滤器; 记忆模型; 自主虚拟人

中图法分类号: TP391 文献标识码: A

近年来, 自主虚拟人行为仿真成为计算机图形学及其相关领域的研究热点, 感知模型作为自主虚拟人理解周围环境、进行自主行为控制以及决策的基础, 同样受到了很多学者的关注. 感知模型的主要目标是通过不断地监测虚拟环境的变化, 为行为控制系统提供必要的信息, 这就需要其模拟人类的多通道信息获取能力, 模拟人类对感知数据的解释能力, 并模拟人类对感知信息的记忆能力.

\* Supported by the Tianjin Municipal Technologies Research and Development Cultivation Program of China under Grant No.06YFGZGX06200 (天津市科技攻关培育项目); the Tianjin Municipal Applied Basic Research and Cutting-Edge Technology Research Scheme of China under Grant No.08JCYBJC14300 (天津市应用基础及前沿技术研究计划)

Received 2008-03-30; Accepted 2008-07-02

人机工程学研究显示,在人类所感知的信息中,80%以上是由视觉器官提供的<sup>[1]</sup>,因此,大部分虚拟感知系统建模研究都是针对视觉系统进行的.目前的视觉感知建模方法主要包括以下4种:

(1) 基于图像渲染的视觉感知<sup>[2,3]</sup>完全模拟了人类视觉的感知原理,它首先从动画角色的视角对虚拟环境进行图像渲染,然后对图像进行识别,从中提取信息,如颜色、深度值等.这种方法的优点在于能够很容易地获取完全真实的视觉数据,即场景的投影图像.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,但是鉴于图像识别技术发展还不够成熟,精度和速度还远远无法满足实时感知的要求,因此该方法很难应用于虚拟人的控制系统.

(2) 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,即可获得其相关信息.Renolds<sup>[4,5]</sup>在鸟群行为模拟中就使用了这种方法,为场景中的每个 boid 建立了简单的视觉感知模型,用于查询周围其他对象的信息.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局限性,从而影响了虚拟人行为的真实性.

(3) 几何视觉模型对上述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,进而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.Bordeux<sup>[6]</sup>提出了基于几何视觉模型的一种感知流水线结构,结构中包含了视野过滤器、碰撞检测过滤器等,并通过流水线将其组合在一起,结合数据库查询来提取需要的物体信息.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,因此这种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.例如,人在一边躲避障碍物,一边追踪目标时,两种行为的感知信息更新频率可能有所不同,这就取决于他更关注哪种行为.如果注意力集中于追踪目标物体,则可能发生碰撞现象.

(4) 综合视觉模型将上述基于图像、数据库和几何计算的方式结合起来,试图在计算精度、效率和真实感之间取得平衡.涂晓媛<sup>[7]</sup>在人工鱼的视觉模型中对虚拟环境中的各种物体提前赋以不同的颜色,并利用硬件加速技术快速取得以鱼眼为视角的场景图像,进而获得遮挡信息,识别可见对象.同时,对某一距离内的对象进行几何计算,并结合查询世界模型取得可见对象的信息.

除了视觉建模以外,目前对其他感知器官的建模还很少,主要是对听觉的一些研究.Thanlmann<sup>[2]</sup>对虚拟听觉进行仿真,通过建立虚拟声环境,虚拟人可以从该环境数据库中直接得到声音事件的位置和语义信息.

综上所述,已有的感知模型研究大都集中于如何分辨可感知与不可感知对象,对于除人类感知系统功能局限性之外的特点没有太多的考虑.事实上,人类感知系统还具有主动性和选择性的特点,例如,快速运动的对象会得到感知系统更高的关注,远处的对象则会得到相对较低的关注,其感知信息也具有一定的不确定性.这种选择性的感知既是生理特征的结果,也有主动行为控制的原因,其结果往往能够导致一些有趣的行为现象.因此,本文在较好地模拟感知系统局限性的基础上,提出了一种新的感知模型,其引入环形队列来存储记忆信息,并加入反馈控制器来模拟感知结果对感知过程的影响,实现了真实感较强的感知行为.

本文第1节重点介绍基于反馈控制的自主虚拟人感知模型,包括其架构和主要组成部分——感知过滤器、记忆模型和反馈控制器.第2节对模型进行验证,并对仿真实验结果进行详细的分析.第3节对全文进行总结.

## 1 感知模型

### 1.1 基于反馈控制的感知模型架构

人类的视觉、听觉、嗅觉等具有生理局限性,通过在感知模型中设置相应的感知过滤器,我们可以从所有可获取的数据中去除真实感官感知范围以外的信息,保留可感知的信息.感知过滤器是感知模型的核心部分,其过滤范围决定了整个感知模型的感知结果.为了获得真实感较强的感知行为,我们对人类的感知特征进行了分析和研究,发现决定感知范围的因素主要有:(1) 感知器官自身的生理特征.(2) 环境条件的影响.(3) 对象特征.(4) 已有的感知结果,即当前的感知结果会对以后的感知范围产生影响.例如,当人感知到自己处于一个很空旷的环境中时,感知范围会扩大,即使很远距离的物体也可能感知到.而当发觉自己处于一个拥挤的环境中时,感知范围会缩小,稍远距离的物体可能就不会被感知到.(5) 聚焦物体,即当对环境某一个物体特别感兴趣时,

就会聚焦在该物体上,从而降低了对其他物体的感知能力.其中,因素(1)是感知系统所固有的,因素(2)与因素(3)是由外部原因造成的,这3种因素都取决于客观情况,可通过相关信息的过滤来模拟;因素(4)与因素(5)则是由感知结果造成的.因此,感知过程必须能够受到感知结果的反作用,即感知系统应该具有一定的反馈性.在已有的感知模型中<sup>[4,6-11]</sup>,这种反馈影响没有得到体现,因而降低了感知系统的真实性.

本文在感知模型内部加入反馈控制器.它能够根据已有的感知结果实时调整感知过滤器的过滤范围,进而达到很好地模拟这种反馈效果的目的.如图1所示,感知模型由3部分组成:感知过滤器、记忆模型和反馈控制器.在每一次感知过程中,首先感知过滤器从世界模型中取得环境中所有物体的相关信息,并根据感知设置进行过滤,生成可感知对象列表,并将该列表存入记忆模型.然后根据记忆模型中的感知情况,反馈控制器按照规则对感知过滤器进行调整,以模拟感知结果对感知过程的影响.同时,反馈控制器可以接受外部信息的控制,这些信息可能来自虚拟人的高层控制系统,也可能直接来自用户的输入,这就为感知模型更准确地反映实时变化,更真实地获取感知信息提供了保证.而反馈控制器对感知过滤器过滤范围的调整规则是根据聚焦方向和信息感知量对感知能力的影响来确定的,因而其可以很好地模拟前一次的感知结果对下一次感知过程的影响.最后,根据记忆模型中的感知对象列表和世界模型,感知系统能够为后续行为控制提供详细的可感知信息.

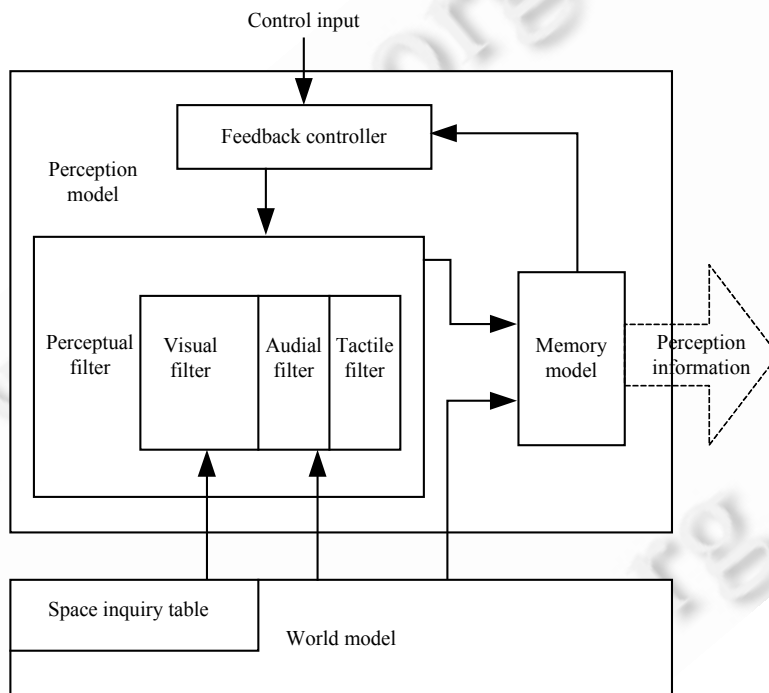


Fig.1 Structure of the perception model for autonomous virtual humans

图1 自主虚拟人感知模型结构

## 1.2 感知过滤器

感知过滤器提供了对感知限制的模拟,主要由视觉过滤器、听觉过滤器和触觉过滤器组成,分别提供对应感知范围的过滤功能.对于可感知的对象,感知过滤器可给出感知的精度.

### 1.2.1 视觉过滤器

视觉过滤器根据各个对象与人眼之间的相对位置,确定某个对象能否被虚拟人观察到.本文主要是采用几何的方法,首先判定对象是否在虚拟人视野范围之内,然后用经典的可见性计算方法通过分别求解虚拟人到包围盒8个顶点的视线与其他物体包围盒矩形是否有交点来判定空间的遮挡关系.其中,视野范围是视觉感知的

主要几何限制属性.如图 2 所示,虚拟人在水平方向上的基本可见视野为有限的扇形区域,以聚焦方向  $\bar{F}$  为对称轴,区域大小由 4 个参数确定,分别为最佳视距  $R_{v1}$ 、最大视距  $R_{v2}$ 、最佳视角  $\varphi_{v1}$  和最大视角  $\varphi_{v2}$ .一般情况下,聚焦方向即虚拟人面对方向.当感知系统聚焦于某一对象时,聚焦方向为头部与该对象位置中心的连线方向.根据人机工程学统计数据,角度  $\varphi_{v1} \approx 60^\circ$ ,  $\varphi_{v2} \approx 110^\circ$ .最大视距  $R_{v2}$  由物体在人眼中的投影大小决定.视觉过滤器的感知半径可表示为

$$\frac{R_{v2}}{D} = k_V, \quad \frac{R_{v2}}{R_{v1}} = k_{V12} \quad (1)$$

其中,  $k_V$  为单位视距,表示最大视距与物体大小的比值,可用于衡量视觉能力的强弱;  $k_{V12}$  为最大视距与最佳视距的比值.

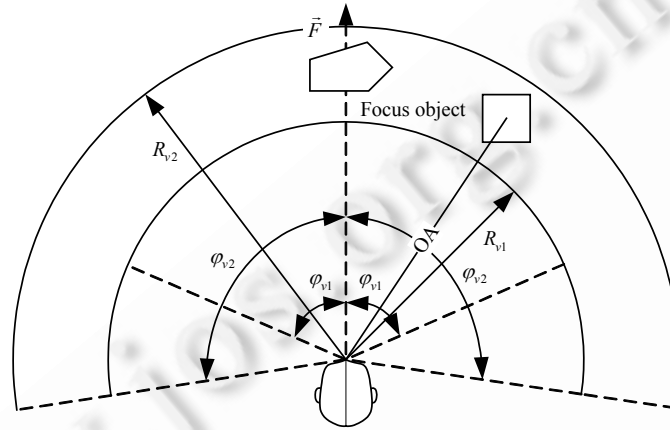


Fig.2 Perceptual region of the vision

图 2 视野感知范围

### 1.2.2 听觉与触觉过滤器

由于听觉和触觉不受虚拟人面对方向的限制,因而可以将听觉与触觉过滤器作为视觉过滤器的补充,扩大虚拟人的感知范围.感知距离是听觉过滤器与触觉过滤器的主要参数.与视觉感知距离相比,听觉感知距离较小,而触觉感知则仅仅局限于与虚拟人发生身体接触的对象范围内.听觉感知范围为半径为  $R_h$  的球形区域.  $R_h$  受环境和对象等多种因素影响,其数值由反馈控制器决定.触觉感知范围为半径为  $R_f$  的圆柱形区域.  $R_f$  的决定因素为虚拟人和对象的形体大小.只有当虚拟人与对象可能发生碰撞时,才会引发触觉感知.

通过将以上 3 种感知过滤器相结合,我们为虚拟人建立了一个以自身为中心的综合感知区域,如图 3 所示.值得注意的是,这一感知区域并不是固定不变的,而是由不同的控制参数所确定.根据环境、对象和感知结果的变化,这些控制参数会发生相应的变化,并引起综合感知区域的动态改变.

### 1.2.3 感知精度与聚焦因子

可感知对象的属性和感知方式都会对感知信息的精度造成影响.对视觉感知而言,要获得较为准确的感知信息,对象需要满足以下条件:(1) 位于最佳视野角度范围内;(2) 与虚拟人的距离小于  $R_{v1}$ ;(3) 运动速度  $V_a$  低于最佳感知速度  $V_0$ .否则,视觉感知器只能获得较低精度的对象信息.在本文的模拟中,触觉感知器只感知近距离接触的对象,因而其精度较高,而听觉感知器则只能获得低精度的感知信息.

聚焦因子用于衡量对象引起虚拟人注意的可能性,以便于反馈控制器选择感知焦点.物体 A 的聚焦因子取决于 3 个因素:(1) 与虚拟人的距离.物体距离虚拟人越近,越有可能引起虚拟人的注意.(2) 偏离当前聚焦方向的程度.物体越偏离当前的聚焦方向,聚焦因子越低.(3) 物体的运动速度.运动速度对聚焦因子的影响比较复杂,过快和过慢的运动都会降低虚拟人的注意力.考虑到感知能力的统一性,本文将最佳感知速度  $V_0$  作为最有可能引起注意的运动速度.

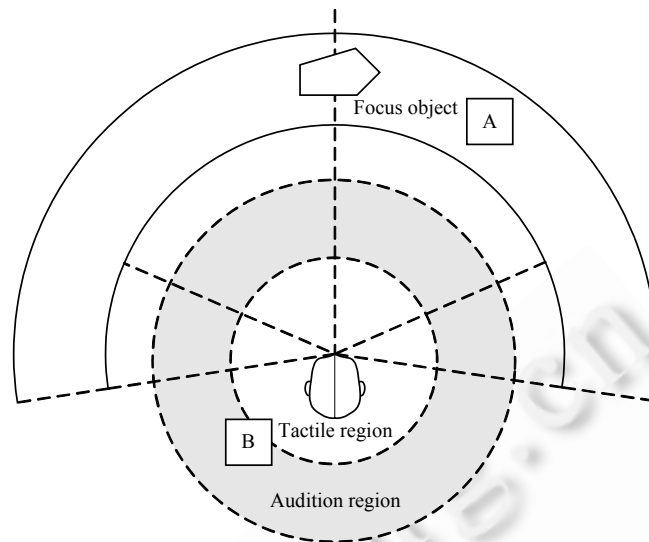


Fig.3 Region of synthesized perception for virtual human

图3 虚拟人综合感知范围

这样,对象 A 的聚焦因子可表示为

$$f_A = a \frac{\overline{OA} \cdot \vec{F}}{|\overline{OA}| \cdot |\vec{F}|} + \frac{b}{|\overline{OA}|} + \frac{c}{|V_a - V_0|} \quad (2)$$

其中,  $\overline{OA}$  为虚拟人至物体 A 的矢量,  $V_a$  为 A 的运动速度.  $a, b, c$  为对应于各项的比例因子, 表示各个因素对聚焦因子的影响权重. 不同虚拟人可具有不同的比例因子设置, 以实现聚焦行为的个性化.

### 1.3 记忆模型

感知模型中的记忆模块起到了缓存器的作用, 负责感知信息及其他记忆信息的存储, 与世界模型共同为其其他系统提供外界信息. 尽管人的记忆容量几乎是无限的, 但就某一个场景或事件而言, 记忆的信息是有限的. 同时, 为了保证系统运行的效率, 虚拟人的记忆信息必须存储在一定的连续内存空间范围内. 因此, 当记忆模型的存储区满时, 必须采用一定的置换策略, 从存储区淘汰某些记忆信息, 这种淘汰机制类似于人类记忆的遗忘现象. 因而, 所采用的置换策略也必须能够反映记忆遗忘的一些特点. 主要包括: (1) 人类记忆中一些重要的信息是很难被遗忘的; (2) 随着时间的推移, 越早的记忆越容易被遗忘. 为模拟以上特点, 本文提出用环形队列来存储记忆模型中的信息.

记忆模块的存储方式如图 4 所示. 当世界模型中的对象通过感知过滤器的过滤, 被认为是可感知对象时, 记忆模型根据过滤过程生成一条对应的感知信息, 存入环形队列的当前有效空间. 每一条感知信息可以六元组的形式来表示:

$$perception = \langle ID, object, sensor, precision, focus, term \rangle.$$

其中,  $ID$  为感知信息在记忆模型中的存储标识, 该标识具有唯一性.  $object$  为所感知对象在世界模型中的标识号, 通过这一标识可以方便地获取对象的具体信息.  $sensor \in \{vision, hearing, feeling\}$  表示由哪种感知器所感知.  $precision \in \{low, high\}$  表示感知信息的精度.  $focus$  表示感知对象的聚焦因子, 由感知过滤器根据式(2)获得.  $term \in \{short, medium, long\}$  表示该记忆信息的存储时限和优先级. 该时限可以根据感知对象的稳定性和重要性来决定.

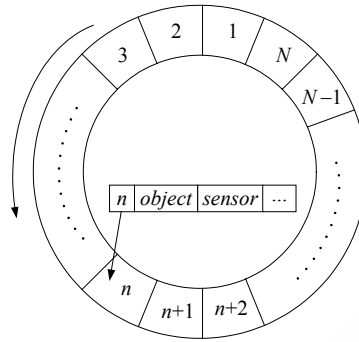


Fig.4 Storage queue of memory information  
图4 记忆信息的存储队列

当存储区满时,设当前存储指针指向记录  $n$ ,记忆模型将需存储信息与记录  $n$  的存储时限进行比较.如果记录  $n$  的 *term* 值更大,则继续与记录  $n+1$  比较,直到找到存储时限相同或更小的记录,并将其替换.由于存储时限为 *medium* 和 *long* 的信息只占记忆模块的小部分空间,因此可避免最新的感知信息无法找到存储空间情况的发生.由于环形队列的存储结构,在同等优先级中总是将最早的记忆信息淘汰,即虚拟人观察过的大部分对象只能在记忆中存储有限的时间,经过一段时间即会被删除,从而实现了记忆遗忘特征的模拟.

虚拟人通过感知方式得到的环境信息能够在记忆模型中得以保存.而基于存储优先级的淘汰方式使得其中某些重要信息能够积累下来,形成虚拟人对场景的认知.这种记忆淘汰的过程实际上是对人类认识新环境的模拟.因此,记忆模型的存在使得虚拟人具有了对环境的自学习能力,这种能力是进行复杂行为控制的重要基础.

#### 1.4 反馈控制器

感知系统的运行结果不仅与生理因素和外界因素有关,同时也受到感知结果和记忆的影响.为了实现对此种影响的模拟,我们在感知系统中加入了反馈控制器.根据记忆模型中已有的感知信息,控制器按照一定的规则对感知过滤器的各项参数进行调节,从而影响下一次的感知结果.

在本文建立的视觉、听觉感知过滤器中,感知范围由以下几个参数决定:视觉聚焦方向  $\vec{F}$ 、单位视距  $k_v$  和听觉半径  $R_a$ .

##### 1) 聚焦方向 $\vec{F}$ 的确定

人的感知器官倾向于将感知的重点置于感知最精确的位置上.就视觉感知而言,当人们专注于观察某一个物体时,由于眼睛的中心具有最精确的感知能力,人眼总是将观察的重点物体置于视野的中央.因此,眼睛和头部以至全身都会随着物体的运动而转动.可见,感知的聚焦方向由虚拟人和重点感知对象的相对位置决定.

通过感知过滤器的计算,每个物体的感知信息中都含有聚焦因子项,作为对感知重要性的衡量参数.反馈控制器通过对记忆模型中所有感知信息的聚焦因子进行比较,选取具有最大聚焦因子的物体作为当前的感知重点,从而确定感知的聚焦方向.其具体的流程如图 5 所示.

##### 2) 单位视距与听觉半径的确定

信息的感知量会对感知能力产生影响.如果感知信息过多,则会对需要的信息产生干扰;当两个或更多的信号同时发生时,若二者的属性相近,则不易区别.感知器官的生理特征是造成这种现象的主要原因.例如,当周围同时有多个声源存在时,人耳很难区分每个声源的位置,视觉感知也存在同样的问题.此外,大脑对感知信息的处理需要一定的反应时间,当大量信息同时出现时,处理能力也会有所下降.

为了在感知模型中反映信息数量对感知能力的这种影响,反馈控制器会根据感知信息量的多少,决定下次感知过程中的视觉感知能力和听觉感知能力.当感知到  $n$  条信息时,单位视距  $k_v$  和听觉半径  $R_a$  由下式确定:

$$\begin{cases} k_v = k_{v_0}, R_h = R_{h_0}, & n \leq N_0 \\ k_v = \frac{k_{v_0} N_0}{n}, R_h = \frac{R_{h_0} N_0}{n}, & n > N_0 \end{cases} \quad (3)$$

其中,  $k_{v_0}, R_{h_0}, N_0$  为预定义常数,当信息量多于阈值  $N_0$  时,感知能力会随着信息量的增大而下降,否则,单位视距和听觉半径为常数  $k_{v_0}$  和  $R_{h_0}$ 。

## 2 实验结果分析与讨论

本文通过实验对提出的感知模型进行了模拟.感知模型中各参数取值为: $N_0=12, k_{v_0}=60, R_{h_0}=1.5m, R_f=0.6m$ . 聚焦因子方程中的常数取为 1.为便于在有限的空间中显示感知效果,实验中单位视距和信息量阈值的取值远小于人类感知的相关数据,但其感知的特性是相同的.考虑到虚拟人感知的重点对象在于运动物体和其他虚拟人,因此在后续的实验中均认为虚拟对象为发声对象,且完全占据形体外接圆范围内的空间.

图 6 显示了在静态的三维环境中,虚拟人视觉感知的效果,其中的圆锥体和小球代表场景中的感知对象,物体的颜色代表感知的状态.对象 1 等处于虚拟人前方的最佳视觉感知区域内,显示为深灰色,浅灰色代表对象处于虚拟人的最大视觉感知区域内,而白色代表无法感知的对象.与对象 3 相比,对象 2 距离虚拟人更近,但由于对象 3 的体积要远大于对象 2,因此在对象 2 无法被感知的情况下,对象 3 仍处于最大视距范围内.同样,尽管对象 4 距离虚拟人较远,但仍能被准确地感知.由于虚拟人附近对象 6 的存在,导致虚拟人的视线被阻挡,并造成对象 5 和更远的一组对象均无法被感知到.

在图 6 中,对象 7 处于虚拟人身后,因而无法被视觉感知器感知.图 7 显示了加入听觉和触觉感知能力的效果.由于对象 7 与虚拟人距离非常近,处于触觉感知范围内,因而显示为黑色,表示已被触觉感知器感知.而对象 8 与对象 9 显示为灰色,表示其处于听觉感知范围内.更远的对象(如对象 10)由于处于所有的感知范围之外,因此无法被感知.

图 8 显示了记忆模块对感知结果的影响.图中对象 5 与对象 6 为静止物体,对象 11 由画面下方向上方运动.由于对象 6 的遮挡,对象 5 处于不可感知状态.在图 8(a)中,对象 11 处于虚拟人的最佳视野范围内.图 8(b)中,对象 11 的当前位置已经处于对象 6 的遮挡范围内,但由于记忆模型中还保留有原有的感知结果,因此虚拟人仍认为可感知对象 11 的信息.在图 8(c)中,由于长时间未感知到对象 11 的最新信息,感知模型已经淘汰了相关的记忆,对象 11 处于无法感知状态,直到图 8(d)中离开对象 6 的遮挡范围,才重新被虚拟人感知.

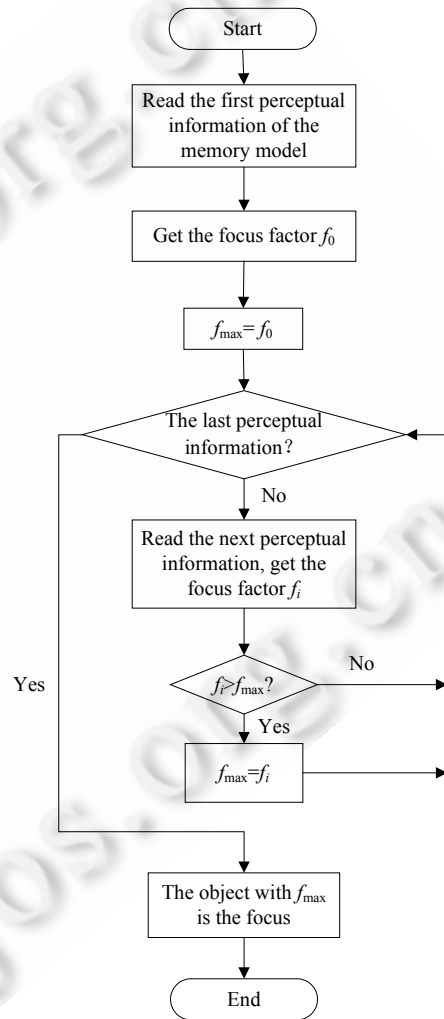


Fig.5 Determine the focus direction of perception  
图 5 感知聚焦方向的确定

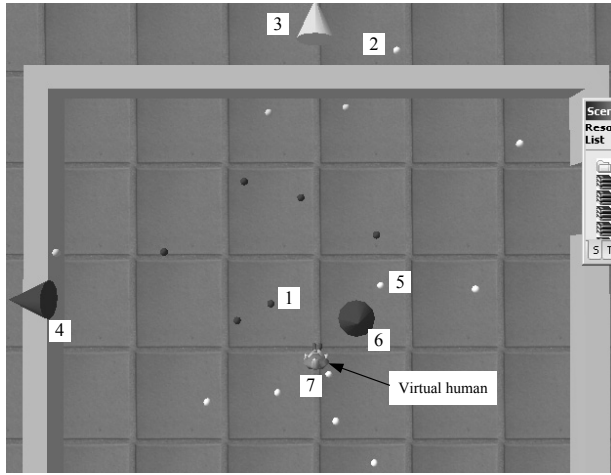


Fig.6 Visual perception in static environment  
图6 静态环境中的视觉感知

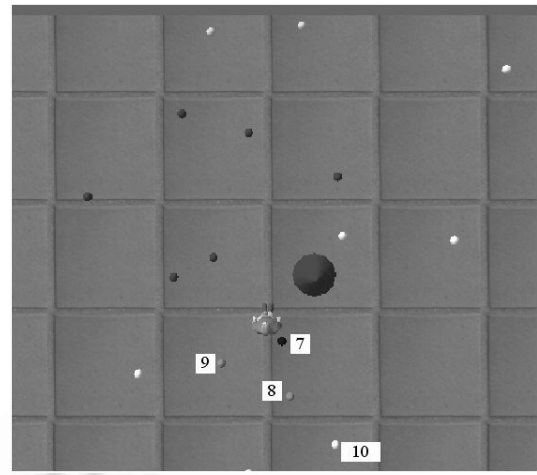


Fig.7 Synthesized perception in static environment  
图7 静态环境中的综合感知

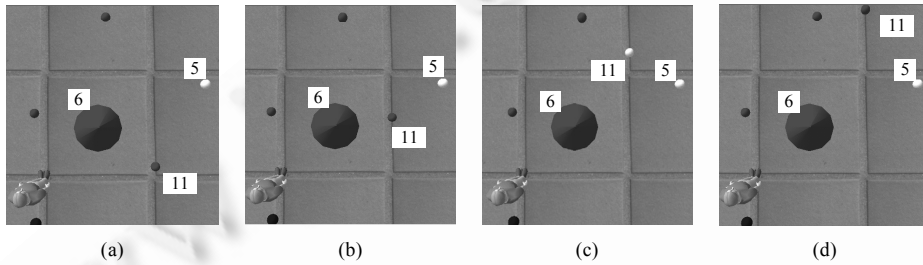


Fig.8 Memory capability of perception model  
图8 感知模型的记忆能力

在图 9 中,对象 6 由静止开始向图像下方运动.由于其他对象均处于静止状态,对象 6 的运动造成其聚焦因子高于其他对象,因而反馈控制器将聚焦方向指向该对象.这样,随着对象 6 的运动,虚拟人的感知范围也发生相应的变化.

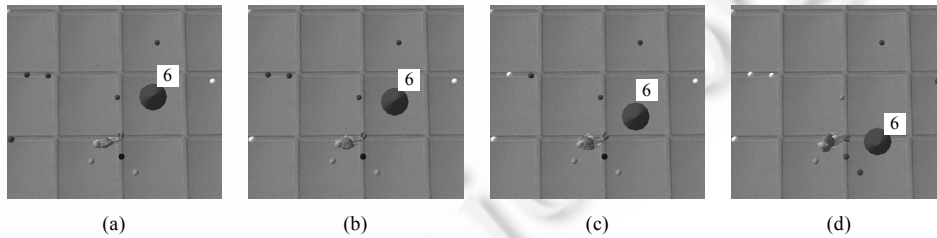


Fig.9 Impact of the focus factor on perception  
图9 聚焦因子对感知的影响

图 10 显示了感知对象的数量对感知模型的影响.当场景中的对象个数急剧增加时,由于感知信息数量超过了感知信息量阈值,反馈控制器降低了视觉和听觉感知器的感知范围,以反映感知数量增加对系统的影响.如图所示,由于视觉范围的降低,对象 1、对象 2 等被视觉感知忽略,对象 4 所处位置也由最佳视野变为最大视野,造成了感知精度的下降.同时,听觉感知范围也相应缩小,导致对象 5 处于无法感知的状态.

在图 11 中,我们将本文所提出的基于反馈控制的感知模型应用到虚拟人行为控制平台中,并结合相应的路



径规划模型,给出了某虚拟人感知周围其他虚拟人的结果.被感知到的虚拟人已用深灰色标记出来.

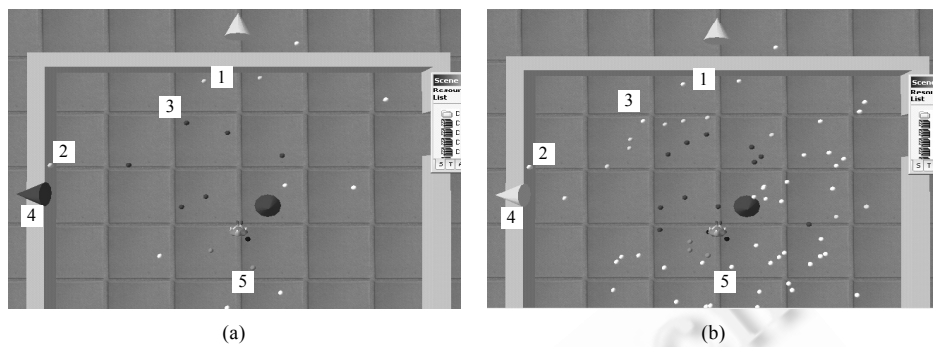


Fig.10 Impact of the number of perceived objects on perception

图 10 感知对象数量对感知的影响

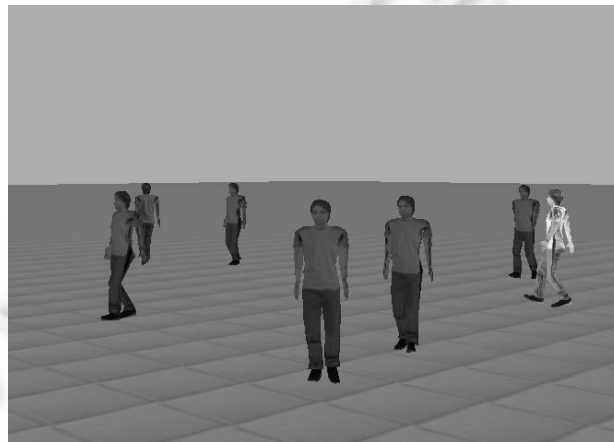


Fig.11 Situation with many perceived virtual humans

图 11 多个虚拟人被感知的情景

以上实验结果表明,该感知模型基本上模拟了视觉、听觉、触觉的感知特性,并反映了记忆功能及感知结果对感知过程的影响.

### 3 结 论

本文通过分析人类感知系统的生理和感知行为特征,提出了由感知过滤器、记忆模型和反馈控制器组成的自主虚拟人感知模型.感知过滤器包括视觉过滤器、听觉过滤器和触觉过滤器,分别模拟相应人类感官的感知限制,根据环境中对象的可感知性进行过滤.记忆模型模拟人类的记忆功能和特点,采用环形队列存储可感知对象的相关信息.随着长期记忆信息的增多,虚拟人实现了对环境的简单自学习能力.反馈控制器以感知和记忆的结果作为输入信息,对感知过滤器的控制参数进行调整,从而实现感知结果对感知过程的影响.实验结果表明,基于反馈控制的感知模型较好地体现了人类感知系统的一些特性,能够为自主虚拟人行为控制和决策提供较真实的感知信息.

本文提出的记忆模型只模拟了人类简单的自学习能力,没有考虑其预测能力,而且随着虚拟环境中虚拟人数目的增多,对每个人都进行感知信息的过滤、记忆的模拟以及控制参数的调整,势必会影响到运行的速度,因此这些都将成为我们下一步的研究工作.

## References:

- [1] Guo QS, Wang YH. Ergonomics Design. Tianjin: Tianjin University Press, 1994 (in Chinese).
- [2] Noser H, Thanlmann D. Synthetic vision and audition for digital actors. Computer Graphics Forum, 1995,14(3):325-336.
- [3] Jr Kuffner JJ, Latombe JC. Fast synthetic vision, memory and learning models for virtual humans. In: Thalmann NM, Badler NI, eds. Proc. of IEEE Computer Animation 1999. Washington: IEEE Computer Society Press, 1999. 118-127.
- [4] Reynolds CW. Computer animation with scripts and actors. ACM Computer Graphics, 1982,16(3):289-296. [doi: 10.1145/965145.801293]
- [5] Reynolds CW. Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model. ACM Computer Graphics, 1987,21(4):25-34. [doi: 10.1145/37402.37406]
- [6] Bordeaux C, Boulic R, Thalmann D. An efficient and flexible perception pipeline for autonomous agents. Computer Graphics Forum, 1999,18(3):23-30. [doi: 10.1111/1467-8659.00324]
- [7] Tu XY. Artificial Fishes-Artificial Life Method for Computer Animation. Beijing: Tsinghua University Press, 2001 (in Chinese).
- [8] Noser H, Renault O, Thalmann D, Thalmann NM. Navigation for digital actors based on synthetic vision, memory and learning. Computer and Graphics, 1995,19(1):7-19. [doi: 10.1016/0097-8493(94)00117-H]
- [9] Courty N, Marchand E. Visual perception based on salient features. In: Billard A, Siegart R, eds. Proc. of the IEEE Intelligent Robots and Systems (IROS). Washington: IEEE Computer Society Press, 2003. 1024-1029.
- [10] Conde T, Thalmann D. An artificial life environment for autonomous virtual agents with multi-sensorial and multi-perceptive features. Computer Animation and Virtual Worlds, 2004,15(3-4):311-318. [doi: 10.1002/cav.34]
- [11] Conde T, Thalmann D. An integrated perception for autonomous virtual agents: Active and predictive perception. Computer Animation and Virtual Worlds, 2006,17(3-4):457-468. [doi: 10.1002/cav.148]

## 附中文参考文献:

- [1] 郭青山,汪元辉.人机工程设计.天津:天津大学出版社,1994.
- [7] 涂晓媛.人工鱼-计算机动画的人工生命方法.北京:清华大学出版社,2001.



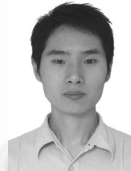
孙立博(1983—),女,黑龙江大庆人,博士生,主要研究领域为虚拟现实,虚拟人及人群技术.



孙济洲(1949—),男,博士,教授,博士生导师,CCF 高级会员,主要研究领域为计算机图形学,虚拟现实,并行计算.



刘艳(1972—),女,博士,副教授,主要研究领域为计算机动画,虚拟现实.



倪慧(1980—),男,博士,主要研究领域为虚拟现实.