

# 虚拟人情绪行为动画模型

刘 箴 潘志庚

(浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室, 杭州 310027)

**摘 要** 近年来, 虚拟人行为动画已经成为计算机动画一个新的分枝, 已往的研究多集中在虚拟人局部的情绪表达动画方面, 如脸部动画, 而对于给定的虚拟场景, 则尚未考虑情绪产生的原因. 情绪是虚拟人和虚拟环境交互作用的结果, 然而在计算机动画领域, 虚拟人的情绪至今尚未得到清楚的描述. 为此, 依据心理学的理论, 提出了虚拟人情绪行为的动画模型, 即, 首先提出了情绪集和情绪表达集合的概念, 并建立了从情绪状态到情绪表达之间的映射; 其次, 着重分析了情绪产生的原因, 并引入了情绪源的概念, 如果一种情绪刺激的强度大于情绪的抵抗强度, 那么这种情绪就会产生; 此外, 情绪状态可以采用有限状态机来描述, 据此提出了情绪的变化流程; 最后, 在微机上通过调用 Microsoft Direct3D API, 实现了虚拟人的情绪行为动画.

**关键词** 计算机仿真(520·6020) 虚拟人 行为动画 情绪 情绪源 情绪表达

**中图法分类号:** TP391.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2003)07-0817-06

## Animation Model of Emotional Behavior on Virtual Human

LIU Zhen, PAN Zhi-geng

(State Key Lab of CAD&CG, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

**Abstract** Behavior animation of virtual human is an interesting branch of computer animation in recent years. Many researchers focused on the local expression animation of virtual human emotion, such as facial animation system, and did not consider the reason of emotion to a specific virtual scene. Emotion is the result of interaction between virtual human and virtual environment, the emotion of virtual human has not gained clear description up to the present in the field of computer animation. This paper presents an animation model of emotional behavior for virtual human on the basis of psychology theory. First, this paper introduces the concept of emotion set and emotion expression sets, and sets up a function from emotion state to emotion expression; Second, this paper pays attention to the reason of emotion and introduces the concept of emotion origin, if the strength of an emotion stimulus is bigger than the resistive capacity of an emotion, then the emotion will occur; Third, the emotion state can be expressed as a finite state machine (FSM), and an emotion transfer flow is presented. As a result, a demo of virtual human emotion behavior is realized on personal computer by calling the Microsoft Direct3D API with the programming visual c.

**Keywords** Virtual human, Behavioral animation, Emotion, Emotion origin, Emotion expression

## 0 引 言

近年来, 人工智能和传统计算机动画的结合, 促进了计算机行为动画的诞生和发展, 并在计算机动画发展史上, 创造了一批具有里程碑意义的研究成果. 1987 年, Reynolds 率先提出了鸟群行为动画<sup>[1]</sup>; 而 Reynolds 则认为鸟群的形成并不需要一个领头

者, 只需要每只鸟遵循一些局部的相互作用规则即可, 然后群体现象可作为整体模式从个体的局部的相互作用中涌现出来. Reynolds 的行为动画模型虽然成功地模拟了群体行为, 但是由于仅仅考虑了环境刺激驱动机制, 还没有建立主体的动机模型, 因此还不能对个体的行为作精确的描述. 针对这些不足, Maes 和 Tyrrell 分别提出了行为的选择机制<sup>[2]</sup>, 之后, 涂晓媛集成了上述行为动画的研究成果, 建立了

基金项目: 国家 973 项目(2002CB312100); 国家自然科学基金项目(60083009)

收稿日期: 2003-01-20; 改回日期: 2003-04-28

具有自主行为的人工鱼行为模型<sup>[2,3]</sup>,同时实现了由感知引导行动的功能,并在工作站上创作了许多栩栩如生的虚拟海洋中的人工鱼.虚拟人的行为动画近年来正在成为计算机动画的一个新的分枝,其研究的重点在如何表现虚拟人的自主智能行为.从20世纪80年代末以来,虚拟人技术发展很快,例如,一个典型的系统是美国宾夕法尼亚大学开发的著名的虚拟人动画软件 Jack<sup>[4]</sup>,该软件旨在解决工业工程领域中的人-机工效仿真问题,Jack中的虚拟人采用了一个多边形模型,其不仅具有刚性的分段以及精确的关节运动和约束,还采用参数化的方法来描述行为,Jack的下一步计划是增加虚拟人的个性模拟<sup>[5]</sup>;此外,Hodins教授的研究小组则侧重表现虚拟人运动的控制策略,并创作了许多虚拟运动员的动画场景<sup>[6]</sup>;瑞士Thalmann夫妇领导的虚拟现实研究小组一直在从事虚拟人的研究工作<sup>[7,8]</sup>,其中包括三维人脸的实现、手的形变、人体模型的建立、身体的变形和运动控制(比如行走、跑动和用手抓取物体等运动)等研究.他们认为,虚拟人不仅要可视,还应该具有行为、感知、记忆和一些智能推理的功能.

人的行为是指在一定的环境下个体的外部活动,包括各种动作和反映<sup>[9]</sup>,例如,情绪的外部表现(即下文的情绪表达集合)就是一种行为,本文称之为情绪行为.笔者认为,虚拟人的行为模拟和人工鱼行为模拟应有所不同,由于虚拟人是虚拟社会中的成员,且虚拟人应该具有自治的个性和行为的不可预期性,因此,虚拟人在虚拟世界中应该具有高级的情绪行为变化.正是由于情绪很难量化,以致于以往许多研究者主要关注虚拟人身体局部的动画表达,例如,人脸部动画<sup>[10]</sup>,因没有从系统的角度考虑外部环境的影响,故虚拟人的情绪产生仍未得到系统的研究.

心理学中的情绪理论<sup>[11]</sup>指出:情绪是人所具有的一种心理主观体验,其外部表现形式包括喜、怒、哀、乐等,例如,正常人的脸部有6种情绪表现(厌恶、愤怒、害怕、高兴、悲伤、惊奇),若仔细分辨,则可达7000种以上.根据心理学公认的James-Lange情绪理论和Schachter-Singer情绪理论,情绪和人的个性以及环境刺激是密切相关的,并伴随着动机同时产生.另外,情绪通常比较短暂,并具有相对清晰的开始和结束.Maslows提出了人类的行为受到5种需求层次的影响<sup>[11]</sup>,其中,最底层是生理需求(诸如食物,水,氧气等),最高层次是自我实现.这种理

论可以用来构造虚拟人行为的任务级别,并可解释现实生活中由于各种需求的矛盾而导致情绪产生的根源.Miller则进一步指出,人类对动机冲突解决的基本方式可以归结为接近和躲避<sup>[11]</sup>.

本文根据心理学的理论,认为情绪是虚拟人和虚拟环境交互作用的结果,在文献[12]~[14]工作的基础上,提出了虚拟人情绪行为的动画模型,并在微机上通过调用Microsoft Direct3D API,实现了虚拟人的情绪行为动画原型系统,从而为创作逼真的虚拟人行为动画提供一种有效的方法.

## 1 情绪和情绪表达之间的关系

虚拟人的情绪表达一般包括面部表情和身体的姿态运动.一般来说,当虚拟人运动缓慢或停止运动时,观察者往往关注虚拟人的面部表情变化;对于处于运动中的虚拟人,由于观察者往往不关注虚拟人的面部表情,而更为关注虚拟人的姿态,因此,运动中的虚拟人的情绪通常可以用身体姿态来表达,例如,图1描绘了一个虚拟人行走时的不同情绪状态,左侧的虚拟人表现了很满足的情绪,右侧的虚拟人表现情绪低落.



图1 行走的不同情绪状态

为便于论述,下面首先给出描述虚拟人情绪和情绪表达之间的一些概念.

**定义1** 对于给定的虚拟环境,情绪集合 $E$ 是所有可能情绪状态的联合表达.记作 $E=(e_1, \dots, e_n)$ , $n$ 是情绪状态的个数,即在任意时刻,虚拟人的情绪 $e$ 是 $E$ 中的一个元素.

**定义2** 对于给定的虚拟环境,情绪表达集合 $P$ 是对应情绪状态所有可能的身体姿态和面部表情的联合表达,记作 $P=(p_1, \dots, p_m)$ , $m$ 是身体姿态和面部表情的个数. $p_j(j=1, \dots, m)$ 称为情绪表达,它是一个身体姿态或面部表情.

**定义3** 对于给定的虚拟环境, $E$ 是情绪集合, $P$ 是对应 $E$ 的情绪表达集合,情绪映射 $f$ 是从 $E$ 到

$P$  的映射,对任何  $x \in E$ ,有  $y = f(x) \in P$ . 一般情绪映射可以用一组产生式规则来表达.

**定义 4** 对于给定的虚拟环境,  $S$  是  $E$  的一个子集合,  $p$  是  $P$  的一个元素,  $f$  是从  $E$  到  $P$  的情绪映射,对任何  $x \in S$ ,若有  $p = f(x)$ ,则称  $S$  与  $p$  相关,记为  $S \rightarrow p$ ; 如果对任何  $x \in S$ ,均没有  $p = f(x)$ ,则称  $S$  与  $p$  不相关,记为  $S \not\rightarrow p$ .

**推论 1** 设有两个非空情绪集合  $E_1$  和  $E_2$ ,  $p_1$  和  $p_2$  是两种情绪表达,则(1) 如果  $E_1 \rightarrow p_1, E_2 \rightarrow p_1$ ,则  $E_1 \cap E_2 \rightarrow p_1, E_1 \cup E_2 \rightarrow p_1$ ; (2) 如果  $E_1 \rightarrow p_1, E_1 \not\rightarrow p_2$ ,则有  $p_1 \neq p_2$ .

在下文情绪知识库的具体开发中,首先,构造情绪集合和情绪表达集合,然后,建立情绪映射作为情绪知识库,最后,对情绪和情绪表达进行相关性分析,以进一步简化情绪知识库.

### 2 情绪源的概念

情绪源是所有能够驱动虚拟人情绪行为的外部刺激物(例如,食物,爆炸现场等),对于某个情绪集合  $E$ ,其对应的情绪源可表示为一个有限集合  $O_E$ ,对于  $O_E$  中任何一个元素  $O_i \in O_E (i=1, \dots, v, v$  是  $O_E$  元素的个数),  $O_i$  的空间分布记为  $\Omega_i$ ,设虚拟人所在的三维空间点为  $Q(x, y, z)$ ,如果  $Q(x, y, z) \notin \Omega_i$ ,则刺激物  $O_i$  不能驱动虚拟人的情绪. 一般对于  $O_i$ ,设  $\Phi(O_i)$  代表一种情绪刺激的强度 ( $\Phi \in [0, 1]$ ),  $O_i$  的中心是指  $\Phi$  最大的点 ( $\Phi=1$ ).

虚拟人在某个时间段内的情绪状态可以用情绪集合描述,对于情绪集合  $E$ ,其中的任意元素  $e$  是情绪状态的描述语,如“高兴”等. 虚拟人抵抗  $e$  的强度记为  $C_e (C_e \in [0, 1])$ ,  $C_e$  愈大,表示虚拟人愈不易产生情绪  $e$ ; 反之,  $C_e$  愈小,表示虚拟人愈容易产生情绪  $e$ . 如果所有的  $C_e - \Phi(O_i) > 0 (i=1, \dots, v)$ ,则虚拟人在情绪源  $O_E$  作用下不产生情绪  $e$ ; 如果存在一个  $C_e - \Phi(O_i) \leq 0$ ,则虚拟人在情绪源  $O_E$  作用下产生情绪  $e$ . 根据生物学中愿望的可满足性原则<sup>[2]</sup>,一旦某种情绪触发,  $\Phi(O_i)$  要随时间减小,  $C_e$  随时间增大,结果导致情绪的迁移.

设  $U_i$  是从  $Q(x, y, z)$  到  $O_i$  中心的距离,  $t$  表示时间. 一般地,存在如下两种情况,第 1 种是  $\frac{dU_i}{dt} < 0$ , 表示虚拟人接近  $O_i$ ; 第 2 种是  $\frac{dU_i}{dt} > 0$ , 表示虚拟人躲避  $O_i$ .

### 3 情绪的状态迁移

本文采用有限状态机(Finite State Machine)来描述情绪的迁移,一般情绪状态可以采用三元组  $\langle P_E(t), E(t), B(t) \rangle$  表示,其中,  $P_E(t)$  是感知输入信息集合,包括情绪源和其他环境信息,  $E(t)$  是情绪状态集合,  $B(t)$  是输出行为集合. 对应地,存在两个映射:

$$L_1: E(t) \times P_E(t) \rightarrow E(t) \quad (1)$$

$$L_2: E(t) \times P_E(t) \rightarrow B(t) \quad (2)$$

$L_1$  称为情绪迁移映射,  $L_2$  是行为输出映射,  $L_1, L_2$  可以用产生式规则来构造,情绪的变化可以概括为图 2 的流程. 对于给定的虚拟环境,数据库包括了地图信息和虚拟人的初始信息,例如,虚拟人开始的位置、移动速度、运动方向等. 数据库还记录当前虚拟人和环境交互的状态,其中包括:虚拟环境物体位置、情绪源状态、行为状态、情绪状态、情绪表达等. 其中,行为集合除了包括情绪行为之外,还包括其他行为,如等待,搜索等.

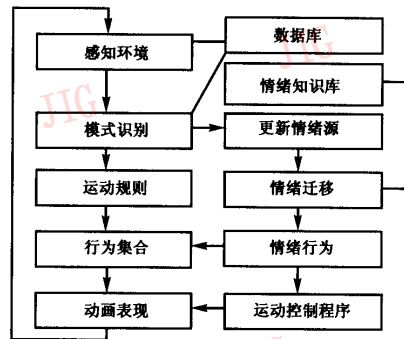


图 2 虚拟人情緒产生流程

### 4 虚拟人的姿态运动模型

为了能够有效地控制虚拟人的运动,本文采用关节链来模拟虚拟人骨架,即虚拟人采用分段的肢体模型拼装起来(如图 3 所示). 虚拟人的运动可采用逆运动学的方法具体实现,即通过控制关节链的转角来产生不同的身体姿态. 现以虚拟人最常见的行走运动为例,一般虚拟人行走的运动链方程可以概括为:

$$\Delta\theta = J^+ \Delta X + (I - J^+ J) \Delta Z \quad (3)$$

其中,  $\Delta\theta$  是关节的变量矢量,  $I$  是单位矩阵,  $J$  是雅可比矩阵,  $J^+$  是  $J$  的伪逆,  $\Delta X$  和  $\Delta Z$  是约束矢量.

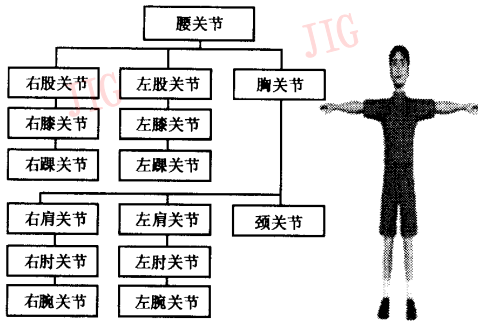


图 3 虚拟人的关节链

据研究,采用数值方法求解上述方程往往不能满足实时性的要求,为此,Deepak 提出了一种求解反向运动学的解析方法<sup>[15]</sup>,即虚拟人的四肢关节链可以简化为如图 4 所示运动链。其中, $S_1$  为肩关节或股关节,其自由度用角度  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$  来表示; $F$  为肘关节或膝关节,其自由度用角度  $\theta_4$  来表示; $S_2$  为腕关节或踝关节,其自由度用角度  $\theta_5, \theta_6, \theta_7$  来表示。若用  $T_1$  表示  $S_1$  从基坐标系到末端坐标系的旋转变换矩阵,则它是  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$  的函数。若用  $T_2$  表示  $S_2$  从基坐标系到末端坐标系的旋转变换矩阵,则它是  $\theta_5, \theta_6, \theta_7$  的函数, $T_f$  表示转动关节  $F$  产生的旋转变换矩阵,它是  $\theta_4$  的函数, $A$  是从  $F$  的基坐标系到末端  $S_1$  的平移变换矩阵, $B$  是从  $S_2$  的基坐标系到  $F$  的末端坐标系的平移变换矩阵, $G$  是末端效应器的目标矩阵,则运动链能够表示为  $G=T_1AT_fBT_2$ ,据此可以求出  $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6, \theta_7$ 。

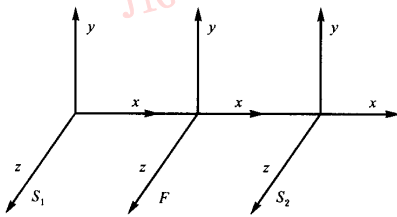


图 4 具有 7 个自由度的关节运动链

除了行走之外,虚拟人的其他复杂运动可以采用运动捕获的方法获取,目前,市场上已经有一些人体运动捕获的软件,甚至包括一些常见的人体运动捕获数据。本文编制了读取运动捕获数据的模块,从而可以实现虚拟人的各种动作。针对特定的虚拟环境,关键是要建立一个虚拟人的运动数据库  $M$ ,  $M = \{m_i\}, i = 1, \dots, L, L$  是  $M$  中记录的运动个数,  $m_i$  是一个运动捕获数据文件,它包含了虚拟人关

节的三维旋转的角度。

### 5 虚拟人的面部表情动画模型

与以往的面部表情动画研究<sup>[10]</sup>多侧重面部有所不同,本文将主要考虑如何将面部表情和全身的运动结合起来,并且放到三维虚拟场景中。借鉴心理学中普拉齐克的情绪分类方法<sup>[9]</sup>,该方法认为,人类有 8 种基本情绪,一般情绪是主体适应环境的心理工具,而且一切有机体均有 8 种基本的适应性行为,对人而言,这种适应性行为和情绪状态相一致,并按照一个转盘依次排列。其中,可认为情绪强度分布在圆盘上,圆心代表情绪强度为零,在圆的边缘情绪强度为 1,不同的基本情绪将圆盘划分为不同的扇区。目前被其他心理学家公认的基本情绪只有 6 种表情(惊奇、愤怒、藐视、高兴、悲伤和害怕,见图 5),  $\alpha$  为从右侧的水平轴逆时针旋转到当前圆盘位置的角度。采用几何变形的实现的基本表情见图 6。对于圆盘上任何一点的情绪,可根据  $\alpha$  确定它处在哪两个基本表情之间,设  $\alpha_{i+1}$  和  $\alpha_i$  分别为相邻的两个基本表情在转盘上的转角 ( $i = 1, \dots, 6$ ),  $I_{i+1}$  和  $I_i$  分别为相应的情绪强度,对位于  $i+1$  和  $i$  之间的情绪强度为  $I_{i,i+1}$ ,可先引入情绪混合系数  $\mu$ :

$$\mu = (\alpha - \alpha_i) / (\alpha_{i+1} - \alpha_i) \tag{4}$$

$$I_{i,i+1} = I_i\mu + I_{i+1}(1 - \mu) \tag{5}$$

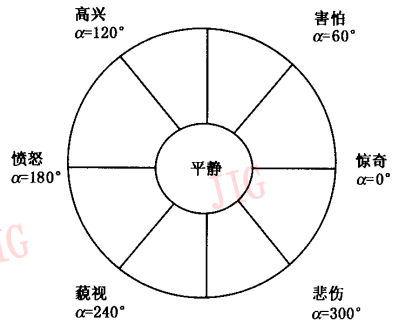


图 5 6 种基于表情的排列

然后根据  $\mu$  对相邻的基本表情几何变形进行插值,即可产生相应的表情变化。

为表现表情的不同状态,可再引入情绪类型指数  $k$ ,其可以设定为随机数,  $k_1, k_2$  为不同的界限值。如果  $0 < k < k_1$ ,则表情为静止状态;如果  $k_1 < k < k_2$ ,则驱动表情;如果  $k_2 < k < 1$ ,则驱动身体姿态。此外,

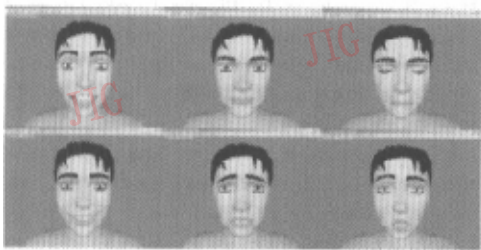


图6 采用 Direct3D 实现的基本表情动画帧

为了更好地表现虚拟人的面部表情,还增加了对眼球运动的控制,包括眼球的转动,眨眼等,见图7.



图7 采用 Direct3D 实现的眨眼动画帧

## 6 实验原型

在微机上进行了一个虚拟社区的三维场景实验,在该场景中不仅包括静态的物体,也包括动态的物体,如多个车辆和虚拟人.虚拟社区建立程序采用 VC6.0 调用 Direct3D 实现.虚拟社区建成后,用户就可以在三维场景中自由漫游,并可从不同的位置和角度观察虚拟社区中的虚拟人行为变化.其中,儿童角色的情绪源是马路对面的行人,成人角色的情绪源包括草地上的东西,行驶的车辆和歹徒,假设情绪刺激强度是到情绪源距离的函数,则情绪触发是根据到情绪源的距离具体拟定的.在虚拟场景中,角色的运动是通过在场景中设置一些运动控制点来实现的,即角色在这些运动控制点之间根据环境的变化进行运动.实验原型完整地实现了本文提出的动画模型,运行中的屏幕拷贝见图8~图13.



图8 儿童角色观察马路对面的角色



图9 儿童角色看到马路对面的角色微笑



图10 成人角色走到马路边警惕地四处张望



图11 成人角色感觉脚下有东西,低头观察

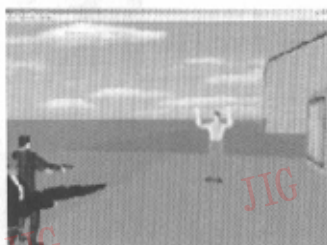


图12 成人角色突遇歹徒举手投降



图13 成人角色等待安全时机过马路

## 7 结论与展望

本文旨在增加虚拟人行为的个性,为此提出了虚拟人情绪行为动画模型,具体结果可以概括如下:

(1)情绪的外部原因称为情绪源,它用情绪刺激

强度来度量,如果一种情绪刺激的强度大于情绪的抵抗强度,那么这种情绪行为就会产生.

(2)为了构造情绪知识库,可采用集合的方法来表示情绪和情绪表达,同时还提出了情绪映射的概念.此外,采用有限状态机的概念,描述了情绪产生的流程.

(3) 实现了虚拟人身体姿态和面部表情动画的集成,虚拟人可以实时地表现各种姿态运动和表情。

(4) 完成了一个三维虚拟动态场景漫游引擎,并实时地绘制了虚拟人的行走和其他复杂动画,用户可以从不同角度观察虚拟人情绪的变化。

由于人类情绪产生过程的复杂性,因此研究仍有待进一步深化,希望在今后的研究中引入不确定推理技术来描述情绪和情绪表达之间的关系,并细化情绪源的概念,以适应复杂场景中虚拟人的情绪行为刻画。

### 参考文献

- Reynolds C. Flocks, herds, and schools: A distributed behavioral model [A]. In: Proceedings of SIGGRAPH'87 Conference[C], Anaheim, CA, USA, 1987:25~34.
- 涂晓媛著. 人工鱼——计算机动画的人工生命方法[M]. 北京:清华大学出版社, 2001:17~20.
- Tu Xiao-yuan, Demetri T. Artificial Fishes: Physics, Locomotion, Perception, Behavior [A]. In: Proceedings of SIGGRAPH'94 Conference[C], Orlando, FL, USA, 1994:43~50.
- Badler N, Phillips C, Webber B. Simulating humans: Computer graphics animation and control [M]. New York: Oxford University Press, 1993.
- Diane C, Manica C, Zhao Li-Wei *et al.* The emote model for effect and shape [A]. In: Proceedings of SIGGRAPH'2000 Conference[C], New Orleans, Louisiana USA, 2000:173~182.
- Hodgins J K, Wooten W L, Brogan D C *et al.* Animating human athletics [A]. In: Proceedings of SIGGRAPH'95 Conference [C], Los Angeles, CA, USA, 1995:71~78.
- Thalmann N M, Thalmann D (eds). Artificial life and virtual reality[M]. Chichester, England: John Wiley&sons, 1994:1~22.
- Musse S R, Thalmann D. Hierarchical model for real time simulation of virtual human crowds[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2001, 7(2): 152~163.
- 车文博主编. 当代西方心理学新词典[M]. 长春:吉林人民出版社, 2001:422~423.
- Parke F I, Waters K. Computer facial animation [M]. Wellesley, Boston, MA, USA: AK Peters, 1996:105~147.
- Bernstein D, Clarke S A, Edward J R *et al.* Psychology (forth edition) [M], Boston MA, USA: Houghton Mifflin Company, 1997: 359~377.
- 潘志庚, 张明敏, 许威威. 智能虚拟环境[J]. 系统仿真学报, 2001, 13(Suppl):152~155.
- 许威威, 潘志庚, 张明敏. 智能虚拟环境中的决策模型及其应用[J]. 中国图象图形学报, 2001, 6A(5):496~501.
- 许威威, 潘志庚, 葛云芳. 结合平衡控制的动作过渡算法[J]. 中国图象图形学报, 2002, 7A(9): 901~905.
- Deepak T, Ambarish G, Badler N I. Real-time inverse kinematics techniques for anthropomorphic limbs[J]. Graphical Models, 2000, 62(5):353~388.



**刘 健** 1965年生,副研究员,博士后,1996年获哈尔滨工业大学土木工程学院工学博士学位。目前研究方向为虚拟现实和计算机动画。



**潘志庚** 1965年生,研究员,博士生导师,1993年获浙江大学工学博士学位。主要研究方向为虚拟现实、分布式图形、智能虚拟环境。发表论文70余篇。