

虚拟人行走的动作融合

何志毅, 田金萍, 李天松, 陈名松

(桂林电子科技大学信息与通信学院, 桂林 541004)

摘要: 研究在行走时虚拟人动作与虚拟地形之间的交互性。通过碰撞检测来确定人体在地面之上的正确位置。利用动作融合的方法, 即将几个典型动作按合适的权重结合产生新的动作数据, 实时地驱动虚拟人并使之对环境变化的反应满足视觉上的逼真性。融合过程中各原始动作的权重取决于沿着和垂直于人体运动方向的2个地面坡度, 同时也通过对地形的几何分析来实现虚拟人对其周边地形的感知。

关键词: 虚拟现实; 虚拟人; 动作融合; 三维动画; Direct3D 图形

Motion Blending of Virtual Human in Walking Locomotion

HE Zhi-yi, TIAN Jin-ping, LI Tian-song, CHEN Ming-song

(Information & Communication College, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004)

【Abstract】 A study is performed on the interactivity of virtual humans with the virtual terrain during locomotion by walking. Collision detection is implemented to locate the walker correctly above the ground in the virtual world. Approach of motion blending is employed to generate new motion data to animate in real-time the virtual humans in a believable reaction to the change of environment. The blending weights of the walking motion are determined by the two gradients of the terrain along and across the locomotion direction. Geometric analysis on the terrain is also carried out for the virtual humans' perception to the terrain around.

【Key words】 virtual reality; virtual human; motion blending; 3D animation; Direct3D graphics

1 概述

如何模拟虚拟人对环境的感知能力和协调反应、体现虚拟人与虚拟环境之间的相互作用和影响, 以达到虚拟现实所要求的逼真性, 是虚拟人所面临的重大挑战之一^[1]。这些相互作用涉及大量的三维几何计算^[2], 虚拟现实同时要求满足三维渲染的实时性, 因此就要求以尽可能低的运算成本实现虚拟人的驱动及其对环境的感知能力。

通常通过载入动作库(motion library)中的动作数据来驱动虚拟人物^[3], 这样可以减小计算工作量从而保证处理人体运动的实时性, 但也会使得人物的动作重复化和非智能化, 并缺乏对环境主动和被动的应变能力^[4], 造成不真实的情况。而如在每一帧渲染中计算人物基于对环境的判断所采取的动作和发生的结果, 高昂的运算成本会造成人物驱动的实时性变得很困难。本文在坡度变化的虚拟地形环境中对虚拟人物沿任意方向行走的运动行为进行仿真, 通过动作融合(motion blending)^[5-7]的方法, 可较好地解决虚拟人的这一问题。

动作融合最常见的应用就是在角色动画的2个关键帧之间通过插值生成多个子帧(subframe)的动作^[5], 另外也可用来在虚拟人进行动作切换时产生中间动作从而保证不同动作之间平滑自然的过渡^[6-7]。也可将2个或多个动作融合生成新的动作, 使虚拟人对环境的变化作出合理的动作调整, 还可用于汽车在虚拟环境中的实时运动仿真^[8]。

2 基本方法

采用 Direct3D(D3D)环境对三维虚拟环境和人物进行渲染, 通过其 COM 接口 ID3DXMesh 创建的网面(mesh)来表达三维物体。以下对于所有三维顶点、矢量的处理和矩阵变换尽可能地采用基于 GPU 硬件加速的 D3D 函数, 并利用可编程渲染管道(shader 2.0)实现的阴影技术, 以便于观察虚拟环

境中人物与地面的位置关系并增强现实感。

三维物体的建模通过以下方式完成: 由物体2个垂直的典型截面轮廓的二维图形插值计算各三维顶点坐标, 然后再对这些顶点作局部的编辑, 从而得到与实际物体表面基本相同的网面。驱动虚拟人物的动作数据通过手工制作的方法获得, 对各关节动作数据(包括旋转角度、平移矢量和每2个关键帧之间的子帧数目)进行编辑、取值并以自定义的动画文件格式保存, 之后载入这些文件数据再插值得到每个子帧的动作数据, 由这些数据中的旋转角和平移矢量构建成变换矩阵, 作用于表征各肢体的 D3D 网面, 从而完成了对虚拟人物的驱动, 帧速为 25 fps。

3 结果与讨论

3.1 碰撞检测

无论是视频捕捉还是手工制作, 动作数据的获取一般是基于水平地面上人体的运动而完成的。完成了人体在一个周期的行走动作的数据采集并保存后, 就可以用这一套数据来驱动形体不同的虚拟人进行周期性的运动, 从而实现了在水平地面上的连续行走。然而, 在实际情况中经常遇到虚拟人在有坡度并且坡度变化的地面上沿任意方向行走的情况, 这时还完全靠水平地面上行走的动作数据来驱动人体, 就会发生与实际不相符的情况: 虚拟人要么在空中、要么埋在地面以下行走。为避免这种现象, 需要对支撑脚与地面之间进行准确的碰撞检测(collision detection), 得到脚的最低点(脚跟或

基金项目: 广西区教育厅基金资助项目(D200649)

作者简介: 何志毅(1965 -), 男, 教授、博士, 主研方向: 虚拟现实, 计算机三维图形; 田金萍, 硕士研究生; 李天松, 讲师; 陈名松, 教授

收稿日期: 2009-06-16 **E-mail:** hezhiiyi@guet.edu.cn

脚尖)与地面的偏差量,由此纠正躯体的位置,可以使人体支撑点准确地落在地面上。

碰撞检测主要分为距离计算和交叉检测 2 种方法^[3]。在此采用前一种方法:从虚拟人体上的几个代表顶点、在行走过程中显然取脚跟和脚尖最为合理,利用 D3D 相关函数可以得出这些顶点与地面的竖直距离,通过这个距离再修正人体的位置即可使虚拟人在行走过程中始终保持正确的位置关系。同时还可得到所在 D3D 三维网面的三角形面元的索引,以便在以下的计算中访问这个三角形的顶点数据从而得出其法线方向。

3.2 动作随坡度的调整

以上方法虽然解决了下肢与地面的碰撞问题,由于虚拟人要在任意曲面、任意坡度的地面沿任意方向行走,很难采取一套固定的动作来进行,即使在具有很大坡度的地面上,虚拟人仍采用在水平地面上行走时制作的动作。这样看起来还会明显感觉与实际情况不符,就像失重状态在太空中行走一样,这是因为没有考虑到人体在上坡时克服重力、或下坡时抵抗重力的动作。原则上也可通过实时的动力学计算,来实时地生成在任意地形环境中运动的三维人体的动作。但这种方法需要耗费很大的运算成本,尤其是多个虚拟人出现的情况下。而且,通过这些运动学计算方法生成的动作会显得比较机械,一般很难产生自然的动作^[9]。利用动作融合的方法可以较好地解决这一问题,它可以将动作库里现有的多个动作数据进行线性组合生成一套新的动作数据 A ,即可得到在 2 个典型动作 A_1 和 A_2 之间的中间插值动作:

$$A = A_1 \cdot (1.0 - \alpha) + A_2 \cdot \alpha \quad (1)$$

其中,浮点数 α 取值 0~1.0。式(1)表示这 2 个动作所包含的所有对应的旋转角度和平移矢量各自进行线性组合。改变插值参数 α 便可使人体动作在 A_1 和 A_2 之间调整,以获得虚拟人对环境的反应能力,或完成指定的目标任务。

如果要采取这种方法,首先要求应用于虚拟人的动作库中存有覆盖所有动作和动作幅度的基本动作。对于行走动作,基本动作除在水平地面上的行走动作外,如果要构成虚拟人在不同坡度地面上行走的任意动作,还应包含上坡和下坡的行走动作。假设人能直立行走的最大坡度为 45° 角,制作了 45° 上下坡的 2 个基本动作 A_{+fb} 和 A_{-fb} ,如图 1(a)所示,虚拟人在上坡时前方的下肢弯曲形成的力矩可以克服上半身的重量,下坡时后面的下肢作较大弯曲且重心靠后以抵抗重力防止下滑。那么虚拟人在任意坡度 θ 上的行走时就可以由这 2 套基本动作与水平行走动作 A_0 融合所产生。

$$\begin{cases} A = A_{+fb} \cdot \text{tg} \theta + A_0 \cdot (1.0 - \text{tg} \theta) & \theta > 0 \\ A = A_{-fb} \cdot \text{tg} \theta + A_0 \cdot (1.0 - \text{tg} \theta) & \theta < 0 \end{cases} \quad (2)$$



(a)上、下坡的行走 (b)沿坡度横向的行走

图 1 45°坡地上虚拟人的行走动作

除前后的上下坡角度 θ 以外,还应考虑人体的左右即与行走方向垂直的方向上地面的坡度 φ 造成对行走动作的调整。例如虚拟人在 45° 坡度上沿着该坡度平面与水平面相交直线行走时,沿行走方向上的坡度 $\theta=0$,左右方向上的坡度 $\varphi=45^\circ$,人体位于地势高的下肢各关节会做较大的弯曲以避免与地面磕碰,如图 1(b)所示;同时另一下肢会更多地向下伸展以减少脚底与地面的距离,把这种情况与相反方向的行走动作保存作为另外 2 个基本动作 A_{+lr} 和 A_{-lr} ,那么在左右方向 $+45^\circ \sim -45^\circ$ 坡度之间行走的基本动作可表示为

$$\begin{cases} A_{lr} = A_{+lr} \cdot \text{tg} \varphi + A_0 \cdot (1.0 - \text{tg} \varphi) & \varphi > 0 \\ A_{lr} = A_{-lr} \cdot \text{tg} \varphi + A_0 \cdot (1.0 - \text{tg} \varphi) & \varphi < 0 \end{cases} \quad (3)$$

综合考虑在前后与左右方向上地面的坡度对行走动作的影响,可以先由式(3)合成的动作 A_{lr} 替代式(2)中的 A_0 ,再由式(2)得到动作,这就是同时考虑到了 2 个方向坡度影响的虚拟人行走的合理动作,用这样的动作驱动在坡度变化的地面沿任意方向行走的虚拟人,给观察者充分可信的真实感,如图 2 所示。



图 2 动作融合的效果

3.3 虚拟人对虚拟环境地形的感知

在现实中,人如果在坡度变化的地面上行走时首先同样需要对眼前地面坡度作出判断,然后再作出合理的行走动作,否则会在地面磕碰或踩空甚至会摔倒。将这一智能化的过程模拟到虚拟世界中,就是首先要得出虚拟人所在点 D 的地形曲面的法线方向 $n(n_x, n_y, n_z)$,这可由碰撞检测时获得的交点所在三角形面元序号数直接访问其顶点而得到。在图 3 中的水平地面上,虚拟人行走方向可以表示为 $v(v_x, 0, v_z)$,如果地面不是水平面,则需要计算行走方向 $v(v_x, v_y, v_z)$ 的 y 分量才能得出坡度值 θ (v 处于 D 点地形曲面的切平面内)。位于地形切平面的矢量 $v(v_x, v_y, v_z)$ 与法线 n 垂直,它们点乘的结果为 0:

$$n \cdot v = 0 \quad (4)$$

由此得到:

$$v_y = -(v_x n_x + v_z n_z) / n_y \quad (5)$$

将之归一化为 $v(v_{x1}, v_{y1}, v_{z1})$,由 $\sin \theta = v_{y1}$ 可以求出。而与行走方向垂直的矢量就是 n 与 v 这 2 个矢量叉乘的结果:

$$v' = v \times n \quad (6)$$

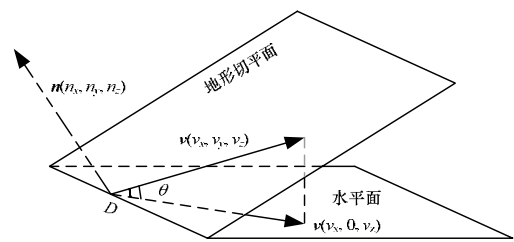


图 3 地形曲面切平面内 v 与水平面夹角的关系

(下转第 271 页)