

虚拟人合成研究综述

王兆其

(中国科学院计算技术研究所, 北京 100080)

摘 要 介绍了虚拟人合成的主要应用与研究内容, 虚拟人的几何表示方法与标准, 虚拟人的行为建模与实现方法, 以及目前几个典型的虚拟人合成系统.

关键词 虚拟人合成, 人体动画, 虚拟现实

虚拟人(virtual human 或 computer synthesized characters) 是人在计算机生成空间(虚拟环境)中的几何特性与行为特性的表示^[1, 2, 3, 4, 5], 是多功能感知与情感计算的研究内容. 可以广泛应用于人机交互、运动表示、人机功效、视频压缩、游戏娱乐、军事训练、数字图书馆等领域. 例如, 进行车辆、太空舱等产品与环境的辅助设计时, 将参与者“嵌入”虚拟环境中去, 作为他们在虚拟环境中存在的表示, 可以进行先期人机功效的评估与分析. 准确地说, 虚拟人具有如下特点:

(1) 有自身的几何模型, 在计算机生成的空间与时间内, 有自己的几何与时间特性. 三维虚拟人是指其自身模型及其所在的空间均为三维的;

(2) 可以与周围的环境交互作用, 感知并影响周围环境;

(3) 虚拟人的行为可以由计算机程序控制, 这种虚拟人被称为智能体(agent). 虚拟人的行为也可以由真实人控制, 此时虚拟人被称为真实人的化身(avatar). 但不论何种情况, 其行为都必须表现出与真实人一致的特征;

(4) 虚拟人之间或虚拟人与真实人之间可以通过自然的方式交流. 例如, 可以用自然语言或人体语言(手势)进行交互作用.

本文介绍了虚拟人生成的研究背景、应用领域、研究内容和目前的发展趋势, 并介绍了几个重要的虚拟人合成系统.

1 虚拟人合成的研究背景与内容

人是社会的主体, 也是应用需求的主要来源. 当今社会, 人们越来越重视人类自身的生命安全, 以及与环境和谐相处. 在解决许多重大的实际问题时, 有许多内容都涉及到人类自身的应用研究. 例如载人航天、核反应堆维护、包括新武器系统在内的大型产品的设计研制、多兵种军事训练与演练、医疗手术的模拟与训练等, 都需要考虑参与者的人身安全、人与生存空间之间的关系, 以及人体行为的理解与认知分析. 用传统方法解决这些问题, 不仅要花费巨额奖金资金, 而且要承担人员伤亡. 三维虚拟人合成技术则为解决这些问题提供了新方法、新途径.

收稿日期: 2000-10-26

基金项目: 国家自然科学基金重点基金资助项目(69789301)

作者简介: 王兆其, 男, 1966 年 4 月生, 博士, 副研究员

1.1 虚拟人合成的应用

根据 N. Badler 的总结, 三维虚拟人生成的研究至少来源于 6 个不同的应用领域^[1]:

(1) 工作空间评估(workplace assessment). 在设计新的工作环境(如太空飞船或太空舱)时, 设计师们或人机功效分析师(ergonomics analysts)常常需要先研究、评估、分析并审视(visualize)人在其中的操作性能, 以及评估设计是否合理, 并在真正建造该环境之前, 及早发现设计上的缺陷, 及时修改. 应用虚拟人合成技术, 将虚拟人加入到虚拟人工作环境中, 并通过虚拟的交互, 进行动态测试, 可以评估测试设计方案的合理性与设计环境的舒适性.

(2) 碰撞分析(crash simulation). 汽车与飞机的安全性能一直是人们十分关心的问题, 分析这些交通工具在意外碰撞事故中对乘客的伤害, 一直是汽车与飞机等现代交通工具设计的一个重要课题. 常用的方法是建造一些实物模型, 甚至打造一些真实的实验性产品, 并在其中放置一些假人模拟乘客, 进行真实的碰撞实验, 并分析模拟乘客在各种碰撞下所受的伤害. 这种方法的主要缺点是耗资大, 周期长. 应用虚拟人生成技术, 并用计算科学的方法分析它在不同条件下所经受的碰撞与伤害, 并用先进的计算图形学方法将整个计算结果显示出来, 可以大量减少实物仿真的次数, 为节省经费, 缩短设计周期, 发挥重要的作用.

(3) 运动分析(motion analysis). 对运动员或肢残人运动进行跟踪, 并在事后进行重现分析, 可以使他们的动作更加完美或更加有效. 常用的方法是用摄像机获取他们的运动图像, 并根据这些运动图像中的二维信息重构他们的三维运动数据, 根据这些数据分析他们的姿态、运动速度、加速度、所受力矩和力, 并用三维虚拟人的方法显示出来.

(4) 运动表示(movement notation). 在辅助教学、体育训练、事件记录中, 如何记录完整全面的人体运动信息一直是人们十分关心的课题. 传统的记录方法主要是基于视频的方法, 但这种方法只能提供人体运动某一个侧面的运动信息, 如果要记录多个视角的人体运动信息, 需要用多架摄像机同时从不同侧面去拍摄一个人体运动场景. 即使如此, 也只能得到几个有限的视角信息. 为了解决这个问题, 可以研究三维的虚拟人合成方法, 并用三维虚拟人来显示人体的运动, 如舞蹈、体操、武术等.

(5) 娱乐(entertainment). 将三维虚拟人加入到各种娱乐环境和游戏中, 一直是人们感兴趣的课题.

(6) 运动理解(motion understanding). 人体运动有时还是一种可视语言, 如聋人手语, 有时甚至与自然语言同时使用. 运动理解中有两项研究内容: ① 人体运动理解^[9]. 即观察人体的运动, 理解或识别其所表达和传递的含义. ② 人体运动表述^[7]. 根据自然语言描述, 生成相应的运动, 即讲故事(story telling).

到目前为止, 虚拟人合成的应用已远远超出了上述 6 个领域, 并被广泛应用于其他多个方面:

(1) 虚拟会议(virtual-conferencing): 使用虚拟人表示参与者建立有效的远程会议可以减少远程会议对网络带宽的要求.

(2) 交互应用(interaction): 生存于虚拟世界中的人体可以支持人体之间的行为交互, 如手势语交互^[8].

(3) 监控(monitoring): 感知、解释、理解人体运动、操作、行为过程中的运动数据, 以及人的意图.

(4) 虚拟环境(virtual environments): 虚拟人可以用作真实人在虚拟环境中可视化、分析、训练或体验的替代品.

(5) 训练(training): 主要训练参与者的操作技能、团队协作和决策能力. 如虚拟战场环境中的单兵系统.

(6) 教育(education): 实现远程指导, 交互式辅导和个性指导.

(7)军事仿真(military): 如有单兵参与的战场仿真, 小分队协同作战仿真, 和平谈判中的态势分析.

1.2 虚拟人合成的研究内容

三维虚拟人合成的研究内容可以分为两大类:

(1)虚拟人的几何表示方法^[2, 9~13]. 主要研究虚拟人在计算机生成空间中的几何表示, 其目的是在计算机生成空间中创建虚拟人的计算图形模型, 表示虚拟人在虚拟环境中所占据的几何空间. 虚拟人的几何表示必须满足三维虚拟人在外观与行为特性等方面的逼真性要求.

(2)虚拟人的运动控制方法^[3, 14~18]. 虚拟人运动控制方法的研究目的是实现逼真的虚拟人运动或虚拟人动画, 目前主要的研究热点是虚拟人肢体的运动和虚拟人脸的运动.

2 三维虚拟人几何表示方法

2.1 虚拟人表示方法

早期的人体表示几何建模常采用以下几种方法: 棒模型, 表面模型, 体模型. 棒模型是将人体轮廓用棒图形和关节表示^[37]. 棒模型很难区分遮挡情况, 表示的真实感较差, 此外, 对扭曲和接触等运动无法表示. 表面模型是由一系列多边形或曲面片的表面将人体骨骼包围起来表示人体外形. 主要有多边形(polygon)法、Bezier 曲面法和有限元法. 体模型是由基本体素的组合来表示人体的外形, 基本体素可以是圆柱体, 椭球体, 球体等. 例如, Badler 使用 300 多个球体表示人体外形^[19]. 体模型方法表示人体的运动情况时, 虽然计算简单方便, 所需内存较少, 但无法表示表面的局部变化, 逼真度不够.

为了克服上述单个方法的不足, 目前形成了一种分层虚拟人表示方法^[12], 如图 1 所示. 该方法综合了上述几种方法的优点, 可以满足不同层次的逼真性要求.

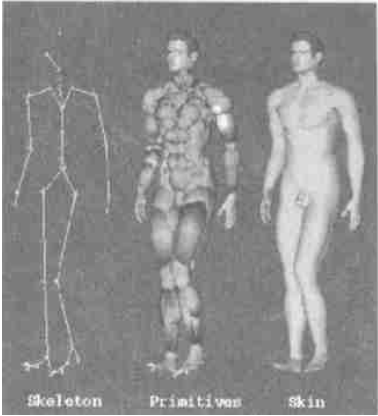


图 1 分层人体表示模型

在这样一种分层表示模型中, 一个虚拟人模型由基本骨架(articulated skeleton)、肌肉层(muscle)和皮肤层(geometric skin), 有时也加入一层服饰层, 表示虚拟人的头发、衣饰等人体装饰物品. 其中的基本骨架由关节确定其状态, 决定了人体的基本姿态. 肌肉层确定了人体各部位的变形, 皮肤变形受肌肉层的影响, 最后由皮肤层确定虚拟人的显示外观.

2.2 虚拟人表示的国际标准

为了便于不同情况下制作的虚拟人之间实现交互与共享, 目前两个重要的国际标准 VRML 和 MPEG4 都开始支持虚拟人表示.

2.2.1 VRML 中虚拟人的表示

VRML 是一种虚拟现实建模语言(virtual reality modeling language),它主要是用于在 Internet 上表示并传递三维虚拟场景和虚拟物体.虚拟人是虚拟现实的类主要对象,为了支持不同环境创建的虚拟人之间的互操作与共享,VRML 中有一个专门的子标准描述虚拟人模型,称为 H- Anim,该标准完全遵循 VRML 的语法(<http://ece.uwaterloo.ca/~h-anim/>).

H- Anim 中使用三类节点(node)表示一个虚拟人体模型:人体重心(humanoin)、人体关节(joint)和人体骨骼段(segment),并把整个人体分成 1 个人体重心、77 个关节和 47 个骨骼段.另外,还使用 VRML 中的几何模型表示方法定义了每个肢体(即骨骼段)的几何模型.每个骨骼段(segment)的位置都在其所在的关节,而每个几何模型依附于相应的骨骼段,这些元素组成一个完整的虚拟人模型(在 VRML 中称这些元素为节点 node).如图 2 所示:



图 2 VRML 中虚拟人的表示

虚拟人的骨骼段之间由关节相联,人体重心、每个骨骼段以及关节的运动会影响到与它相联的其他节点的状态.例如,人体重心的运动影响全身关节的运动,而肩关节的运动将影响整个手臂关节的运动.事实上,H-Anim 将整个人体各部分之间的关系表示为如图 3 所示的一棵树,并以人体重心为根结点,以关节为节点,以骨骼段为连线.

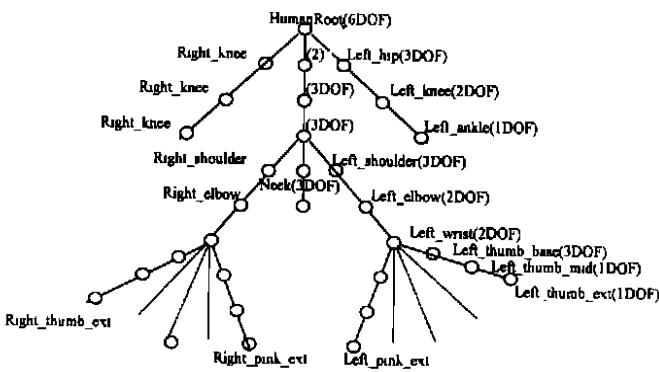


图 3 H-Anim 虚拟人的树状表示

2.2.2 MPEG4 中虚拟人的表示

MPEG4 version 2 中开始提供对 Body Object 的支持. ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11 N2802 对人体的定义是这样的:“人体模型(a body model)是虚拟人或类似角色的表示,可以描述人体运动,实现非语言交流,并实现一般人体行为.”MPEG body 由一组节点(nodes)组成,其顶层节点 bodyNode 至少包括两个子节点:表示人体运动的参数(body animation parameters, BAP)和表示人体模型定义的参数(body definition parameters, BDP),如图 4 所示.

人体运动参数 BAP 包含 296 个描述虚拟人骨架拓扑结构的参数, 这些参数可以应用于 MPEG4 兼容的虚拟人体, 并生成相同的虚拟人运动。

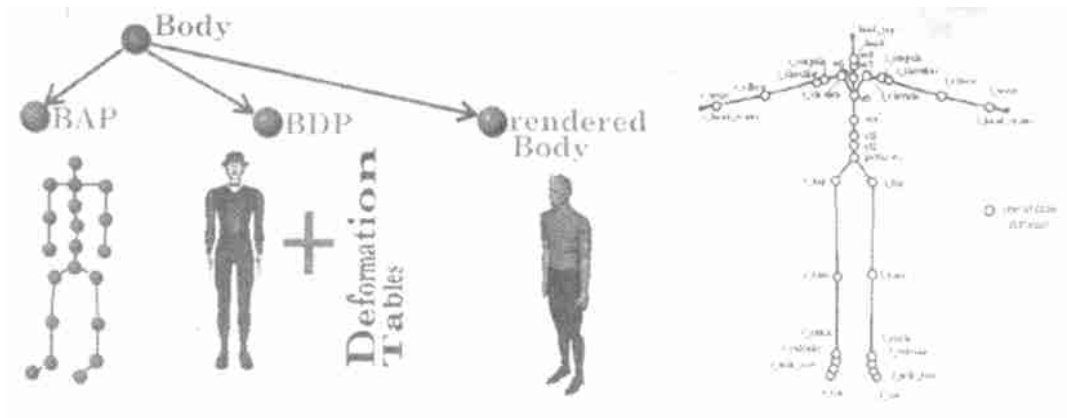


图 4 MPEG4 中虚拟人表示

3 三维虚拟人行行为建模方法

虚拟人除了有几何属性外, 还需要有逼真的行为特性, 即虚拟人的姿态与表情随时间的变化关系^[20~24]。

虚拟人的行为特性需要满足物理力学规律, 是一种物质的运动, 同时也是人的一种智能活动, 反映了人的智能思维^[18, 25~28]。因此, 虚拟人的行为可以分为简单行为(动作)和智能行为(例如, 寻找目标, 路径规划等)。

虚拟人运动控制方法可以分为低层(low level)方法与高层(high level)方法。低层方法在控制虚拟人运动时, 直接指定虚拟人运动参数, 如关节角度值或每个关节的位置。高层运动控制方法则是在低层运动控制方法的基础上, 控制虚拟人的运动, 如虚拟人行走, 可以指定行走的速度、方向等。

3.1 虚拟人简单行为建模

人体是一个复杂的生命体, 从生理解剖的角度来分析, 大致可以分为骨架、肌肉和皮肤三层。人体骨架由人体骨骼通过关节链接而成, 骨骼相对变形小, 骨架的运动主要是由肌肉收缩并牵动所附骨骼产生的。人体骨架基本上决定了人的身体的姿态。关于人体骨架的逼真运动生成方法目前主要有以下几类:

(1) 关键帧方法(Keyframe)^[3, 14, 29]。关键帧方法(parametric keyframe animation)由过去的关键帧动画技术演化而来。给定人体运动过程中的一些关键姿态(关键帧)后, 该方法在生成人体运动时, 自动计算出两个关键姿态之间的若干中间姿态(中间帧)。与原有关键帧动画技术不同的是, 原有的关键帧动画技术是针对 2D 画面设计的, 其关键帧与中间帧均是 2D 平面上的图象, 而人体运动关键帧生成方法是一种 3D 方法, 其关键帧与中间帧均指人体运动状态的关键姿态, 一般是描述人体姿态的状态值, 例如该姿态下各关节的角度。有时为区别与传统关键帧方法的区别, 又称这种方法为参数化关键帧方法。

这种方法简单直观, 但人体有近百个自由度, 手工给出每个关键姿态下的每个自由度是非常困难的, 且其物理逼真性也难以验证。

(2) 逆运动学方法(Inverse kinematics)^[16, 30, 31]。机器人学中处理链杆运动时, 有两类方法: 正运动学方法(forward kinematics)与逆运动学方法(inverse kinematics)。正运动学方法可以从给定各关节的角度计算出各杆的位置与方向。而逆运动学方法则与之相反, 它在给定链杆末端(end effector)的位置

与方向时,计算出各关节的位置与方向。

确定人体姿态时,应用逆运动学方法,只需要指定各肢体末端的位置与方向,便可计算出各关节角度。与关键帧方法相比,它所需指定的状态变量显然少多了。

但是,当一个链杆的自由度数多于 6 个时,仅指定链杆末端的位置与方向(6 个自由度)则还不能完全确定整个链杆的状态,此时还需要采用一些其他辅助方法,如假设链杆从一个状态到另一个状态时,只作最小的移动。当然,此时的运动就不一定与真实人体运动完全一致。另外,这种方法的计算量比较大,而且,其生成运动的逼真性仍然依赖于人的手工操作,难以验证。

(3)动力学方法(dynamics)^[32~34]。关键帧方法与运动学方法在生成人体运动时,都没有使用人体所受力与力矩,因此,其逼真性完全依赖于制作人员的艺术水平,物理逼真性难以验证。动力学方法则是根据人体各关节所受的力与力矩,计算出人体各关节的加速度、速度,最后确定人体运动过程中的各种姿态。

与关键帧方法和运动学方法相比,使用动力学方法生成的运动符合物理规律,具有物理逼真性。但该方法要求运动控制人员确定人体各关节所受的力与力矩,通常比较困难。为此,常需要使用逆动力学方法或基于约束的方法。

(4)过程方法(procedure)。对于一些周期性的人体标准运动,如行走、跑步, Boulic 等人根据实验数据,建立相应的经验公式,以此生成虚拟人体运动^[30]。该方法可以根据人体特征(如身高、腿长),以及运动特征(如速度),确定具体的人体运动。因为这种方法直接根据真实人体运动提取特征,因此具有很好的逼真性,而且易于控制。当然,这种方法的适用范围有限。

(5)运动捕获方法(motion capture)^[3, 15, 17, 35~38]。这是一种虚拟现实方法,采用先进的传感器,实时跟踪人体运动,由此可以实时控制虚拟人的运动。将这些运动数据记录下来,进行合成,还可以生成新的虚拟人体逼真运动。图 5 显示了两主要的运动跟踪方法。

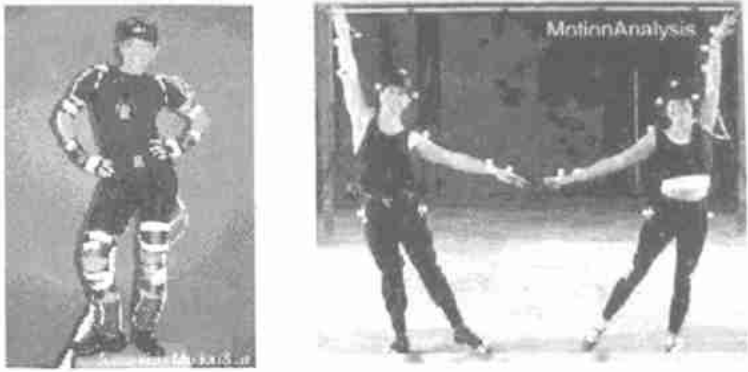


图 5 两种主要的运动跟踪方法

3.2 运动合成方法

应用上述运动建模方法,可以生成大量逼真的运动片段,但人体运动相当复杂,运动的方式也千变万化。为了在已有运动的基础上,生成更为复杂的虚拟人运动,常常需要对已有的运动进行运动合成。常用的虚拟人运动合成方法有^[3]:(1)运动修剪(motion dipping)。从一段已有的运动中取出某一段运动,生成一个新的运动片段。(2)运动仿射变换(Affine)。对一个运动的时间进行整体平移或缩放,生成新的运动。(3)时间扭曲(time-warping)。对时间进行局部的平移与缩放,生成新的运动。(4)运动镜像(mirroring)。即变换一个已有运动的左右方向。(5)运动混合(composition)。将多个人体

运动混合在一起, 例如, 将一个行走运动与一个打招呼的运动混合在一起, 可以生成一个边行走、边打招呼的新运动. (6) 运动连接(concatenation). 将多个运动按一定顺序拼接在一起. (7) 运动选择(selection). 将一个已有运动的某些关节运动关闭, 保留另外一些关节的变化. (8) 周期运动(cyclification). 将已有的运动规范化, 使之可以循环变化, 生成新的可以长期播放的新运动, 如行走、跑步等.

3.3 虚拟人复杂行为建模

运动合成的方法可以将简单的人体运动合成为比较复杂的人体运动, 如果要生成更为复杂的虚拟人运动, 甚至要使虚拟人的运动可以根据环境的变化而作适当的智能处理, 上述方法便不够了, 为了处理这种情况, 需要更为复杂的虚拟人行为建模方法.

为了实现这个目的, Badler 采用了一种称为并行传输网络(Parallel Transition Networks, 简称 Pat-Nets)的运动控制方法^[1]. 其中, 网络节点表示处理过程, 弧表示谓词、条件、规则或其他引起过程转换的函数. 过程或网络之间通过消息传递(message-passing)或全局变量黑板(global variable blackboards)等方式相互影响.

使用这种 Pat-Nets 生成新的虚拟人运动时, 不仅应用了并行组织结构, 而且使用了一种条件结构. 传统的动画工具主要使用线性的时间序列来组织各种运动片段, 而 Pat-Nets 中则使用了一种非线性的运动模型, 每个运动片段可以在转换到其他节点时触发、修改或停止. 这对于实现一些自主行为与交互式虚拟人运动是非常关键的.

Rose 也提出了一种类似的运动转换图(the verb graph)^[3], 实现不同人体动作与行为之间的跳转, 合成逼真的人体动画.

4 典型虚拟人合成系统

4.1 DI Guy

DI Guy 是由 Boston Dynamics, Inc. 开发的一个虚拟人合成软件(<http://www.bdi.com/diguy.html>), 应用该软件可以在实时的仿真环境中加入虚拟人. 每个虚拟人可以作逼真运动, 可以响应简单命令, 并在引导下在环境中漫游. 不需要动画师的控制, DI-Guy 可以自动驱动每个角色, 并且可以完成从一种人体行为到另一种人体行为的自然逼真转换. 该软件最初是为军事仿真中战士角色仿真实现的, 但现在已经包含了多种角色的仿真, 如: 男性与女性、飞行甲板人员、防化人员(chem/bio)、以及体育人员的仿真等.

DI Guy 开发的虚拟人可以与虚拟环境及环境中的其他角色实时交互. 为了达到实时交互的效果, 采用了多种优化技术, 如运动缓存、细节层次转换、运动层次转换和任务级的控制. 这些技术使得系统可以同时控制多个虚拟人体的运动.

另外, DI-Guy 是基于 DIS/HLA 实现的, 用 DI-Guy 开发的虚拟人可以加入到由美国陆军、海军和潜艇部队开发的符合上述标准的分布交互仿真等虚拟战场环境中.

4.2 VLNet

VLNet(Virtual Life Network, 虚拟生命网络)由瑞士联邦技术研究所(the Swiss Federal Institute of Technology, EPFL)计算机图形实验室(LIG)研究开发的一个网络化虚拟人合成系统^[2]. 系统支持多个用户同时加入到一个共享网络虚拟环境中, 这些用户可以与环境或其他用户实时交互, 每个用户在虚拟环境中有一个虚拟人作为其替身参与虚拟环境中的活动, 虚拟人与真实人有相似的外表与行为特性, 以此支持用户在虚拟环境中的临场感.

VLNet 有很好的灵活性, 用户从命令行中简单地选取不同 VLNet 驱动的组合后, 便可以选择不同的方式用多种设备漫游虚拟环境, 例如, 用 Flock of Birds 传感器控制虚拟人体的姿态, 用实时视频分析的方法, 或从表情菜单中选取的方法, 控制虚拟人的脸部表情.

4.3 JACK

JACK 是美国宾夕法尼亚大学人体仿真与建模中心(Center for Human Modeling and Simulation)研制的一个虚拟合成软件系统^[1], 该软件可以将导入设计好的 CAD 模型作为虚拟世界, 并在其中放入多个虚拟人, 控制他们的运动, 以此在图形工作站上支持虚拟人的定义、定位、动画以及人的因素分析. 为有效控制虚拟人的运动, 系统还提供了多种复杂人体运动交互控制手段, 如运动约束, 人体平衡, 碰撞检测与碰撞响应, 行走, 抓取(grasping). 除了用鼠标、菜单和键盘等方式控制虚拟人运动外, Jack 还支持运动跟踪的方法, 感知真实用户的运动, 并用感知到的运动数据控制虚拟人的运动. JACK 具有以下功能:

- (1) 具有完全关节化的虚拟人体, 可以在三维环境中实时控制其运动, 虚拟人具有真实的运动自由度, 每个关节的运动范围有真实的解剖学模型;
- (2) 有不同精度的虚拟人体模型;
- (3) 有完全关节化的虚拟人手, 可以实现接触与抓取(reach and grasp)等手的精细行为;
- (4) 可以对虚拟人体模型进行动力学分析;
- (5) 具有指定虚拟人姿态与运动转换的命令;
- (6) 可以快速生成事件或人体行为的动画, 并实时预览;
- (7) 可以进行走与人体平衡控制;
- (8) 可以实现人体表面的自由变形, 如拉伸、弯曲、扭曲等.

4.4 JointMOTION

JointMotion 是中国科学院计算技术研究所数字化技术研究室开发的一个虚拟人运动合成系统. 应用 JointMotion, 使用定位跟踪器和数据手套, 可以同时测量并计算出人体双手肩关节、肘关节以及各手指指关节的角度、人体颈部关节的角度, 并以此确定人体上肢(包括头部)的运动.

JointMotion 控制人体手臂运动时, 每只手上只有一个 6 自由度接收器, 用来直接感知人体小手臂的位置与方向. 人体大手臂的位置与方向通过逆运动方法计算得出. 由此可以计算出肩关节与肘关节的状态. 手腕以及手指的状态则由数据手套确定. 因此, JointMotion 中使用一个传感器与一只数据手套, 就可以完全确定一只手的肩关节、肘关节、腕关节以及各手指的状态. 这种方法不仅可以完全确定地控制手的运动, 而且应用的传感器数目很少.

JointMotion 还提供了一个基于 VRML 的虚拟人显示工具, 同样的运动数据可以驱动不同的 VRML 虚拟人表示模型. 实际上, 应用 JointMotion, 我们已经开发了一个中国聋人手语运动合成系统.

虚拟人合成研究涉及到计算机图形学、运动学与动力学、多功能感知、人工智能、虚拟现实等多个学科, 是一个交叉应用学科, 而且具有很多实际应用背景. 由于人体本身的复杂性以及目前计算资源的有限性, 虚拟人合成中仍然存在许多需要解决而亟待解决的问题, 虚拟人合成一直是目前计算机应用领域的一个研究热点. 本文介绍了虚拟人合成的应用领域与研究内容, 并主要介绍了虚拟人几何模型表示与运动控制方法两方面的研究状况.

参 考 文 献

- 1 N I Badler, C B Phillips, B L Webber. Simulating Humans: Computer Graphics, Animation, and Control. London: Oxford University Press, 1999
- 2 T K Capin, I S Pandzig, H Noser, N M Thalmann, D Thalmann. Virtual Human Representation and Communication in VLNET. IEEE Computer Graphics and Applications, 1997, 17(2): 42~53
- 3 C F Rose. Verbs and Adverbs: Multidimensional motion interpolation using radial basis functions; [PhD thesis]. Princeton University, 1999

- 4 N Badler, R Bindiganavale, J Bouma, J Allbeck, J Shi, M Palmer. Real time virtual humans. In: International Conference on Digital Media Futures. UK: Bradford, 1999
- 5 W Fetter. A Progression of Human Figures Simulated by Computer Graphics. IEEE computer graphics and Applications, 1982, 2(9): 9~13
- 6 Y Nam, D Thalmann, K Wohn. A Hybrid Framework for Modeling Comprehensible Human Gesture. In: Proc 1999 International Conference on Computational Intelligence for Modeling, Control and Automation, 1999
- 7 R Bindiganavale, W Schuler, J Allbeck, N Badler, A Joshi, M Palmer. Dynamically Altering Agent Behaviors Using Natural Language Instructions. In: Autonomous Agents 2000. 2000. 293~300
- 8 A G Vuilleme, T K Capin, I S Pandzio, N M Thalmann, D Thalmann. Non-verbal Communication Interface for Collaborative Virtual Environments. The Virtual Reality Journal. Springer, 1999, 4: 49~59
- 9 T K Capin, I S Pandzio, H Noser, N M Thalmann, D Thalmann. Virtual Human Representation and Communication in Networked Virtual Environments. IEEE Computer Graphics and Applications, 1997, 17(2)
- 10 P Fua, R Plinkers, D Thalmann. Realistic Human Body Modeling. In Fifth International Symposium on the 3-D Analysis of Human Movement, Chattanooga, TN, 1998 11 W Maurel, Y Wu, N M Thalmann, D Thalmann. Biomechanical Models for Soft Tissue Simulation, Espirit Series. Springer Verlag, 1998
- 12 D Thalmann, J Shen, E Chauvneau. Fast Realistic Human Body Deformations for Animation and VR Applications. In: Proc. Computer Graphics International 96. IEEE Computer Society Press, 1996. 166~174
- 13 P Fua, A Gruen, R Plinkers, N D'Apuzzo, D Thalmann. Human Body Modeling and Motion Analysis from Video Sequences. In: Proc. International Symposium on Real Time Imaging and Dynamic Analysis. Japan: Hakodate, 1998
- 14 Z Y Huang. Motion Control for Human Animation; [PhD thesis]. Lausanne (EPFL): Swiss Federal Institute of Technology, 1996
- 15 M Cavazza, R Earnshaw, N M Thalmann, D Thalmann. Motion Control of Virtual Humans. IEEE Computer Graphics and Applications, 1998, 18(5): 24~31
- 16 R Boulic, P Becheiraz, L Emering, D Thalmann. Integration of Motion Control Techniques for Virtual Human and Avatar Real-Time Animation. In: Proc. VRST '97, ACM Press, 1997. 111~118
- 17 T Molet, R Boulic, D Thalmann. A Real-Time Anatomical Converter for Human Motion Capture. In: Proc 7th Eurographics Workshop on Animation and Simulation. Wien: Springer-Verlag, 1996
- 18 N Badler, M Palmer, R Bindiganavale. Animation Control for Real-time Virtual Humans. Communications of the ACM, 1999, 42(8): 64~73
- 19 N I Badler, J O'Rourke, H Toltzis. A Spherical Representation of a Human Body for Visualizing Movement. IEEE Proceedings, 1979, 67(10): 1397~1403
- 20 K D Willmert. Visualizing Human Body Motion Simulations. IEEE Computer Graphics and Applications, 1982, 2(9): 35~38
- 21 R Boulic, O Renault. 3D Hierarchies for Animation. In: New Trends in Animation and Visualization, Wiley Professional Computing, John Wiley &son, Chichester 1991. 59~77
- 22 J Granieri, J Crabtree, N I Badler. Production and Playback Of Human Figure Motion For 3D Virtual Environments. In: proceedings VRAIS '95, IEEE, 1995. 127~135
- 23 K Perlin. Real Time Responsive Animation with Personality. IEEE Visualization and Computer Graphics, 1995, 1(1): 5~15
- 24 D E Dow, S K Semwal. Fast Techniques for Mixing and Control of Motion Units for Human Animation. In: Proc. of Pacific Graphics'94. Beijing, 1994. 229~242
- 25 R Boulic, Z Y Huang, D Thalmann. A Comparison of Design Strategies for 3D Human Motions. In: K Varghese and S Pfleger. Human Comfort and Security of Information Systems, Advanced Interface for the Information Society. Heidelberg: Springer Verlag, 1997. 306~319
- 26 N I Badler, D Chi, S Chopra. Virtual Human Animation Based on Movement Observation and Cognitive Behavior Models. In: Proceedings of Computer Animation '99, 1999
- 27 N I Badler, M Costa, L Zhao, D Chi. To Gesture or not to Gesture; What is the question? In: Proc. Computer Graphics International. Geneva, Switzerland: IEEE CS, 2000. 3~9
- 28 N I Badler. Animation 2000+. IEEE Computer Graphics and Applications, 2000, 20(1): 28~29
- 29 N I Badler, R Bindiganavale, J P Granieri, S Wei, X Zhao. Posture Interpolation with Collision Avoidance. In: Proc. of Computer Animation'94. Geneva: IEEE Press, 1994. 13~20

- 30 R Boulic, N M Thalmann, D Thalmann. A Global Human Walking Model with Real-time Kinematics Personification. *The Visual Computer*, 1990, 6(6): 344 ~ 358
- 31 H Ko, N Badler. Animating Human Locomotion in Real-time Using Inverse Dynamics, Balance and Comfort Control. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 1996, 16(2): 50 ~ 59
- 32 R Boulic, Z Y Huang, J Shen, T Molet, T Capin, B Lintermann, K Sauer, D Thalmann, N M Thalmann, A Schmitt, L Moccozet, P Kalra, I Pandic. A System for the Parallel Integrated Motion of Multiple Deformable Human Characters with Collision Detection. *EUROGRAPHICS*, 1995, 14(3): 337 ~ 348
- 33 A Bruderlin, T W Calvert. Goal Directed Dynamic Animation of Human Walking. *Computer Graphics*, 1989, 23(3)
- 34 V B Zordan, J K Hodgins. Tracking and Modifying Upper-body Human Motion Data with Dynamic Simulation. In: *Eurographics Workshop on Animation and Simulation '99*, Italy: Milano, 1999
- 35 N Badler, M J Hollick, J P Granieri. Real-Time Control of a Virtual Human Using Minimal Sensors. *Presence*, 1995, 2(1): 82 ~ 86
- 36 M Hirose, G Deffaux, Y Nakagaki. A Study on Data Input of Natural Human Motion for Virtual Reality System. In: *ICAT/VRST'95*, ACM-SIGCHI, 1995, 245 ~ 251
- 37 R Boulic, P Fua, L Herda, M Silaghi, J S Monzani, L Nedel, D Thalmann. An Anatomic Human Body For Motion Capture. *Proc. EMMSEC 98*, Bordeaux, 1998
- 38 B Bodenheimer, C. Rose. The Process of Motion Capture: Dealing with the Data. *Computer*. In: (Proceedings of the Eurographics Workshop), 1997

Study on Synthesis of Virtual Human

Wang Zhaoqi

(Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract Introduces its applications and research foci, detail many methods and standards of representation and motion control of virtual human, and, presents some virtual human system.

Key words virtual human, human animation, virtual reality