

人体动画综述

A Survey of Human Body Animation

劳志强 潘云鹤

(浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室·浙江大学人工智能研究所 杭州 310027)

摘要 A survey of human body animation is presented dealing with its geometrical representation, motion control techniques and rendering. A classification of human body animation systems is presented according to different criteria. Finally, the different problems of human body rendering are presented.

关键词 Computer Animation, Human Body, Geometric Models, Motion Control

一、前言

人体动画是计算机动画中最富挑战性的领域之一,从某种意义上说是一个神话,这是艺术、机器人、医学等领域中人们能够生成一个类似于人的角色的开始。

无论从任何意义上来说人体动画都是非常复杂的。人体具有不规则的形状,难以建模^[10],人体有200多个自由度,运动的指定非常繁复,计算量也非常之大。另外人体动画必须面对两个问题:一是人的运动具有很强的直觉性,即使对于非常简单的运动来说也不可能将所有的关节运动、自然平衡以及对环境的诸多交互都考虑进去,因为有些变换是难以察觉的^[2];二是牵涉到人类行为的本质:是什么使得两个物理结构上非常相似的人如此的不同?因此对真实感人体动画来说找到人的特性的计算表达是一个很难而又必然的任务^[5]。

人体动画的整个过程可以分成三个部分:人体造型、运动的指定和计算、生成(Shading 和消隐)。在本文的以下部分对人体动画进行了分类,然后针对上述三个部分的不同目标分别进行了回顾。

二、人体动画系统的分类

人体动画系统有许多种分类方法,其中一种分类方法是:

1)根据历史角度分:计算机辅助动画(computer assisted animation);计算机模型动画(computer modelled animation)。

2)根据应用领域分:用于商业或娱乐业、影视业;用于工业或科学上的仿真。

3)根据系统的维数:二维;三维。

4)根据人体的造型:线形角色;面形角色;体形角色。

5)根据运动模型分类:运动学;动力学。

6)根据运动的指定:基于向导;程序级;任务级。

上述分类中,计算机辅助动画基于传统的动画方法,使用计算机使得一些诸如编辑、着色等操作变得更为便利^[10],这种动画方法必须与模型动画区分开来。模型动画是用计算机来生成人体的模型,后面介绍的许多造型和动画技术不适用于计算机辅助动画。

人体动画的应用有两大类:第一类用于娱乐业和影视业(卡通)、商业或政治目的,对于某一部电影来说有两种不同的目标:角色的创建和真人的重组。第二类应用是对将人包含在内的情况进行仿真(不管是自然的或工业化的过程),这类应用在工程上非常有用(主要应用在机器人和碰撞检测、医学、舞蹈等)。

第一类应用系统和第二类应用系统之间的差别是很大的。对于第一类系统,图片的艺术性非常重要,通常动画师们在电影产生之前已经将所有的未知因素解决了。对于第二类应用系统,运动不是由人指定的而是由一系列方程式决定的。下面列出了一大串人体动画的应用实例。

电影类:用于艺术和娱乐业:“HUNGER”;“RENDEEVOUS A MONTREAL”。用于教育。

仿真类:用于飞机/汽车工程:飞机失事的仿真,汽车碰撞的仿真;碰撞检测。用于机器人:机器人或机械装置的可视化。用于人类工程学:人在工作时的姿态和位置的可视化。用于医学、外科:人脑的重建;

不正常的运动模式的临床分析^[3]。用于舞蹈:用计算机对芭蕾进行仿真。

三、建模

人体动画是用几何模型产生并存储一个人体,定义人体的各个部分以及各部分之间的关系。对人体进行建模,由于人体本身的复杂性,必须对一些特殊问题进行讨论。首先,人体的有些部位因其特殊性必须与人体的其它部分区别开来对待,这些部位包括:手和脸。本节将人脸与人体的其他部分区别对待。

牢记人体模型与动画之间的紧密关系是非常重要的。正是这些运动将人的某一部分定义成为一个单独的执行部件。例如:如果人脸保持同一表情就没有必要将嘴和眼睛定义成为单独的运动部件,整个脸部可以作为一个整的刚体曲面来看待。

在任何情况下,模型的复杂性是与其运动的复杂性直接相关的。在这种情况下,定义一个模型及其运动有时需要定义:

- 一种策略性表达用于计算运动^[9]
- 一个简化了的几何模型,该模型比实际的几何模型简单且没有那么精确^[10],目的是为了进行一些预先的检测。

因为模型和运动指定之间有直接的关系,在对人体进行建模时可以考虑进一些纯几何因素,如质量、密度等物理特性^[1]或一些机械约束,如膝部运动的最大角度。将这些几何因素加进去可以获得更为真实的运动,当然要以计算量的增加为代价。另一方面,如果这些数据没有与模型相连接,那么就需要在计算动画时进行一些额外的检测和矫正。

这些问题在对舞蹈进行早期研究的时候已经考虑到了。因为本文是涉及动画中的一些基本建模问题,所以在下面的章节中对其原理进行阐述。

3.1 人体表达

在人体及其运动的表达上有两类方法:第一类是将人体表示为一组关节和肢体的集合,即所谓“骨架”模型,这类方法包括了 Laba 表示法和 Eschokol-Wachmann 表示法。第一种情况将运动与整个实体的描述相关,第二种情况运动仅与肢体相连。在 Laba 表示法中定义了五种不同的描述方式:方向符号、变换符号(包括旋转和平移)、朝向符号(定义关节的方向)、接触符号和形状符号;在 Eschokol-Wachmann 表示方法中,用关节的旋转角度及其位置来对运动进行指定,第二类 Effort/shape 表示方法与前两者相反是基于人体的“肌肉”模型^[2],该表示方法用于指定运动的一些动态特性,如拉力、重

量、时间等等。

区别这两类定义方法是非常重要的:基于“骨架”的定义方法简单,可以对运动进行一些较为简单的运动指定;而基于“肌肉”模型描述考虑进了一些诸如质量、作用力等的物理特性,这种模型更为真实,但更为复杂^[1]。

3.2 人体

人体可以在三个层次上进行构造:骨架、肌肉以及皮肤。大多数系统的人体造型部分都基于解剖学,因此产生的人体模型有些类似于骨架^[8],或类似于皮肤的曲面^[6]或将两个层次(骨架和皮肤)混合起来的混合模型^[1]。

另外一些系统试图将人体看成是一组图元的集合,如:球体,椭球体或圆柱体。在下面的章节中就将就这些系统的优缺点进行讨论。

3.2.1 骨架模型。许多所谓的“骨架模型”系统是由各关节的一种层次结构决定的,这种模型同 Laba 表示方法有些类似,但要复杂一些。其复杂性主要取决于关节的数目,对于这种模型来说每个关节处有三个自由度,那么对于一个真人的模型来说就要有200多个自由度。这种模型很容易在计算机内用一种树结构存储,用节点表示关节,用弧表示连接^[8]。这种表示方法有利于进行模块化设计,可用身体的各个部分形成子树的形式,如:arm-trees、leg-trees。在对身体的各个部分进行测试时这种模型是非常有用的。

在每种情况下,数据的输入可以用一个图形编辑器或用 Laba 表示法,如 SFU 中用的一样^[3]。在该系统中其主要应用是针对生物机械研究(分析运动中的异常和功能丧失),为此他们开发了一个特殊的编辑系统,对于 Laba 表示法中的每个符号都相应地有一个命令,既可以处理造型也可以对运动进行指定。

骨架模型的主要优点是运动的指定非常简单,只需对每个关节给出三个自由度的变换矩阵。宾夕法尼亚大学的 Korein 和 Badler 对这种模型进行了进一步的研究,发现这种结构当中的平面或三维链结构,与这些链相关的运动学约束足够使得只要指定目标运动,而无须指定每个关节点处的自由度,运动学方面的其它研究在于简化运动的指定^[3];另一个较为专用的模型是对有脚对象进行造型,在系统 PODA 中对肢体的多余运动条件进行分析,这种方法适合于多脚动物。

这些系统的缺点在于其产生的运动不十分真实,体素的缺乏使得其在深度上的透视非常困难,并且会产生二义性,有些特殊的旋转运动看起来不可

理解。

Magenat-Thalmann 和 Thalmann 曾经描述过一个有32段15关节的“骨架”型角色,称为“HiPi”。

3.2.2 曲面模型。如果说“骨架”模型是用于表示人体的内部结构,那么曲面模型则用来描述人体的外部形状——皮肤,这种模型是用一个由平面或曲面块所组成的曲面模型对人体进行描述。这种模型的数据输入被认为是非常繁琐的任务,因为要形成这样一块曲面需要输入大量的顶点信息。通常是由一个曲线组成的网格结构进行输入,而网格上的节点坐标则用数字笔进行输入,在顶点之间用一平面或曲面块将其覆盖。这种模型的特点是皮肤更平滑,人物更逼真。然而要造这样一个模型需要大量的平面块,用曲面的缺点在于计算机和生成的花费非常大。

面片的数量是图象质量和计算开销间的一个非常基本的因素,在这方面有过许多研究,尤其突出的是 Fetter 的研究^[6]。他的第一、二、三个人体模型分别将人体从30段进化到1000段。在他的“Fourth man and woman”中对这种模型的面片数量的分法提出了一个较好的解决方法。该方法主要是利用角色和摄像机之间的相对位置。

Dooley^[4]对几个著名的曲面模型进行了比较,它们分别为:Boeman (Boing Corporation), Sammie (University of Nothinham), Combiman (Aero Spacial Medical Research Center)。

曲面模型的最大缺点是几乎不可能对运动进行指定。通常采用的是“骨架”模型和曲面模型相混合,用骨架指定其运动,用曲面模型追求细节,在曲面上定义一些可移动的图段。但是在面片的边界处会出现一些奇异的情况,有些运动不能用一个刚体曲面运动来定义,因为面片间的相交可能会导致身体某部分与身体的脱离^[2]。对于曲面的建模必须要考虑一些由于弹性因素而引起的变形^[1]。Catmull 建了一个手的模型,使得该手在运动的过程中有形变。

3.2.3 体模型。人体的第三种模型是将人体的结构和形状用一些基本的体元素进行近似表达,这些图元包括:椭球、球和圆柱。用圆柱建模会使得模型在关节处有许多奇异情况出现,用椭球和球造型则是利大于弊。

首先,体模型解决了骨架模型上的外观不一致性。另一方面由于椭球和球体的几何特性所致,可对其进行特殊的消隐处理^[6],使得生成速度很快。

对于某些实际应用,诸如碰撞检测^[7]或舞蹈学,这种造型手段似乎是最佳的,但当对其真实感有要求时,例如要拍电影,这种模型是无法与曲面模型相

比的。我们在前面也提出体模型可以同骨架模型结合起来,使得运动的指定更为便利。

3.3 人脸

人脸的建模包含了许多复杂的问题,由于人脸的形状极其不规则,并且与其相关的运动(主要是表情和说明)也非常复杂,所以其难度也就大很多。

类似于 Laba 表示方法的描述可以被用于人脸的建模上。FACS (Facial Action Coding System) 描述了脸部的几乎所有可能的运动,并且是定义人脸造型过程中主要参数的主要依据。在脸部建模这方面发表的文章很少,最重要的恐怕要数 Parke 发表的文章了。在 Parke 的系统中他用一组曲面片对人脸进行建模,但是考虑进了脸部建模所要考虑进去的一些特征参数,面片的数目和形状是预先定义的。

在有问题区域(如:脸、眼部等)面片的数目要大些,有两类参数需要考虑:表情参数和形态参数。形态参数在造型的时候就被选定了,主要与一般测量数值有关,如鼻子的长度,眼睛的分离程度,前额的宽度等等,他们将人脸定义在“中立”的状态。表情参数与脸的形状无关,但它有其自身的运动:张嘴等。

另一篇有关脸部造型的重要文献是 Platt 和 Badler 写的,他们依据解剖学特性将人脸的造型分成三个层次:骨架、肌肉和皮肤。

骨架层次用一个刚性曲面表示,位于可变形的皮肤曲面的下面,肌肉层被定义为位于骨架层和皮肤层之间的那一层,在皮肤曲面的顶点与骨架曲面的顶点之间建立对应关系,其连接是用一个系列,其中间顶点用弧连接,而这些中间顶点组成脸部的肌肉,这个复杂的模型使得模仿脸部的真实运动成为可能。

四、运动

4.1 运动控制技术

计算机生成的图象可以用一组参数描述:场景的结构,对象及其属性;观察者的位置(摄像机位置和状态);光源的位置及其属性。如在第一节中所介绍的,计算机动画的完成是由改变全部或部分参数,并且记录其后续参数变化的图象,这种变化可能是在不同的时候和不同的行为,但是它们必须同步。

现存的运动模型可以分成:运动学模型和动力学模型。前者从位置、速度和加速度的变化来产生运动;动力学模型用一组作用力和力矩的变化来描述运动,它要求动画的对象必须用一些机械元素定义,有两个类型:质量和关节。

现今的许多计算机动画系统大都用的是运动学模型,这样计算量小些,并且操作起来更为直观,而

动力学模型对于一些用运动学模型所无法描述的复杂和快速运动描述很有用。不管系统所用的动画模型为何,从其运动指定方面系统可以分为三类:

•指导性(关键帧和插值):在这些系统中定义了一些关键帧处的参数,关键帧之间的帧参数则通过插值的方法计算。

•程序级:这类系统中,动画师通过用算法对运动进行指定。

•任务级:这类系统中动画师通过指定一些命令来完成一些原先在计算机中已定义的动作。

对于动画师来说,这三个层次的系统各有利弊,但最终的评价是操作简单。任务级系统的主要缺点在于其精确性,因为用户对于单个元素的运动无法控制,更有甚者,动画师们需要一些计算机没有定义或计算的运动,因此计算机工作者应该尽力开发一些工具以满足他们的需要。

关键帧系统的优点在于根本不需要任何计算机知识,动画师们可以在任何层次上对运动进行控制。其主要缺点在于要指定复杂运动时需要许多数据,这样做非常痛苦,实际上有时根本就不可能。

程序级动画是一个非常有力的工具,可以对任何元素或任何一组元素在任何层次上对运动进行控制,这类系统的问题在于用户需要有一定的计算机知识,而且有些运动有时根本无法用算法表达。

由于不同的运动控制方法各有优缺点,因此动画系统常常对运动指定提供各种不同的方法,例如基于关键帧的系统可能支持脚本语言,用于定义各种元素以及元素间的运动关系,另一方面,程序级和任务级动画系统也支持关键帧技术。

4.1.1 指导性系统。关键帧系统定义了一些关键帧画面,然后用插值的方法求得关键帧之间画面,对这个技术的拓展可以加入有关作用力和力矩的计算。VIRYA 系统将运动学和动力学有机地结合起来。在最简单的关键帧系统中,关键帧之间的插值计算在空间上是连续的,然而在时间上是不连续的,这样的结果是实现了加/减速。另外一些系统允许动画师们在关键帧之间用数学的方法定义其运动。如果运动的对象是刚体,关键帧之间对应顶点间的线性插值已足够了。然而对于非刚体的运动,需定义不同的插值方法用于推测物体在关键帧之间的形变^[10]。

一种特殊的指导系统,有时与关键帧技术相结合,被称为 Rotoscopy,这种系统包括对真实运动进行跟踪,然后将运动的数据输入计算机,这类系统中一个著名的系统称之为“Graphical Mationette”^[7],除了从电影中输入数据以外,另一种方法是用电子仪器直接进行测量^[3],这种方法能够获得动态数据,

对人体建模的研究非常有用。

4.1.2 程序级系统。用于计算机动画的编程语言通常是对一般语言的扩充,使之能够帮助动画师完成任务,这些扩充主要包括控制结构、数据抽象^[10]以及并行计算。

4.1.3 任务级系统。如上面所述的那样,任务级系统只需用户激活一个 motor 就可以产生运动,这些 motor 实际上是一些程序,它们大致上可以分为两类:用动画语言的方式执行一些预先定义的运动^[10]和用输入数据产生运动^[9,10]。在第一种情况下,动画师执行一些命令用于激活一些预先定义好的运动,因此这类系统的最大缺点在于系统现有程序对新产生运动的约束。在第二种情况下,用户要么指定一个作用于对象上的外部运动,要么有用一些预先定义的规则来产生想要得到的运动。

4.2 人体运动的特性和类型

前面所提到的不同技术都被用来对人体的运动进行控制,就象我们在下面的讨论中将要看到的那样,每种方法尤其适合于某一类运动,如人的自然运动中的同步问题十分复杂,这就是 rotoscopy 在动画界被广泛使用的原因。

动画领域中,运动学和动力学方法都在用,动力学方法有两个重要的方面需要考虑:

①人体有200多个自由度,从时间的角度来看这是一个主要的缺陷,然而在大部分运动中只有部分关节在运动。

②“人体的连接关系并不象机械系统的连接关系那么复杂”^[1]。

大多数动画系统用骨架结构进行动画的计算,通常这些系统只考虑人体的生物机械特性而不考虑其肌肉和神经系统,即使系统中有体和面模型,但通常都有一个与之相关的骨架结构。

计算机动画中的人体结构与机器人有一个非常清晰的关系,Koren 等在其文章中针对目标达到问题提出了不同的方法,他们得出的结论是计算机动画和机器人所用的方法是不同的。在人体动画中有三类问题有其特殊之处:

①环境中的身体运动。

②连接运动(legs, arms)。

③脸部运动(eyes 和 mouth)。

4.2.1 环境中的身体运动。这类运动包含了两个不同的方面:①身体怎样动才能取得目标运动^[10]。②演员怎样动才能吸引观众。这两个问题在任务级系统中被解决,有关这方面的论文阐述了计算机动画和机器人以及基于知识的系统的相似和不同之处,在 Zelter 的系统中有一个从最高级进行任

子级的描述,对于这样的描述,系统将其分解成为一系列简单的过程来生成相应的运动。基于知识的系统用高层描述加上一组约束的方法来产生运动,然后从一组规则给出有关心理习惯、场景等的描述。

用户与系统的交互通常用菜单,图形界面或程序语言^[10],象 PROLOG 这样的 AI 程序语言常常被用到。

4.2.2 关节运动。为了使人体的关节结构能够运动起来,在4.1节中介绍的三种不同的方法通常用来生成不同的运动。

指导系统能够指定任何一种类型的运动,这种方法尤其适合于细节性的运动,如:人手的运动。这类系统的高交互性能产生更为自然的运动。在这类系统中,运动学和动力学方法都被用到。中间帧的计算要么通过有些点的路径指定或用三次样条。

程序级系统为运动结构的指定和数据抽象提供了非常有利的工具^[10],这些工具可以进行运动同步和参数化,这样就可以使我们指定用指导性系统所

无法指定的复杂运动。

最后,由人体的相关部位相互作用而形成的整体运动可以用任务级系统将其解决,在这方面有两个倾向,Korein 和 Badler 的方法是用基于目标的而且其评价标准是用于机器人的。

Armstrong^[1]用动态分析和一个有用的用户界面使得用户能够很容易地找到所需要的受力和力矩。

4.2.3 脸部运动。虽然肌肉在人体的其它运动中可以被忽略,但是在脸部动画中必须考虑进去,脸部运动包括眼(眉、眼睑、眼球)、嘴和重要形变。

为了产生这些运动,有两种方法。第一种方法是用活动贴图的方法,动画师对活动贴图进行适当的形变以适应三维模型的需要。在第二种方法中脸部图象的产生是由脸部组成元素及其之间的相互关系参数化得到的,这种参数化方法常常基于脸部肌肉的行为知识^[6]。运动的产生主要是通过关键帧插

(下转第76页)

第十届中国计算机网络与数据通信学术会议

征 文 通 知

根据中国计算机学会学术活动计划安排,计算机网络与数据通信专委会拟定于1998年10月下旬或11月上旬在南京市东南大学召开第十届中国计算机网络与数据通信学术会议,并邀请著名网络专家作专题报告,邀请国内外著名网络厂商介绍最新网络技术和产品。本次大会录用的论文将收入第十届中国计算机网络与数据通信学术会议论文集,优秀论文还将推荐到《软件学报》。

一、征文内容

- 高性能计算机网络
- 体系结构及协议
- 协议工程
- 形式描述技术(FDT)
- 网络智能化
- 网络安全
- 网络管理
- CSCW
- 多媒体通信
- Internet/Intranet
- Web 技术
- EDI
- 远程教育和诊断系统
- 工厂和企业网络
- 网络应用系统
- ATM
- ISDN
- 数据传输与交换
- 互连与路由技术
- 通信组网技术
- LAN 技术
- WAN 技术

二、征文要求

1. 论文必须未公开发表过,一般不得超过6000字。
2. 论文包括题目、作者姓名、单位、作者单位、摘要、关键词、正文和参考文献,另附作者姓名、单位、地址、邮编、电话、传真及 Email 地址。
3. 论文一律为 A4 激光打印稿,一式3份。
4. 征文请寄:210096 南京市东南大学计算机系 顾冠群,罗军舟 电话:025-3792358 传真:025-3793072。

三、重要日期

截稿日期:1998年5月31日 录用通知:1998年6月30日 正式文稿:1998年8月10日

中国计算机学会计算机网络与数据通信专业委员会

性部分;三是与实现环境密切相关的实现细节,如系统通讯方式、时钟工作方式等需要从实际环境中来考虑。

这种“分而治之”的方法如图3所示。其中,part1基于较为直接的转换方法,形成系统的运行框架;结合 part2形成的系统数据对象,以及 part3形成的实现细节,即可有机地形成目标源语言程序。采用“分而治之”的方法,使得设计人员可以将注意力放在单一的部分上,既提高了生产效率,降低了开发时间和费用,而且系统的修改不会引起全局的变更,对于维护也无疑是有好处的。part1基本上可以通过开发合适的工具来自动转换,既减少了工作量,又有助于生成系统的规范化及正确性。part2和 part3需要部分的手工编程,在面向对象方法的支持下,其生成部分对于固定的系统环境具有较大的重用性,从而更好地支持了快速原型的开发方法。

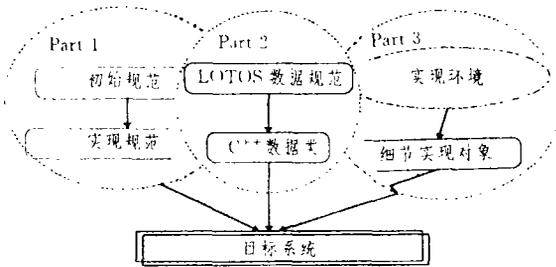


图3 LOTOS 规范的实施方法

结束语 LOTOS 规范语言因其具有精确定义的语法和形式语义,可以在坚实的数学基础上进行形式化推导,使之在检验、分析、测试精化、综合以及验证等方面可以自动化进行。使用适当的工具与方法论,将其用于分布式交互系统的设计,可以提高系统开发的效率、可靠性以及正确性。

LOTOS 语言缺乏支持实时规范的特征,如对

于时钟这一实时特征,LOTOS 中以内部事件表达,不足以显式地刻画。LOTOS 语言也不支持动态配置;采用的间隙(interleaved)并发的形式语义;以及 ACT-ONE 数据规范过于繁杂等不足,尤其是 LOTOS 语言没有使用面向对象的主流技术。近年来的研究工作一方面集中在上述缺陷上,另一主要研究领域则是集中在 LOTOS 语言的应用上。例如使用 LOTOS 语言进行软、硬件系统设计一体化,进行安全机制研究,以及面向数据库问题的应用等。

参考文献

- [1] International Organisation for Standardization, IS 8807: LOTOS: A Formal Description Technique Based on the Temporal Ordering of Observational Behavior, 1989
- [2] Introduction to the ISO Specification Language LOTOS, Computer Network and ISDN Systems, 14, 1987
- [3] Jan de Meer, Rudolf Roth, Introduction to algebraic specifications based on the language ACT ONE, Computer Network and ISDN Systems, 23, 1992
- [4] VLib, infinite virtual libraries for LOTOS, Protocol Specification, Testing and Verification, X (C-16) 1993 IFIP
- [5] Transformations and Semantics for LOTOS, PhD. thesis Rom Langerak university of twente, Netherlands, 1992
- [6] Mohammed Faci et al., Formal specification of telephone systems in LOTOS: the constraint-oriented style approach, Computer Networks and ISDN systems, 21, 1991
- [7] ROOA: Rigorous Object-oriented Analysis, PhD. thesis Ana Maria university of stirling, UK 1994
- [8] 谢冰、王兵山、陈火旺. 基本 LOTOS 规范的进程分解方法, 计算机学报(待发表)
- [9] Maria Hultstrom, Structural Decomposition, Protocol Specification, Testing and Verification, XV 1995 IFIP

(上接第97页)

值^[5]或对参数进行变换得到。参数的变换有不同的方法(旋转、比例缩放、…),这些变换的指定主要取决于所要产生的运动。

五、生成

生成技术可以分为:消隐、Shading、纹理映射、反走样等。消隐是最常用的生成方法,但是要生成具有真实感的人体运动则需要使用 Shading 和纹理映射。然而情况也不完全是这样,例如用 Shading 生成的人脸就看起来过于光滑(尤其是对女性的脸部)。头发的生成通常使用的是纹理映射的方法,但是用

这种方法产生的头发真实感不强,用粒子系统是一种可能的解决方法。

结论 通过对现有动画技术的总结,我们得出如下结论:人体的造型趋向于多层次模型,尽可能地与真实人体一致。然而有些问题亟待解决,例如:如何对具有形变的皮肤进行造型。在运动控制方面趋向于多种模型的混合使用以弥补各自的缺点。目前的许多研究趋向于将动态分析和人工智能的技术运用到计算机动画中,使其产生的运动更为自然。表情运动仍然是一个活跃的研究领域,因为在这方面还有许多问题有待解决。(参考文献共10篇略)