

# 中华博士 园地

这是本刊特为海内外正在就读和学成立业的博士、博士后青年学者们开辟的一片科普园地。深学浅著是一门德识、慧学、素质修养的学问。你们的新知识、新调研、新观察、新目光、新展望,能够用尽可能深入浅出、通俗流畅的语言,汇报给祖国人民、家乡父老子弟乡亲们吗?中华博士园地,乃耕耘忠孝之地,科教兴国、民族昌盛之地。要用慈母听得懂的语言,写出你们的心声!

中图分类号: TP391.41 文章编号: 1006-8961(2000)03-0264-04

## 表演动画中的运动捕捉技术

金 刚 李德华 周学泳

(华中理工大学图象识别与人工智能研究所, 国家教育部图象信息处理与智能控制开放研究实验室, 武汉 430074)

### 1 表演动画与运动捕捉<sup>[1]</sup>

计算机特技的应用在现代影视特技制作中已成为不可或缺的手段, 各种各样的平面、三维计算机特技制作技术给观众带来了全新的感受, 而表演动画技术则可以说是当前最高级、最热门的计算机动画技术之一。

在传统的动画制作中, 制作者必须将画面根据剧情要求逐帧画出, 工作量非常巨大。引入计算机动画技术后, 可以利用计算机先设计造型, 再按照剧情确定关键帧, 然后动画师调整关键帧的造型姿势, 动画软件则根据关键帧生成图象序列。但是, 对于一个

长的动画作品, 逐个确定关键帧仍然是一项相当麻烦的工作。

表演动画技术的诞生, 彻底改变了这一局面。它综合运用计算机图形学、电子、机械、光学、计算机视觉、计算机动画等技术, 捕捉表演者的动作甚至表情, 用这些动作或表情数据直接驱动动画形象模型。

图1表示了一个典型表演动画系统的组成和工作流程。在该系统中, 有表演者和“角色模型”。制作者利用三维构型软件制作数字化的“角色模型”, 例如卡通形象, 或者利用三维扫描技术获得人物或动物立体彩色数字模型, 形成所谓的“虚拟演员”。而表演者则负责根据剧情作出各种动作和表情, 运动捕捉系统将这些“动作”和“表情”捕捉记录下来, 然后利用动画软件, 以这些动作和表情“驱动”角色模型, 角色模型就能作出与表演者一样的动作和表情, 并生成最终所见的动画序列。

表演动画的出现, 是动画制作技术的一次革命, 这一技术将从根本上改变现有的影视动画制作乃至特技制作方法, 极大地缩短动画制作的时间, 降低成



金 刚 华中理工大学图象识别与人工智能研究所博士研究生。主要研究方向为计算机视觉、模式识别、图象处理、人工智能、三维数字化技术, 发表论文十余篇。

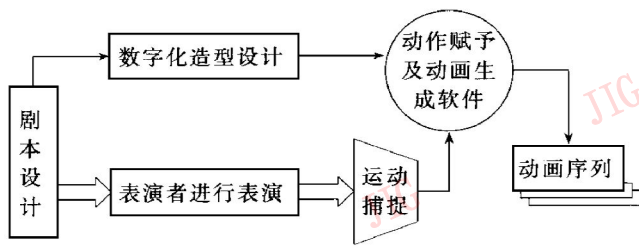


图1 表演动画系统的组成和工作流程

本,使得动画制作过程更为直观,效果更为生动、逼真,甚至能使影片中的人物、动物等做出不可能作出的动作,达到惊人的特技效果。

运动捕捉是表演动画系统中最关键的技术,它实时地检测、记录表演者的肢体在三维空间的运动轨迹,捕获表演者的动作(甚至包括方向信息),转化为数字化的“抽象运动”,以便动画软件将它“赋予”模型,使模型做出和表演者一样的动作,并生成最终的动画序列。实际上,运动捕捉的对象不仅仅是表演者的动作,还可以包括物体的运动,表演者的表情,以及相机、灯光的运动等。这一技术是目前表演动画系统中最关键、最复杂也是最不成熟的一个环节,但也是表演动画系统不可缺少的部分。此外,运动捕捉技术在虚拟现实、三维游戏、人体生物工程学等许多方面都有重要的应用。

从技术的角度来说,运动捕捉的实质就是要测量、记录物体在三维空间中的运动轨迹。

## 2 表演动画系统中常用的运动捕捉技术及其评价<sup>[1~3]</sup>

在表演动画系统中,通常并不要求捕捉表演者身上每个点的动作,而只需要捕捉若干个关键点的运动轨迹,再根据造型中各部分的物理、生理约束就可以合成最终的运动画面。

从应用角度来看,表演动画系统主要有表情捕捉和身体运动捕捉两类。从实时性来分,可分为实时捕捉系统和非实时捕捉系统两种。

从工作原理来看,目前常用的方式主要有机械式、声学式、电磁式和光学式运动捕捉。各种技术均有自己的优缺点和适用场合。因此对于不同的方法,一般只能从成本、实时性、使用的方便程度、精度等方面进行比较。

### 2.1 机械式运动捕捉

机械式运动捕捉依靠机械装置来跟踪和测量运动。典型的系统由多个关节和刚性连杆组成(如图2

所示)。在可转动的关节中装有角度传感器,可以测得关节转动角度的变化。装置运动时,根据角度传感器的数据和连杆的长度,可以得出A点在空间中的运动轨迹。实际上,装置上任何一点的运动轨迹都可以求出。刚性连杆也可以换成长度可变的伸缩杆,用位移传感器测量其长度的变化。

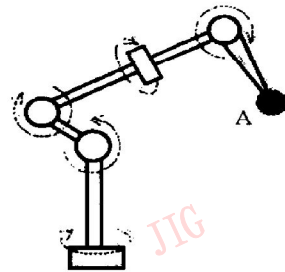


图2 机械式运动捕捉

机械式运动捕捉的一种应用形式是将欲捕捉的运动物体与机械结构相连,物体运动带动机械装置运动,从而被传感器记录下来。另一种形式是用带角度传感器的关节和连杆构成一个“可调姿态的数字模型”,其形状可以模拟人体,也可以模拟其它动物、物体。使用者根据剧情的需要,调整模型的姿势,然后锁定,关节的转动被角度传感器测量记录,依据这些角度和模型的机械尺寸,计算出模型的姿态,这些姿态数据传给动画软件,使其中的角色模型也做出一样的姿势。这是一种出现较早的运动捕捉装置,直到现在仍有一定的市场,国外给这种装置起了个很形象的名字:“猴子”。

这种方法的优点是成本低,装置定标简单,精度也较高,可以作到实时测量,还可以容许多个角色同时表演。但其缺点也非常明显,主要是使用起来非常不方便,机械结构对表演者的动作阻碍、限制很大。而“猴子”较难用于连续动作的实时捕捉,需要操作者不断根据剧情要求,调整“猴子”的姿势,很麻烦,主要用于静态造型捕捉和关键帧的确定。

### 2.2 电磁式运动捕捉

电磁式运动捕捉系统一般由3个部分组成(见图3),即发射源、接收传感器和数据处理单元。发射源在空间产生按一定时空规律分布的电磁场;接收传感器(通常有10~20个)安置在表演者身体的关键位置,传感器通过电缆与数据处理单元相连。表演者在电磁场内表演时,接收传感器也随着运动,并将接收到的信号通过电缆传送给处理单元,根据这些信号可以解算出每个传感器的空间位置和方向。

该方法的优点首先在于它记录的是六维信息,

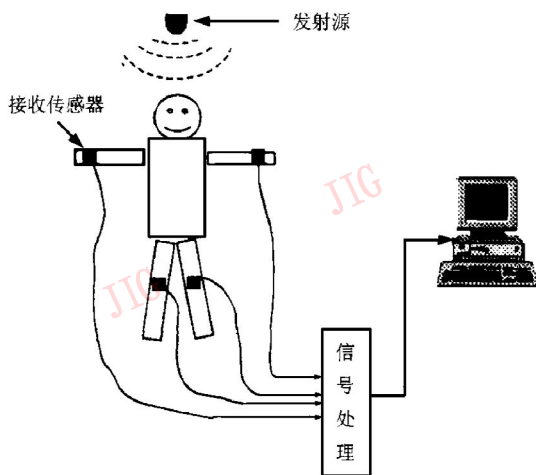


图3 电磁式运动捕捉系统

即不仅能得到空间位置,还能得到方向信息.其次是速度快、实时性好.使用时,表演者一边表演,动画系统中的角色模型可以同时反应,便于排演、调整和修改.装置的定标比较简单,技术较成熟,鲁棒性好,成本相对低廉.其缺点是对环境要求严格,在表演场地附近不能有金属物品,否则会造成电磁场畸变,影响精度.该系统允许的表演范围比光学式要小.特别是电缆对表演者的活动限制比较大,对于比较剧烈的运动、表演不适用.目前这类系统的采样速率一般为每秒15~120次(依赖于模型和传感器的数量),为了消除抖动和干扰,采样速率一般在15Hz以下.对于一些高速的运动,如体育运动,采样速度不能满足要求.

### 2.3 声学式运动捕捉

常用的声学式运动捕捉装置由发送器、接收器和处理单元组成.发送器是一个固定的超声波发生器;接收器一般由呈三角形排列的3个超声探头组成.系统通过测量、计算声波从发送器到接收器的时间,可以确定接收器的位置和方向.由于声波的速度与温度有关,还必须有测温装置,并在算法中作出相应的补偿.

这类装置成本较低,但对运动的捕捉有较大的延时和滞后,精度差,还要求声源和接收器间不能有遮挡,且受噪声等干扰较大,系统扩展困难.

### 2.4 光学式运动捕捉

光学式是通过对目标上特定光点的监视和跟踪来完成运动捕捉的任务.目前常见的光学式运动捕捉大多基于计算机视觉原理.从理论上说,对于空间中一个点,只要它能同时为两台摄像机所见,则根据同一瞬间两相机所拍摄的图象和相机参数,即可以

确定这一时刻该点的空间位置.当相机以足够高的速率连续拍摄时,从图象序列中就可以得到该点的运动轨迹.

典型的光学式运动捕捉系统通常有6~8个相机,环绕表演场地排列,这些相机的视野重叠区域就是表演者的动作范围.为了便于处理,通常要求表演者穿上单色的服装,在身体的关键部位,如关节、髋部、肘、腕等位置贴上一些特制的标志或发光点,称为“Marker”,视觉系统只识别和处理这些标志.系统定标后,相机连续拍摄表演者的动作,并将图象序列保存下来,然后再进行分析和处理,识别其中的标志点,并计算其在每一瞬间的空间位置,进而得到其运动轨迹.为了得到准确的运动轨迹,要求相机要有较高的拍摄速率,一般要求达到每秒60帧以上.为测量发光点的运动,还可以用PSD器件代替CCD相机.

在表演者的脸部表情关键点贴上Marker,可以实现表情捕捉.

光学式运动捕捉的优点是表演者活动范围大,无电缆、机械装置的限制,使用很方便.其采样速率较高,可以满足多数体育运动测量的需要.Marker价格便宜,便于扩充.

这种方法的缺点是系统价格昂贵,虽然它可以捕捉实时运动,但后处理(包括Marker的识别、跟踪、空间坐标的计算)时间长,目前尚不能做到实时驱动角色模型及实时的观看效果.这类系统对于表演场地的光照、反射情况敏感.装置定标也较为繁琐.特别是当运动复杂时,不同部位的Marker很容易发生混淆、遮挡,产生错误的结果,经常需要人工干预后处理过程.

如果进一步改进算法和系统,基于此原理的实时“运动捕捉-驱动”是可以实现的.基于类似的原理,还有多种类型的光学式运动捕捉设备,例如根据目标的侧影来提取其运动信息,或者利用有网格的背景简化处理的过程等.目前正在进一步研究不依靠Marker,而应用图象识别、分析技术,由视觉系统直接识别表演者身体关键部位并测量其运动轨迹的技术.

## 3 运动捕捉技术的应用前景

运动捕捉技术不仅是表演动画中的关键环节,在其它领域也有非常广泛的应用前景.

表演动画技术的出现给影视特技制作、动画技术带来革命性的变化. 它极大地提高了动画制作的效率, 降低了成本(只有传统方法的十分之一左右), 而且使动画制作过程更为直观, 效果更为生动. 综合运用表演动画、三维扫描、虚拟演播室等新技术, 可望获得魔幻般的特技效果. 可以想象, 先用三维扫描技术对一个八十岁的白发老妪进行扫描, 形成一个数字化人物模型, 然后将乔丹的动作捕捉下来, 用以驱动老人模型的运动, 观众将看到八十老太空中扣篮的场面. 甚至可以用演员的表演驱动动物的模型, 拍摄真正的动物王国故事. 随着技术的进一步成熟, 表演动画技术将会得到越来越广泛的应用. 而运动捕捉技术作为表演动画系统不可缺少的、最关键的部分, 必然显示出更加重要的地位.

表情和动作是人类情绪、愿望的重要表达形式, 运动捕捉技术完成了将表情和动作数字化的工作, 提供了新的人机交互手段, 比传统的键盘、鼠标更直接方便, 不仅可以实现“三维鼠标”和“手势识别”, 还能使操作者以自然的动作和表情直接控制计算机, 并为最终实现可以理解人类表情、动作的计算机系统、机器人提供了技术基础.

在虚拟现实系统中<sup>[4,5]</sup>, 为实现人与虚拟环境及系统的交互, 必须确定参与者的头部、手、身体等的位置与方向, 准确地跟踪、测量参与者的动作, 将这些动作实时检测出来, 以便将这些数据反馈给显示和控制系统, 这些工作对虚拟现实系统是必不可少的, 也正是运动捕捉技术的研究内容.

运动捕捉技术还可用于机器人遥控. 机器人将危险环境的信息传送给控制者, 控制者根据信息做出各种动作, 运动捕捉系统将动作捕捉下来, 实时传送给机器人并控制其完成同样的动作, 与传统的遥控方式相比, 这种系统可以实现更为细致、复杂、灵

活而快速的动作控制, 从而可大大提高机器人应付复杂情况的能力. 在当前机器人全自主控制远未成熟的情况下, 这一技术有特别重要的意义.

现代高级三维、仿真游戏, 强调游戏者的“参与感”和“沉浸感”, 强调游戏者与游戏环境的互动性. 现在也可以借助三维扫描技术得到游戏者数字模型, 将其置于游戏环境, 再利用运动捕捉技术捕捉游戏者的各种动作, 用以驱动其数字模型, 这样可以给游戏者以全新的感受, 开发出真实感极强的游戏系统.

在体育训练中, 运动捕捉技术可以捕捉运动员的动作, 便于进行量化的分析, 结合人体生理学、物理学原理, 研究改进的方法, 使得体育训练摆脱了纯粹依靠经验的状态, 进入理论化、数字化的时代. 还可以将成绩差的运动员动作捕捉下来与优秀运动员进行对比分析, 从而帮助训练.

在人体工程学研究、模拟训练、生物力学研究等领域, 运动捕捉技术同样大有可为.

可以预料, 随着技术本身的发展和相关应用领域技术水平的提高, 运动捕捉技术将会得到越来越广泛的应用.

## 参 考 文 献

- 1 David J. Sturman, A Brief History of Motion Capture for Computer Character Animation. SIGGRAPH'94, 1994.
- 2 Takashi Sakaguchi. Human Motion capture by intergrating gyroscopes and accelerometers. IEEE Pro. MFIS, 1996, 470~ 475.
- 3 王人成, 黄昌华, 王季军, 金德闻. 基于摄像机的人体运动分析系统标志点图象处理. 清华大学学报(自然科学版), 1999, 39(2): 75~ 77.
- 4 曾芬芳. 虚拟现实技术. 上海: 上海交通大学出版社, 1997. 6
- 5 汪成为, 高文, 王行仁. 灵境(虚拟现实)技术的理论、实现及应用. 北京: 清华大学出版社, 1996, 9.