

# 基于 Poser 模型的三维人体建模方法

吕治国, 李 焱, 贺汉根

(国防科技大学机电工程与自动化学院, 长沙 410073)

**摘要:** 人体真实感建模是虚拟人研究领域的一项重要内容。该文提出一种基于模型的快速人体建模方法。人体几何模型的皮肤层由多边形网格组成的表面表示, 骨架层建模采用 H-Anim 标准, 并针对 Poser 软件输出的人体模型缺乏关节数据问题, 给出一种骨架提取算法。人体运动模型应用机器人运动学方法, 由骨架层驱动皮肤层实现。在 VC++ 平台上实现对不同姿势下人体模型的骨架提取, 仿真了敬礼过程中手臂的运动, 验证了该方法的可行性。

**关键词:** 虚拟人; H-Anim 标准; 几何模型; 运动模型

## Method of Poser Model-based 3D Human Body Modeling

LV Zhi-guo, LI Yan, HE Han-gen

(School of Mechatronical Engineering & Automation, National University of Defense Technology, Changsha 410073)

**【Abstract】** Realistic human modeling is one major part in the field of virtual human research. In this paper, a method of model-based human body fast modeling is presented. The skin layer of human geometric model is constructed by Polygon mesh surfaces and the skeleton layer according with H-Anim standard. Aiming at lack of joints center position data in model files exported by Poser software, an approach of extracting human body skeleton is given. With the skin layer deformation driven by the movement of skeleton, human body dynamic model is built by using the kinematics theory of robotics. Skeleton extraction results with various postures and simulation of arm motion for salute action are achieved on the platform of VC++, which show the method presented is effective.

**【Key words】** virtual human; H-Anim standard; geometric model; dynamic model

### 1 概述

虚拟人建模是研究虚拟人的第一步, 主要是进行人体几何建模, 既需要考虑人体的基本结构又要考虑人体运动的动态特征。人体具有复杂而不规则的表面, 从几何的角度看, 人体建模问题就是产生不规则形状的问题<sup>[1]</sup>。

三维人体建模作为计算机仿真的一个重要组成部分, 一直是人们研究的热点之一。目前, 获得三维人体模型的方法主要有 2 种<sup>[2]</sup>:

(1) 利用建模软件 Poser, Maya, 3Dmax 等绘制人体的三维模型。

(2) 利用三维扫描仪自动获得真实人体表面的几何数据。其中利用三维扫描仪获取人体模型需要专门设备, 速度慢、成本高。

与通用的人体建模软件 Maya, 3Dmax, Makehuman 相比, Poser 是一款专门用于制作人体造型的软件。在制作人体方面, 可以产生各种类型的人体, 如男性、女性、小孩。模型库中提供丰富的人体模型、人物姿态及相应动作, 可以实现快速人体造型建模。

### 2 人体几何模型

常用的人体几何模型采用表面模型实现, 即模型包含 2 层: 皮肤层和骨架层。皮肤层是依附于骨架层之上定义的几何体对象。骨架模型用于指定人体的精确运动, 表示人体的内部结构; 皮肤模型用于描述人体的外部形状, 刻画逼真的人物形象。

本文基于 Poser 模型对人体进行几何建模, 几何模型采

用表面模型实现, 皮肤变形采用刚体变形算法。虚拟人由多个彼此独立的部位组成, 每个部位对应的皮肤就是骨架上面固定的一个刚性多边形网格, 通过把每个网格映射到特定关节上, 可以获得随骨架一起运动的刚性皮肤。

#### 2.1 H-Anim 标准

H-Anim 标准是一个关于虚拟人模型的国际标准, 该标准是为在线虚拟环境中的虚拟人表示而制定的, 标准兼顾了兼容性、适应性和简洁性。

H-Anim 标准把整个人体分成 1 个人体重心、77 个关节和 47 个骨骼段, 这些元素组成一个完整的虚拟人模型。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与它相联的其他节点的状态。

H-Anim 标准的层次结构是由嵌套的关节节点来实现的。以脊柱末端的骶骨关节作为整个骨架结构的根, 并由此分别向上、下遍历整个骨架结构, 按照遇到各关节的顺序, 将所有关节组织成树形的继承结构, 每一关节节点均是排在其后的关节节点的父节点, 例如: 肩关节的节点定义中, 又包含有肘关节、前臂节点作为它的子节点, 而在肘关节节点定义中又有腕关节作为它的子节点等, 从而形成了人体模型的骨架。

H-Anim 标准的层次结构如图 1 所示。

**作者简介:** 吕治国(1978 -), 男, 博士研究生, 主研方向: 计算机辅助设计, 虚拟人技术; 李 焱, 副教授、博士; 贺汉根, 教授、博士生导师

**收稿日期:** 2007-07-17 **E-mail:** lv1978@163.com

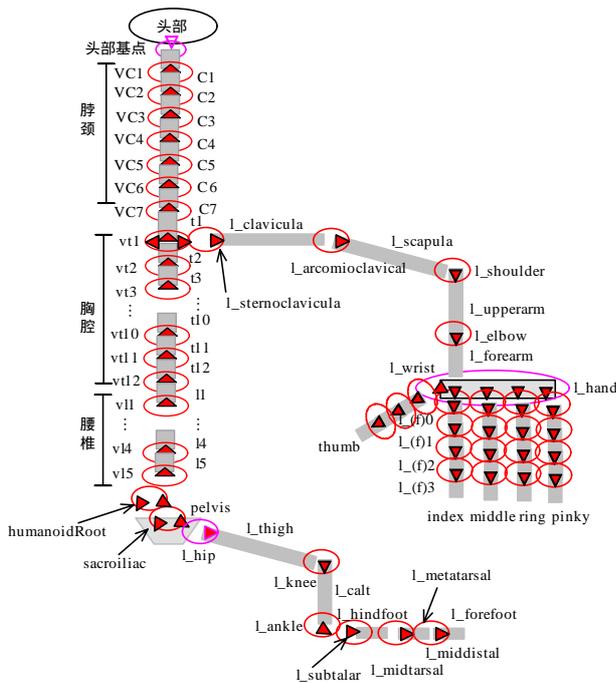


图1 H-Anim1.1 标准结构层次

## 2.2 人体骨架提取

人体骨架由关节点和末端点按照关节的拓扑结构用连线表示。由于人的体形的不同，关节位置也不同。关节的计算采用中心法，即选取父关节的附属段和当前关节的附属段边界相交部分的中心作为当前关节轴的中心。参考图 2，以右肘关节为例，其关节中心点为右前臂和右上臂身体段相交边界部分的中心。

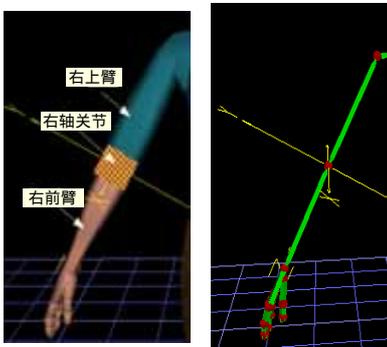


图2 右肘关节中心计算和右上肢骨架示意图

定义边界顶点集合 $S$ 为关节处两身体段相交部分，集合 $S$ 的半径 $r$ 定义为 $S$ 中 2 个顶点元素间最大距离的 1/2，则关节 $J$ 的中心点 $C_j$ 计算步骤如下：

- (1)初始化：将集合 $S$ 置为空集，令 $S = \phi$ ；设定 $S$ 的半径为 $r_0$ 。
- (2)找到当前关节附连的身体段 child\_seg 以及父关节附连的身体段 father\_seg。
- (3)在 child\_seg 多边形网格中寻找满足条件的顶点 $P$ ，即对于顶点 $P$ ，若存在 father\_seg 上的顶点 $P'$ ，使得距离 $|PP'| \leq r$ ，则将 $P$ 加入集合 $S$ 。
- (4)在 father\_seg 多边形网格上寻找满足条件的顶点 $P$ ，即对于顶点 $P$ ，若存在 child\_seg 上的顶点 $P'$ ，使得距离 $|PP'| \leq r$ ，则将 $P$ 加入集合 $S$ 。
- (5)计算关节的中心点 $C_j$ ：

$$C_{j-x} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P_x$$

$$C_{j-y} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P_y$$

$$C_{j-z} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P_z$$

其中， $m$ 为集合 $S$ 的元素个数。

肢体末端点(如手指末端)定义为该肢体段上与其附属关节中心点距离最远的点，计算出每个关节中心和肢体末端点后，将这些点按照 H-Anim 标准定义的关节拓扑结构连线便可获得人体的骨架。

## 3 人体运动模型

### 3.1 坐标系的定义

在描述人体运动模型时，将各身体段抽象为简单刚性几何实体，关节抽象为一个球体，用各关节之间的相对位置和姿态变化描述人体运动。即当前关节位置或姿态变化时，依附于该关节的身体段及其子关节也随之变化，产生依附于骨架的刚性皮肤运动。为了描述人体姿态和位置变化，需要定义 3 种坐标系：世界坐标系，人体基坐标系和各关节的局部坐标系，如图 3 所示。

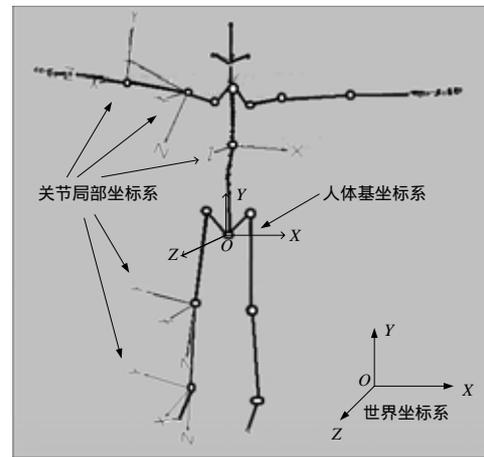


图3 3种坐标系定义

人体模型的初始姿态为：两臂张开平伸，两眼平视前方，双腿并拢放松站立。参照图 3，3 种坐标系的定义规则如下：

- (1)世界坐标系的定义与 OpenGL 中坐标系的定义一致。
- (2)人体坐标系的设定规则为：取腰部身体段与腰椎身体段相连部分的骶骨关节为人体质心，并在该关节处定义人体的基坐标系，其方向与世界坐标系一致，即水平面与额状面的交线为 $X$ 轴，额状面与矢状面交线为 $Y$ 轴，水平面与矢状面交线为 $Z$ 轴。
- (3)关节局部坐标系的定义为：关节轴线方向为 $Z$ 轴正方向，取上一关节与该关节连线方向为 $X$ 轴正方向，然后按照右手规则确定 $Y$ 轴的方向。肢体绕所附关节转动角度的方向为：从该轴的方向看，逆时针方向为正，顺时针方向为负，并且所有关节转动的角度均相对于初始姿态坐标系转过的角度。

### 3.2 人体运动数学模型

本文建立的人体模型<sup>[3]</sup>是由关节连接起来的多刚体系统。描述肢体段(刚体)运动变化的数学方法有齐次变换矩阵法、向量法、旋量法和四元素法等。本文采用齐次变换矩阵来描述人体模型的运动学问题，其优点是可统一位置与姿态的描述，灵活地表示肢体在不同坐标系中的运动变换和映射。

下面介绍人体模型中肢体段的位置、姿态表示及运动学模型。

(1) 肢体段的位置和姿态表示

设肢体段  $B$  坐标系原点为该肢体所附关节  $A$  的中心点，设肢体段  $B$  相对于当前所附关节坐标系  $A$  的 3 个基本矢量为  $x_B, y_B, z_B$ ，若其依次绕当前关节坐标系  $A$  的  $X, Y, Z$  轴旋转过的角度为  $\alpha, \beta, \gamma$ ，则肢体段的旋转矩阵可表示为

$${}^A_B R = [x_B \ y_B \ z_B] = Rot(z, \gamma) \cdot Rot(y, \beta) \cdot Rot(x, \alpha) = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \quad (1)$$

由于肢体段  $B$  的位置  ${}^A_B P$  与当前关节坐标系  $A$  的原点相同，则肢体段  $B$  在关节  $A$  坐标系的位置和姿态用齐次变换阵可表示为

$${}^A_B T = \begin{bmatrix} {}^A_B R & {}^A_B P \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & 0 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & 0 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

(2) 运动学方程<sup>[4]</sup>建立

图 4 是相邻关节坐标系之间的变换示意图。

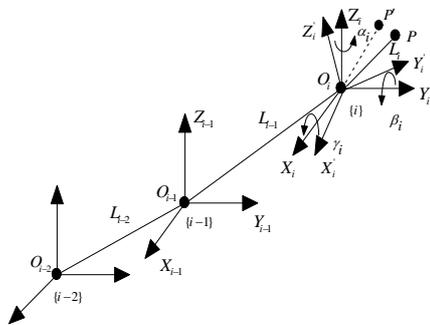


图 4 相邻关节的坐标系变换

设关节  $O_i$  是关节  $O_{i-1}$  的子关节，关节  $O_i$  在父关节  $O_{i-1}$  中的旋转矩阵为  ${}^{i-1}_i R$ ，在父关节  $O_{i-1}$  中相对的位置  ${}^{i-1}_i P$ ，则关节  $O_i$  在  $O_{i-1}$  坐标系中用齐次变换阵可表示为

$${}^{i-1}_i T = \begin{bmatrix} {}^{i-1}_i R & {}^{i-1}_i P \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

重复使用式(3)可得到关节坐标系  $j$  在关节坐标系  $i(i < j)$  中的齐次变换阵：

$${}^i_j T = {}^i_{i+1} T \cdot {}^{i+1}_{i+2} T \cdots {}^{j-1}_j T \quad (4)$$

设世界坐标系  $O_{-1}$  为人体基坐标系  $O_0$  的父关节，则肢体段  $B$  (其附属关节为  $n$ ) 在世界坐标系的齐次变换阵为

$${}^{O_{-1}}_B T = \left( \prod_{i=0}^{n-1} {}^i_{i+1} T \right) \cdot {}^n_B T \quad (5)$$

肢体末端的线速度和角速度可用关节位移和肢体末端端的微分关系表示，这里用雅可比矩阵表示关节空间到肢体末端空间的线性映射关系。给定函数  $X = f(\theta)$ 。其中， $X$  为肢体末端组成的目标空间，设其为  $m$  维变量； $\theta$  是关节空间的  $k$  维变量。则雅可比矩阵  $J$  是  $m \times k$  阶偏导数矩阵。

$$dX = J(\theta)d\theta \quad (6)$$

在三维空间中， $dX$  是 6 维速度矢量，包含 3 个方向的线速度和 3 个方向的角速度， $d\theta$  是  $k$  个关节的微分旋转，每一个关节包含 3 个方向的角速度矢量。设人体模型各关节都有 3 个转动自由度，对于肢体末端  $n$  相对于世界坐标系  $O_{-1}$ ，其雅可比矩阵  $J$  为  $6 \times 3(n+1)$  阶矩阵。

$$J(\theta) = [J_{x0} \ J_{y0} \ J_{z0} \ | \ J_{x1} \ J_{y1} \ J_{z1} \ | \ \cdots \ | \ J_{xn} \ J_{yn} \ J_{zn}] \quad (7)$$

其中，

$$J_{xi} = \begin{bmatrix} n_i \times ({}^w R_n^i P) \\ n_i \end{bmatrix}, J_{yi} = \begin{bmatrix} o_i \times ({}^w R_n^i P) \\ o_i \end{bmatrix}, J_{zi} = \begin{bmatrix} a_i \times ({}^w R_n^i P) \\ a_i \end{bmatrix} \quad (8)$$

其中， $n_i, o_i, a_i$  分别为关节  $i$  关于世界坐标系的旋转变换矩阵  ${}^w R_n^i$  的 3 个列矢量； ${}^w R_n^i P$  为肢体末端  $n$  相对关节  $i$  坐标系的齐次变换矩阵  ${}^i_n T$  中的位置矢量(第 4 列)。由式(6)~式(8)可计算出肢体末端相对于世界坐标系的速度矢量。

4 实验结果

在建立虚拟人的几何模型和运动模型的基础上，针对 Poser 输出的不同的人体姿势，在 VC++6.0 平台上对人体骨架进行了提取，并用关键帧线性插值法模拟了敬礼动作，实验结果如图 5 和图 6 所示。

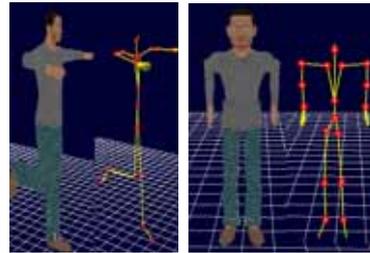


图 5 不同姿势下的骨架提取结果

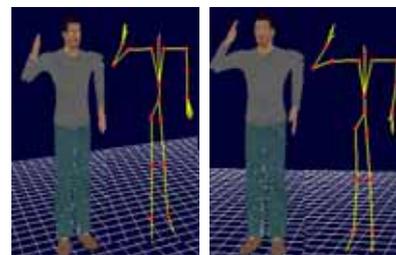
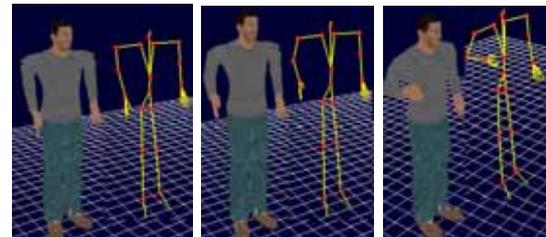
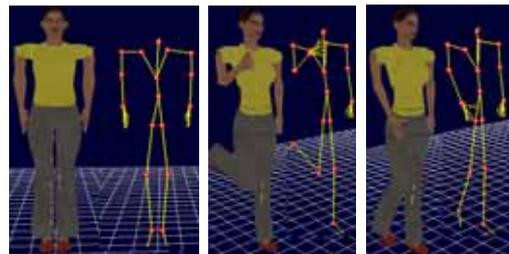


图 6 虚拟人敬礼右臂运动过程截图

5 结束语

虚拟人作为一门新兴的学科，涉及到动画、计算机图形学、生理学、心理学、生物力学、机器人学和人工智能等多个研究领域，虚拟人的研究是一个具有理论意义和实用价值的基础课题，而虚拟人建模是研究虚拟人的基础。本文介绍了一种基于 Poser 模型的人体建模方法，提出了一种人体模型骨架自动提取算法。人体几何模型采用表面模型实现，运

(下转第 261 页)