

# 三维计算机动画中人体建模方法的研究\*

宋顺林 詹永照 薛安荣 伏劲松

(中国科学院计算技术研究所 CAD 开放实验室, 北京 100080)

(江苏理工大学计算机科学系, 镇江 212013)

**摘要** 人体建模是计算机人体动画中的基础问题. 本文给出了以多面体组合来建立粗略人体, 用多面体细分来逼近真实人体曲面的方法, 并在建模中考虑了人体的动态特性, 为建立人体动画模型创造了条件.

**关键词** 建立模型, 计算机模拟, 多面体, 划分, 外型, 设计, 计算机图形学.

造型是三维计算机动画的基础, 在三维计算机人体动画中, 首要问题就是构造出逼真的人体模型, 并且要同时考虑人体模型的动态特征.

人体的外形主要是由人体的骨骼结构和附着在骨骼上的肌肉运动决定的, 在人体运动过程中, 皮肤的形变随着骨骼的弯曲和肌肉的伸展与收缩而变化. 人体外型建模通常采用棒模型、表面模型和体模型三种方法<sup>[1]</sup>. 棒模型是将人体轮廓用棒图形和关节来表示, 该模型很难区分遮挡情况, 表示的真实感较差, 此外, 如扭曲和接触等运动是无法表示的. 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型, 该模型可以通过修改表面点来表示人体部位的运动, 也可以消除其隐藏面, 真实感较强, 但有限的多边形面表示人体表面光滑性不够. Komatsu 采用 Bezier 曲面来模拟人体皮肤模型<sup>[2]</sup>, 即将人体的每一部位定义成一个 Bezier 曲面集, 并把这些曲面集光滑地连接在一起, 用 Bezier 曲面集的坐标变换来模拟与人体活动一致的自然的皮肤变化. 采用这种方法, 处理数据量是十分庞大的, 并且建立光滑连接的皮肤活动模型难度较大. 体模型是由基本体素的组合来表示人体外型, 如采用圆柱体、椭球体、球体等体素来构成人体, 该模型也无法表示表面的局部变化, 逼真度不够. 因此, 我们采用多面体组成人体的初步设计, 设置人体关节多面体来反映人体的动态特征, 交互式地修改多面体顶点坐标来构造人体的粗略模型, 通过多面体细化方法近似表示实际人体曲面.

## 1 人体外型设计

人体外型是由各个部位和相应关节组合而成, 每个部位用部位多面体来模拟, 相应关节

\* 本文 1994-05-19 收到, 1994-07-18 定稿

作者宋顺林, 1947年生, 副教授, 主要研究领域为计算机软件及计算机图形学. 詹永照, 1962年生, 讲师, 主要研究领域为计算机图形学及计算机动画. 薛安荣, 1964年生, 讲师, 主要研究领域为计算机图形学及计算机动画. 伏劲松, 1966年生, 博士生, 主要研究领域为计算机图形学, 人工智能.

本文通讯联系人: 宋顺林, 镇江 212013, 江苏理工大学计算机科学系

用关节多面体来模拟,部位体与关节体是有区别的,部位体与关节体之间留有一定的间隙.关节体是没有厚度的两个重叠的多边形构成的多面体.部位体是由多个多边形组合而成,并且具有体积.一般来说交替安置关节体和部位体,采用胶接处理,连成一体,来构造一个人体的粗略外型.人体运动过程中,关节世界坐标将产生位移,关节与关节之间的部位体将有相对角度变化,在人体动画中,我们可以很方便地分别计算部位体和关节体的坐标变换,然后胶接处理,产生一帧帧的动画图形.

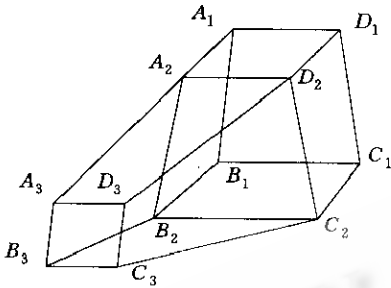


图1 小腿的多面体

### 1.1 部位体设计

部位体为一多边形棱柱.组成该棱柱的多边形我们称为片,片设计类似于人体的横截面,通过选择人体部位横截面的每一个特征点来设计片.例如人体小腿可用3个四边形  $A_1B_1C_1D_1$ 、 $A_2B_2C_2D_2$  及  $A_3B_3C_3D_3$  连接而成(如图1所示).

我们应用由 LISP 语言开发的 PRISM(Prototypal Interactive Solid Modeler) 实验系统构造小腿的

程序段为:

```
(setq cll3'(((210 -20 18)(210 -55 18)(210 -60 -30)(210 -15 -30))
((255 -20 19)(255 -53 19)(255 -63 -40)(255 -12 -40))
((380 -20 12)(380 -40 12)(380 -40 -12)(380 -20 -12))))
(setq s23r (skinn cll3))
```

### 1.2 关节体设计

关节体为仅有一个多边形组成的体结构.该多边形的顶点为关节部位的特征点,选取的特征点数应与上下部位体片多边形相一致.因为小腿的片为四边形,所以膝关节片与踝关节片都为四边形.构造膝关节体与踝关节体的程序段为:

膝关节

```
(setq cll2'(((190 -15 25)(190 -60 25)(190 -60 -28)(190 -15 -28))))
(setq s22r (skinn cll2))
```

踝关节

```
(setq cll4'(((390 -20 12)(390 -40 12)(390 -40 -12)(390 -20 -12))))
(setq s24r (skinn cll4))
```

为了表示部位体以关节为中心的运动旋转特性,在关节体设立目标坐标系  $ax$ ,例如在膝关节中心设立目标坐标系  $ax21$ ,在踝关节中心设立目标坐标  $ax31$ ,并分别将  $ax21$  移至世界坐标  $(190, -40, 0)$ ,  $ax31$  移至世界坐标  $(390, -30, 0)$ ,其程序段为:

```
(setq ax21 (axis 30))
(shifts ax21 190 -40 0)
(setq ax31 (axis 30))
(shifts ax31 390 -30 0)
```

### 1.3 胶 接

将多面体相邻的面的对应顶点连接就产生棱,擦除相邻的面,二个实体就胶接为一个实

体. 对于每个相邻的面都重复这样的过程, 就可以产生初始的粗略人体.

一般来说, 二个相邻面的顶点数应相等. 若相邻面的顶点数目不一致时, 必须在某一相邻面上增加新的顶点, 或在另一相邻面上擦除某些现存的顶点, 使它们的顶点数相等. 若某一邻接面  $f_1$  与另一邻接面  $f_2$  的某一部分胶接时, 则应在邻接面  $f_2$  上增加棱, 将  $f_2$  分割成几个面, 然后选取其中的某一面与  $f_1$  胶接. 例如脚掌体的片为 20 边形, 脚趾为四边形, 则在脚掌片上增加 8 条棱, 将该片划分成 9 个四边形, 相间选取其中的 5 个四边形分别与 5 个脚趾胶接. 脚的造型如图 2 所示.

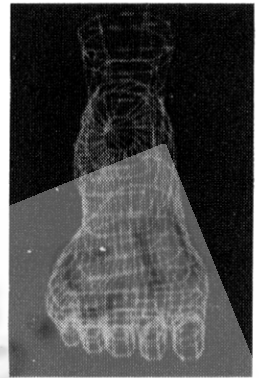


图 2 脚的造型图

### 1.4 肌肉的动态特性表示

人体在活动过程中, 肌肉将产生复杂的变形, 但一般来说, 人体的某一部位可以分解为两部分, 一部分是几乎没有变形的骨骼, 而另一部分为在人体运动过程中有明显变形的肌肉. 图 3 给出了小腿的某一横断面. 图 3 中线段  $P_1P_2$  给出了给定部位的高度  $h$ , 和骨骼的中心位置  $O$ . 线段  $P_1P_2$  分别绕点  $O$  转过  $\theta$  角度后的位置为  $A_2, C_2$  和  $D_2, B_2$ , 四边形  $A_2B_2C_2D_2$  即为该部位的四边形片, 如图 3 所示. 在运动过程中, 旋转中心  $O$  将发生偏移, 肌肉隆起就是通过肌肉部位的半径增大来实现的.

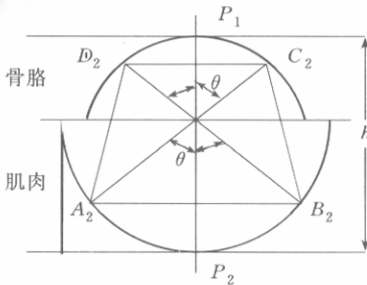


图3 部位四边形片特征点设计

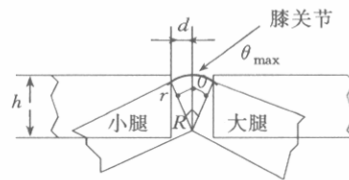


图4 间隔  $d$  示意图

由于关节活动, 将引起皮肤的伸展和收缩. 为了避免因皮肤收缩引起的实体之间的干扰, 在关节体和部位体之间留有一定的间隔. 然而间隔的大小应根据弯曲关节角的最大值  $\theta_{max}$ , 片直径  $h$  和片旋转中心  $O$  的位置来确定, 如图 4 所示. 假设旋转中心  $O$  将片直径  $h$  分割成小半径  $r$  和大半径  $R$ , 则部位体与关节体之间的间隔  $d$  为:

$$d = R \cdot \sin \frac{\theta_{max}}{2} \tag{1}$$

只有这样才能保证在关节活动时不至于引起皮肤的重叠. 然而一般来说, 若没有交互功能, 间隔  $d$  是很难调整的.

## 2 多面体细分割

多面体细分割是由 Catmull 和 Clark 提出来的  $B$  样条曲面生成方法<sup>[3]</sup>, 对于任意的不规则控制点网格能生成自由曲面, 同时曲面生成过程具有阶段性、直觉性, 特别适宜于调试

性的交互式曲面设计.

### 2.1 多面体细分的基本原理

在多面体各面上产生与原顶点相等数量的新顶点,新顶点按 Doo&Sabin 方法产生<sup>[4]</sup>.

设某一  $n$  边形的  $n$  个顶点的位置向量分别为  $V_1, V_2, \dots, V_n$ , 产生的新顶点的位置向量分别为  $V'_1, V'_2, \dots, V'_n$ , 则  $V'_i$  按下式计算求得:

$$V'_i = \sum_{j=1}^n W_{ij} \cdot V_j \tag{2}$$

其中  $W_{ii} = (n+5)/4n$  ( $i=j$ );  $W_{ij} = [3+2\cos(2\pi(i-j)/n)]/4n$  ( $i \neq j$ )

由新顶点组成的面有下列三种情况(参见图 5):

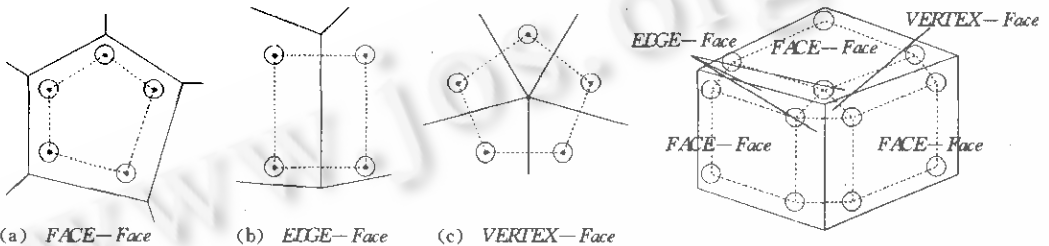


图5 新顶点生成面

- (1) 连结同一面上的新顶点的棱产生的新面(face-face);
- (2) 由旧棱两端点分别在两侧面上产生的四个新顶点组成的新面(edge-face);
- (3) 对应于旧顶点在相交各面上产生的新顶点组成的新面(vertex-face).

一般递归重复进行这种多面体细分,面数大约以 4 倍速率递增. 在第二次以后的细分中,非四边形数量一定,不再增加. 这是因为 edge-face 都是四边形,连结新顶点的棱必为 4 条,递归 2 次后 Vertex-face 也都成为四边形.

采用 Doo&Sabin 方法进行多面体细分的主要特征是,细分多边形格子能产生接近双二次  $B$  样条曲面的格子.

### 2.2 多面体细分在人体造型中的应用

将一个由多面体组成的人体初步粗设计通过多面体细化的方法,能产生二次  $B$  样条曲面来近似地表示实际人体. 这比直接用 Bezier 曲面集的拼接构造皮肤模型要简单得多,输入的数据也少,而且我们可以交互式地控制细分次数,得到较逼真的人体曲面模型.

在人体活动过程中,人体模型将产生变形,我们采用了直接变形法,即先对人体多面体进行必要的变形,然后使用细分的方法. 这种方法的特点是控制变形的参数少,变形容易,同时能保持多面体细分在人体变形前后的平滑过度.

在设计一个人体模型中,最重要的就是设计一个基于表面起伏和由于运动引起形变的片. 我们通过特征点来设计初始的片,可随着人体多面体的细分,在特征点的周围产生新的多边形片顶点,我们希望随着人体多面体的逐步细分,多边形片能更加逼近人体的相应横断面,实现人体曲面近似. 可要做到这一点,特征点的选择相当困难. 为此我们选用由 LISP 语言开发的交互式立体造型系统 PRISM,可以交互式地修改特征点坐标,得到令人满意的

人体造型图显示. 人体躯干造型图如图 6 所示.

### 3 结 论

本文提出了采用多面体胶接构造人体粗略模型, 应用多面体细分方法实现人体曲面近似, 使用交互式的方法来控制部位体与关节体之间的间隔. 修改特征点的坐标, 实现逼真的人体显示. 在设计人体模型的同时, 考虑到人体活动的动态特性, 为实现真实感强的人体动画显示创造了条件.

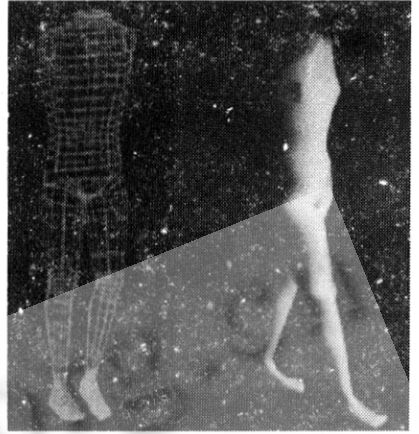


图 6 人体躯干造型图

### 参考文献

- 1 Thalmann N M, Thalmann D. Computer animation theory and practice. 2th ed., Tokyo: Springer-Verlag, 1990. 129-152.
- 2 Komatsu K. Human skin model capable of natural shape variation. Visual Computer, 1988, (3):265-271.
- 3 Catmull E, Clark J. Recursively generated B-spline surface on arbitrary topological meshes. CAD, 1978, 10(6): 350-355.
- 4 Doo D, Sabin M. Behavior of recursive division surfaces near extraordinary points. CAD, 1978, 10(6):356-360.

## RESEARCH OF MODELING OF HUMAN BODY IN THREE DIMENSIONAL COMPUTER ANIMATION

Song Shunlin Zhan Yongzhao Xue Anrong Fu Jinsong

(CAD Laboratory, Institute of Computer Technology, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

(Department of Computer Science, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212013)

**Abstract** Modeling of the human body is a basic problem in computer animation of the human body. This paper presents a method which uses combination of polyhedra to establish an initial rough design of the human body and polyhedral subdivision to approximate the curve surface of the realistic human body. In addition, it also considers the dynamic features of the human body and creates a fine condition for the establishment of the human body animation.

**Key words** Model building, computer simulation, polyhedrons, division, outlines, design, computer graphics.