

文章编号 :0253-9721(2007)12-0084-05

基于三次样条的三维服装模型的建立

夏平^{1,2}, 姚进¹, 罗全华¹

(1. 四川大学 制造学院, 四川 成都 610064; 2. 成都纺织高等专科学校, 四川 成都 611731)

摘要 根据标准女体服装人台表面的部分三维测量数据, 进行经纬向的三次样条插值计算, 获得服装人台表面型值点间的插值点三维坐标, 采用小平面对逼近的方式应用 OpenGL 的图形功能, 建立计算机三维服装人台的模型, 并实现参数化控制, 以获得不同体型和尺寸的服装人台模型。在服装人台模型的基础上, 根据人台与服装间的对应关系, 求得服装造型关键点的三维坐标数据, 利用 OpenGL 的图形功能建立计算机三维服装模型。并应用 VC++ 的 FMC 的对话框模式, 实现利用便捷的人机界面对服装人台的参数化控制和不同服装款式的选择。

关键词 三次样条; 服装人台; 服装模型; OpenGL

中图分类号: TS94 文献标识码: A

3-D modeling for garment based on cubic spline

XIA Ping^{1,2}, YAO Jin¹, LUO Quanhua¹

(1. School of Manufacturing Science and Engineering, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610064, China;

2. Chengdu Textile College, Chengdu, Sichuan 611731, China)

Abstract According to the three-dimensional (3-D) data of some points measured on the surface of a standard woman mannequin, we obtained more new interpolated 3-D data between the measured control points on the mannequin by cubic spline method in warp-wise and weft-wise, and built a parametric 3-D model for different mannequins in form and size with graphic functions of OpenGL. The surface of the mannequin was fitted by small quadrilateral planes. Then based on the model of the mannequin and the relationship between mannequin and garment, the 3-D coordinates of the key points for garment modeling was developed and the computerized 3-D model of garment for different styles was established with OpenGL. We present an interface with VC++ FMC dialogue frame to select styles of garment interactively and control the mannequin parametrically.

Key words cubic spline; mannequin; model of garment; OpenGL

在服装 CAD 领域, 尽管二维服装 CAD 技术已经非常成熟, 但由于缺乏服装立体感和真实感, 应用仍然受限。三维服装 CAD 不仅能克服二维服装 CAD 的缺陷, 还可使服装选购、试衣、生产网络化成为可能, 因此, 三维服装 CAD 已成为服装 CAD 研究的热点和发展方向。

服装和服装人台的表面及其表面上的曲线都是不规则的自由曲面曲线, 不能用一般的单一连续函数表达和建立计算机模型。可采用三次样条插值法、Bezier 法、B 样条法、NURBS 法等进行数学表达

和表面模型的建立。其中, 三次样条插值法是通过已测量出的表面型值点进行插值, 以获得表面更多的数据, 然后拟合曲面曲线的方法; 后几种方法一般通过已测量出的表面型值点进行反算控制点, 再通过控制点拟合曲面曲线。前一种方法尽管拟合的曲面曲线光滑程度有限, 但它计算方便, 简单易行, 便于快速建模; 后几种方法生成的曲面曲线较光滑, 便于控制修改, 但控制点不是测量出的表面型值点, 只有通过反算才能得到, 计算量大^[1]。本文应用三次样条插值方法, 采用小平面对逼近的方式, 在

收稿日期: 2007-02-06 修回日期: 2007-07-09

基金项目: 四川省教育厅自然科学重点项目(2004A167)

作者简介: 夏平(1965—), 男, 副教授, 博士生。研究方向为计算机辅助设计与制造。E-mail: xiahuangpp@163.com。

VC++ 环境中利用 OpenGL 建立三维服装人台模型,并根据人体体型的特征,实现对人台的参数化控制和局部体型修正仿真。然后,根据人台与服装间的贴合关系,获取服装造型点的三维数据,建立服装仿真模型,并实现对不同服装款式的选择。

1 三次样条插值原理

在区间 $[a, b]$ 内取 $n + 1$ 个离散节点, $a = x_0 < x_1 < \dots < x_n = b$, 且 $y_j = f(x_j)$ 。若函数 $S(x)$ 满足条件:1) 每个子区间 $[x_j, x_{j+1}]$ 上为三次多项式, $j = 0, 1, \dots, n - 1$; 2) 在整个区间 $[a, b]$ 上二阶连续可导; 3) $S(x_j) = y_j$, 则称 $S(x)$ 为区间 $[a, b]$ 上 $f(x_j)$ 的三次样条插值函数。

根据以上给定的一阶连续可导和 $S(x_j) = y_j$ 条件,可推导得出,当 $x \in [x_j, x_{j+1}]$ 时,有:

$$S(x) = \frac{(x - x_{j+1})^2 [h_j + 2(x - x_j)]}{h_j^3} y_j +$$

$$\begin{vmatrix} 2 & \mu_1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \lambda_1 & 2 & \mu_2 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 2 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \lambda_{n-2} & 2 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & \lambda_{n-1} \end{vmatrix}$$

上述方程组为对角占优三对角线方程组,可应用追赶法解此方程^[2-3],求得的 m_1, m_2, \dots, m_{n-1} 再代入式(1),得到每一子区间 $[x_j, x_{j+1}]$ 内的函数 $S_j(x)$ 。再通过区间 $[x_j, x_{j+1}]$ 内细分的 x_n ,可获得细分的 $S_n(x_n)$ 。

2 服装人台的三次样条插值

正如服装立体裁剪以人台为依托一样,三维服装 CAD 中服装模型的建立是以服装人台计算机三维模型为基础的,因此,须先对服装人台的三次样条插值计算。为此以三维服装人台腰截面中心为原点,建立三维直角坐标系。在服装人台上设置 18 条纬向线,12 条经向线,通过包括最能反映体型特点的肩线、胸围线、腰围线、臀围线、BP 线和颈锥点、肩峰点、乳尖点等基准线和基准点^[4]。本文采用文献测量的日本标准女装人台的 12×18 个数据作为初始表面型值点的数据^[5],以双精度型三维数组 GLdouble $Bps[][]$ 形式表示。数组 $Bps[i][j][0]$ 、

$$\frac{(x - x_j)^2 [h_j + 2(x_{j+1} - x)]}{h_j^3} y_{j+1} + \frac{(x - x_{j+1})^2 (x - x_j)}{h_j^2} m_j + \frac{(x - x_j)^2 (x - x_{j+1})}{h_j^2} m_{j+1} \quad (1)$$

式中: $h_j = x_{j+1} - x_j$; $m_j = S'(x_j)$; $m_{j+1} = S'(x_{j+1})$ 。

根据二阶连续可导可得:

$$\lambda_j m_{j+1} + 2 m_j + \mu_j m_{j+1} = g_j \quad j = 1, 2, \dots, n - 1 \quad (2)$$

式中: $\lambda_j = h_j / (h_{j-1} + h_j)$, $\mu_j = h_{j-1} / (h_{j-1} + h_j)$, $j = 1, \dots, n - 1$; $g_j = 3(\lambda_j f(x_{j-1}, x_j) + \mu_j f(x_j, x_{j+1}))$, $j = 1, \dots, n - 1$ 。

式(2)是关于未知数 m_0, m_1, \dots, m_n 的 $n + 1$ 个方程,若应用已知条件 $m_0 = f'_0$, 则 $m_n = f'_n$, 则式(2)为只含 m_1, \dots, m_{n-1} 的 $n - 1$ 个方程,写成矩阵形式为

$$\begin{vmatrix} 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \mu_{n-2} & \dots & m_{n-2} & \dots & 0 \\ 2 & \dots & m_{n-1} & \dots & 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} g_1 - \lambda_1 f'_0 \\ g_2 \\ g_3 \\ \vdots \\ g_{n-2} \\ g_{n-1} - \mu_{n-1} f'_n \end{vmatrix} \quad (3)$$

$Bps[i][j][1]$ 、 $Bps[i][j][2]$ 分别表示人台表面第 i 层纬线与第 j 条经线交汇处型值点的 x, y, z 坐标。然后应用三次样条插值函数对人台分别进行经纬向的插值计算,以获取表面经纬线上型值点间均匀的 5 个插值点的坐标。

2.1 服装人台纬向插值计算

服装人台上设置的 18 条纬线都是封闭曲线,在每条纬线上因经线的交汇共有 12 个测量的型值点,如图 1 所示。由于封闭的纬线是一多值函数曲线,即同 1 个 x 值对应 2 个 z 值,因此,将直角坐标系转换为极坐标关系,即将直角坐标 x 与 z 的关系转换为极坐标曲率半径 p 与对应角 q 间的函数关系,其转换关系为

$$p = \sqrt{x^2 + z^2}, \quad q = \pm \arctan(z/x), \quad x = p \cos q, \quad z = p \sin q \quad (4)$$

由于人体截面呈左右对称,因此,先对 0 到 6 的型值点间的纬线进行三次样条插值计算,得到型值点间的插值点坐标,再根据对称关系得到 6.7.8.9.10.11.0 点间的插值点坐标,从而可获得光滑的人

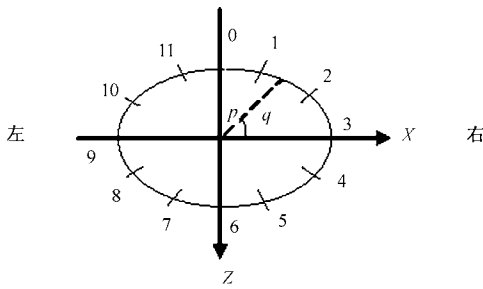


图 1 人台每层纬线的型值点

Fig.1 Control points on a latitude curve of mannequin

台纬线。

用 $p[i][j]$ 和 $q[i][j]$ 分别表示第 i 层的第 j 个(或第 j 列)型值点的极坐标半径和角度,则子区间间距为 $h[i][j] = q[i][j+1] - q[i][j]$ 。根据三次样条插值计算要求,可由追赶法求解式(3)计算第 i 层 5 个型值点的一阶导数 $m[i][j]$ (取 $m[i][0] = 0, m[i][6] = 0$)。程序主要代码为

```
for ( i = 0 ; i <= 17 ; i + + ) {
    m[i][5] = u[i][5];
    for ( j = 4 ; j >= 1 ; j - - ) {
        m[i][j] = u[i][j] - B[i][j] m[i][j+1];
    }
}
```

将各型值点的一阶导数 $m[i][j]$ 代入式(1),可知各子区间内 $q[i][j]$ 与 $p[i][j]$ 间的函数关系,再 6 等分各子区间,则计算得 36 个极坐标的半径值 $P[i][j][a]$ 。根据式(4)得各插值点的直角坐标 X 、 Z 值,其程序代码为:

```
for ( i = 0 ; i <= 17 ; i + + ) {
    for ( j = 1 ; j < 6 ; j + + ) {
        for ( a = 0 ; a < 6 ; a + + ) {
            X = X[i][n][0] = P[i][j][a] cos( q );
            Z = X[i][n][2] = P[i][j][a] sin( q );
        }
    }
}
```

对于纬线在高度方向的少量变化用线性插值方法计算,其程序为

```
Y = X[i][n][1] = Bps[i][j][1] + a( Bps[i][j+1][1] - Bps[i][j][1] ) / 6。
```

利用对称关系可求出另外 36 个插值点的坐标,最后得到每层纬线所有 72 个插值点坐标 $Bpx[i][j]$ 。

2.2 服装人台经向插值计算

经线为人台身高方向或 Y 向的曲线段,每条经线测量获取有 18 个型值点,17 段曲线。同样,应用三次样条插值法,在经线每 2 个型值点间计算出

5 个插值点,可使经线更加光滑逼真。由于纬线上已获得 72 个插值点,因此,人台上共有 72 条经线需进行插值计算。先进行 0 到 35 条经线的插值计算,然后利用人台左右对称关系,求另一侧的 36 条经线。

在经线插值计算过程中,插值函数的子区间为高度方向的 $[Bpx[i][j][1], Bpx[i+1][j][1]]$,函数值为插值点的极坐标半径,其直角坐标由转换关系求得。子区间内各插值点间的极坐标角度变化用线性插值方法计算。

3 用 OpenGL 建立服装人台模型

OpenGL 是一种图形硬件的软件接口,它包括有 6 类 250 余个库函数,是独立于硬件的高效接口,可在多种硬件平台上实现,它一般通过使用点、直线和多边形图元来构建几何模型,而图元由顶点来描述。通过服装人台表面型值点的三次样条插值计算,共获得 102×72 个分布均匀的表面插值点的三维直角坐标。OpenGL 用 $glVertex3dv()$ 函数指定这些点作为图元的顶点,在 $glBegin()$ 和 $glEnd()$ 函数之间调用^[6]。

光滑曲面可以由大量小平面逼近构造。为在计算机上显示出其立体感和真实感,必须对其进行法线向量计算和光照处理。人台光滑曲面可由人台上的经纬线交叉而形成的大量小型平面四边形逼近构造。本文中 $glBegin()$ 函数用四边形图元参数 GL_QUADS 绘制的小四边形平面来拟合服装人台曲面,并计算其法向量,设置光照渲染,建立服装人台模型。

3.1 四边形小平面逼近构造光滑曲面模型

首先,计算四边形法向量^[7]。如图 2 所示,设 ru 、 rw 为服装人台上某一小四边形平面上 2 条对角线向量,则由微分几何理论可知其归一法向量为:

$$n = (ru \times rw) / (| ru \times rw |) \quad (5)$$

若 $ru = (xu, yu, zu), rw = (xw, yw, zw)$ 则有:

$$n = ru \times rw = ((yu \times zw - yw \times zu), (zu \times xw - zw \times xu), (xu \times yw - xw \times yu))$$

然后,利用 OpenGL 的 $glBegin()$ 函数用四边形图元参数 GL_QUADS 绘制的小四边形平面,并使用 $glNormal3d()$ 函数设置法向量,从而构造出光滑曲面模型^[8]。其主要程序代码为:

```
for ( i = 6 ; i < 102 ; i + + ) {
```

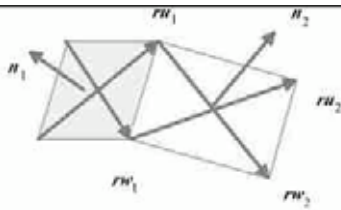


图 2 四边形平面的法向量

Fig. 2 Normals on quadrilateral planes

```
glBegin( GL. QUADS );
for( j=0; j<72; j++ ) {
...
na = yu × zw - yw × zu; nb = zu × xw - zw ×
xu; nc = xu × yw - xw × yu;
nl = sqrt( na × na + nb × nb + nc × nc );
naa = na/ nl; nbb = nb/ nl; ncc = nc/ nl;
glNormal3d( naa, nbb, ncc );
glVertex3d( Nps[ i ][ j ][ 0 ], Nps[ i ][ j ][ 1 ], Nps
[ i ][ j ][ 2 ] );
glVertex3d( Nps[ i ][ j + 1 ][ 0 ], Nps[ i ][ j + 1 ]
[ 1 ], Nps[ i ][ j + 1 ][ 2 ] );
glVertex3d( Nps[ i + 1 ][ j + 1 ][ 0 ], Nps[ i + 1 ]
[ j + 1 ][ 1 ], Nps[ i + 1 ][ j + 1 ][ 2 ] );
glVertex3d( Nps[ i + 1 ][ j ][ 0 ], Nps[ i + 1 ][ j ]
[ 1 ], Nps[ i + 1 ][ j ][ 2 ] ); }
glEnd();
}
```

3.2 场景光照和材质的设置

在场景光照和材质属性的渲染条件下,并设置小四边形平面法向量,OpenGL 的四边形图元参数 GL. QUADS 即可绘制出小四边形平面,拟合出具有真实感的三维服装人台。场景光照中光源的属性包括位置、漫射光、镜面光、环境光等,如镜面光函数为 glLightfv (GL. LIGHT0, GL. SPECULAR, white. light)。材质属性通过漫射光、镜面光、环境光等的反射色的设置来体现材质的特征,如镜面光反射色函数为 glMaterialfv (GL. FRONT, GL. SPECULAR, mat. specular)^[9]。

3.3 人台体型的参数化控制和补正处理

通过上述工作,建立起 1 个标准的女体人台仿真模型,但对应于不同体型的人体,服装人台的尺寸大小、体型体态也有较大差异。计算机服装人台仿真模型必须反映这些差异,因此,必须实现人台模型体型的参数化控制和补正处理^[10]。

本文在 VC++ 程序中首先计算出标准人台的

若干关键尺寸,包括身高、胸围、腰围、臀围、体型 (Y、A、B、C),输入具体人台的身高、胸围、腰围、臀围、体型 (Y、A、B、C),再根据两者间的实际比例,计算出相关位置服装人台表面的坐标值,从而获得不同体型的人台模型,并进行补正,如图 3 所示。

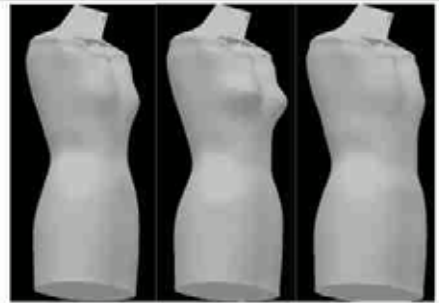


图 3 小四边形平面拟合不同体型的人台模型

Fig. 3 Models for different mannequins in form and size fitted by small quadrilateral planes

4 服装模型的建立

在服装人台模型的基础上,根据服装与人台的贴合关系,即可确定服装造型点的三维数据,以此数据可建立服装模型,并设计出不同的服装款式。

4.1 服装与人台的关系

服装设计时,必须考虑服装与人台之间因人体正常活动和服装款式造型需要而存在的空隙。服装模型的建立即以人台曲面模型为基础,根据服装与人台之间的对应关系,确定准确的服装造型点,采用一定的拟合方法生成服装曲面,实现服装的计算机造型。

人台表面与服装之间某一截面上周长的差异 ($l_1 - l$) 称为服装放松量^[11],在径向上的差异称为空隙度 I ,如图 4 所示。设人台和服装的半径分别为 R 和 r ,则有 $I = R - r = (l_1 - l)/2\pi$ 。

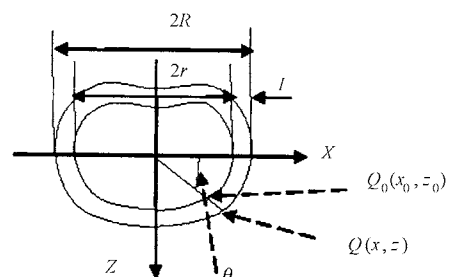


图 4 服装与人台的关系

Fig. 4 Relationship between mannequin and garment

空隙度 I 的大小可以反映服装外形呈宽松、合体还是紧身。身体不同部位即不同截面服装的空隙度和放量是不同的,多数截面上的空隙度也是不均匀的。

如图 4 所示, $Q_0(x_0, z_0)$ 为人台模型表面的一个点,则对应的服装造型点 $Q(x, z)$ 的坐标值为

$$\begin{cases} x = (I + \sqrt{x_0^2 + z_0^2}) \times x_0 / \sqrt{x_0^2 + z_0^2} \\ z = (I + \sqrt{x_0^2 + z_0^2}) \times z_0 / \sqrt{x_0^2 + z_0^2} \end{cases} \quad (6)$$

根据人台模型表面三次样条插值计算获得的 102×72 个表面插值点的三维直角坐标,以及服装与人台间空隙度大小,按照式(6)关系可计算出对应的 102×72 个服装造型点的坐标,应用 OpenGL 四边形图元参数 GL_QUADS 绘制的小四边形平面可拟合出服装曲面,同样计算小四边形平面法向量,设置

光照渲染,则建立起服装仿真模型。

4.2 服装款式选择

根据不同服装款式的需要,在服装人台相对应的位置,人为设定与服装造型对应的特征曲线和特征造型点,再以人台为基础确定相应服装上的特征曲线和特征造型点的坐标。然后,根据这些造型点的坐标,应用 OpenGL 采用与建立人台模型相同的方法即可获得不同服装款式的模型。本文初步设计了几种款式的服装供选择。利用 VC++ 的 FMC 的对话框模式,设计出便捷的人机界面^[12-13]。将图形窗口显示在对话框的右部,服装款式的选择复选框设置于对话框左下部,人台参数输入编辑框设置在对话框左上部,从而实现人台体型的参数化控制、服装款式的选择和旋转观察,如图 5 所示。

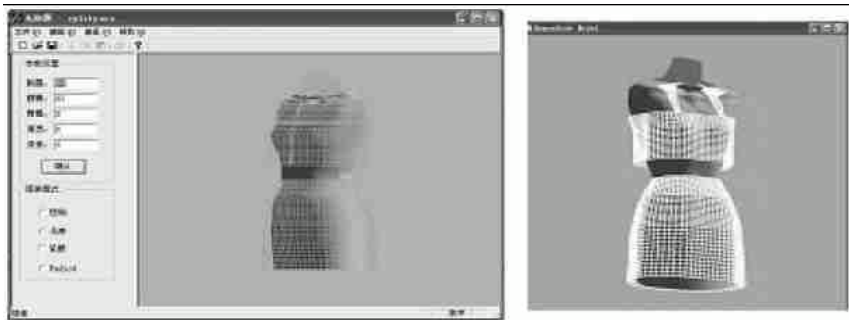


图 5 体型控制和服装款式的选择

Fig. 5 Control of mannequin and selection of garment styles

5 结 论

本文根据标准服装人台有限的经纬测量数据,在 VC++ 环境下采用三次样条插值的方法,计算服装人台表面型值点间均匀的插值点三维坐标,应用 OpenGL 图元描述功能建立了计算机三维人台模型,并实现参数化控制,获得不同体型和尺寸的三维人台模型。再以此三维人台模型为基础,根据服装与人台的关系,求得服装特征造型点的三维数据,同样应用 OpenGL 建立不同款式服装的仿真模型,并利用 VC++ 的 FMC 实现服装款式的选择操作。这种方法建立三维服装模型方便、快捷,计算量不大,模型较为逼真,能够反映出不同体型和不同款式着装的三维特征,为进一步提高着装的真实感,实现服装选购的网络化、试衣虚拟化打下良好的基础。FZXB

参考文献:

[1] 夏平,姚进.基于三次样条插值参数化的三维人台仿真模型的建立[J].成都纺织高等专科学校学报,2006

(4):19-23.
 [2] 李庆扬,王能超,易大义.数值分析[M].武汉:华中理工大学出版社,1996:48-53.
 [3] 张铁,阎家斌.数值分析[M].北京:冶金工业出版社,2001:32-35.
 [4] 海伦·约瑟夫·阿姆斯特朗.美国经典立体裁剪[M].北京:中国纺织出版社,2003:6-8.
 [5] 应力艳.三维个性化服装 CAD 系统的研究[D].浙江:浙江工程学院,2002.
 [6] 和平鸽工作室.OpenGL 三维图形系统开发与实用技术[M].重庆:重庆大学出版社;北京:清华大学出版社,2003:40-47.
 [7] 朱心雄.自由曲线曲面造型技术[M].北京:科学出版社,2001:20-21.
 [8] OpenGL体系结构审核委员会.OpenGL 编程指南[M].4版.北京:人民邮电出版社,2005:44-45.
 [9] 江早,王洪成.OpenGL VC/VB 图形编程[M].北京:科学出版社,2001:60-73.
 [10] Charlie C, Wang L.Parameterization and parametric design of mannequins[J].Computer Aided Design,2005,37(1):83-98.
 [11] 中泽愈.人体与服装[M].北京:中国纺织出版社,2003:8-9.
 [12] 胡敏,李勇.VC++ 下服装人体模型的实现[J].纺织学报,2004,25(2):57-58.
 [13] 和平鸽工作室.OpenGL 高级编程与可视化系统开发[M].北京:中国水利水电出版社,2005:9-37.