

文章编号:1001-9081(2008)08-2153-03

服装人台建模中三次样条方法的研究

夏平^{1,2}, 姚进¹

(1. 四川大学 制造科学与工程学院, 成都 610064; 2. 成都纺织高等专科学校, 成都 611737)

(xiahuangpp@163.com)

摘要:根据人台每层截面上纬向线是封闭曲线的特点,将曲线的直角坐标函数关系的转换为极坐标函数关系,进行三次样条插值计算,再转换为 x, y, z 值,其方法简单,计算量小,但拟合的人台肩颈部变形失真较大。分析了造成上述问题的曲线大挠度原因后,运用参数三次样条插值方法,采用累加玄长为参数,分别对人台经纬曲线的 x, y, z 进行插值计算,并拟合人台曲面。通过 OpenGL 模拟仿真表明,参数三次样条插值方法能够解决服装人台肩颈部的变形失真问题,使人台更具真实感,非常适合服装人台模型仿真。

关键词:人台模型;三次样条;累加玄长;OpenGL

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A

On methods of cubic spline for modelling of mannequin

XIA Ping^{1,2}, YAO Jin¹

(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 characteristics of the closed curve on every section of mannequin, the rectangular coordinates function was converted to the polar coordinates function, cubic spline interpolation conducted, and x, y, z value were converted later again. This method is simple, with less calculation. But fitting model of the shoulder and neck deformed greatly. After analyzing of the reason of large deformation, the parametric cubic spline interpolation method was used for x, y, z respectively on Warps and wefts with accumulative bowstring length as parameter to fit the surface of mannequin. Simulation with OpenGL shows that parametric cubic spline interpolation method can solve the problem of eshoulder and neck deformation, make the mannequin more realistic, and the method is suitable for mannequin model simulation.

Key words: model of mannequin; cubic spline; accumulative bowstring length; OpenGL

0 引言

人台是进行服装立体裁剪和展示服装效果的重要工具,人台的计算机仿真模型是进行三维服装虚拟设计和虚拟现实的重要基础。人台的计算机仿真模型的建立,首先要通过一定的测量方式,获取人台上能够体现人体特征的关键点三维测量数据,进行人台曲线曲面的拟合,获得其线框模型,然后用线框网格形成的小平面拟合人台表面,进行消影、光照处理,使其成为具有真实感的三维服装人台。在这个过程中,曲线的拟合非常关键,它直接反映出拟合曲面与实际人台复杂曲面相符合的程度。常用的曲线拟合方法有三次样条曲线的方法、B样条曲线方法及NURBS曲线的方法^[1]。三次样条曲线方法直接以测量获得的表面关键点为型值点,拟合通过这些型值点的人台曲线。B样条曲线方法及NURBS曲线方法需要通过已测量出的表面型值点反算控制点,再通过控制点拟合这些型值点的曲线。这几种方法拟合的曲线光滑程度非常相近^[2],但三次样条曲线方法计算简单、快速,曲线修改直接通过表面型值点进行;后两种方法便于通过控制点进行曲线局部的修改,但计算量大运算速度较慢,因此,三次样条曲线方法具有一定的优势,应用较广。但在具体应用三次样条曲线方法时,对于插值函数关系等有多种选择,不当的选择会

使仿真模型失真,出现畸形变化。本文在已有人台测量数据的基础上,选择适当的坐标系,先后采用不同的插值函数关系进行三次样条插值计算,拟合人台表面曲线,并应用VC++进行编程,在OpenGL中实现三维人台不同的仿真模型显示,经分析寻求效果最佳的具体方法。

1 人台的初始网格化处理

以人台腰截面中心为原点,建立三维直角坐标系,人体左侧为 x 轴正方向,高度方向为 y 轴正方向,腹部外侧为 z 轴正方向。利用人台的特征尺寸线、特征点,对人台进行初始经纬网格化处理,然后通过接触式或非接触式测量装置测出网格交汇点处的三维数据。为便于后续插值过程中人台体型的控制和参数变化,人台经纬网格化处理时设置的经纬线不能太多,本文设置18条封闭的经向线和12条纬向线,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线和颈椎点、肩峰点、胸点等特征尺寸线、特征点。即将人台划分为18层,每层12个测量型值点。为了简便起见,采用文献[3]测量的日本标准女装人台的数据作为初始数据。利用这些点数据在OpenGL中显示出三维人台线框模型的效果如图1所示,其光滑程度非常差。由于人台分别被经向线和纬向线网格化,因此本文分别对通过型值点的经向和纬向折线进

收稿日期:2008-03-12;修回日期:2008-05-06。 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,四川成都人,副教授,博士研究生,主要研究方向:计算机辅助设计与制造;姚进(1958-),男,四川犍为人,教授,博士生导师,主要研究方向:机器人与机构学、企业信息化、机电一体化、CAD/CAE/CAM。

行三次样条插值处理拟合光滑曲线。

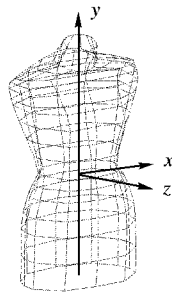


图1 人台初始网格化处理

2 三次样条插值原理

设在区间 $[a, b]$ 内有: $a = x_0 < x_1 < \dots < x_n = b$, 且 $w_j = f(x_j)$ ($j = 0, 1, \dots, n-1$), 若函数 $S(x)$ 满足条件: 1) 每个子区间 $[x_j, x_{j+1}]$ ($j = 0, 1, \dots, n-1$) 上为三次多项式函数; 2) 在整个区间 $[a, b]$ 上二阶连续可导; 3) $S(x_j) = w_j$, 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 $S(x_j) = w_j$ 条件, 可推导出, 当 $x \in [x_j, x_{j+1}]$ 时, 有分段函数:

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

其中, $h_j = x_{j+1} - x_j, m_j = S'(x_j), m_{j+1} = S'(x_{j+1})$ 。

用追赶法可求得 m_1, m_2, \dots, m_{n-1} , 根据二阶连续可导和边界条件的 m_0, m_n , 代入上式得到每一子区间 $[x_j, x_{j+1}]$ 内的函数 $S_j(x)$, 再通过区间 $[x_j, x_{j+1}]$ 内细分的 x_n , 即可获得细分的 $S_n(x_n)$ 。

应用上述方法进行插值计算, 通常可选择不同的函数关系, 包括极坐标函数关系和单参数函数关系, 在进行人台三次样条插值计算和曲线拟合中, 表现出不同的特点。

3 极坐标关系的三次样条插值

3.1 纬向线极坐标三次样条插值

人台的纬线多数处于 $X-Z$ 面内, 仅有颈部的纬线是倾斜的, 故对纬线在 $X-Z$ 面内进行 $x-z$ 的三次样条插值计算, y 的小量变化用线性插值计算。

由于每层封闭纬线是条多值函数曲线, 即同一个 x 值对应两个 z 值, 如图 2 所示, 不便构造 $x-z$ 关系的三次样条插值函数。因此, 将直角坐标系转换为极坐标系, 即将直角坐标 x 与 z 的关系转换为 $X-Z$ 面内的极径 p 与极角 q 间的极坐标函数关系 $p(q), q$ 为自变量, p 为函数, 其转换关系为:

$$p = \sqrt{x^2 + z^2}, q = \text{atan} \left(\frac{z}{x} \right) \quad (2)$$

$$x = p \cdot \cos q, z = p \cdot \sin q \quad (3)$$

在进行三次样条插值计算时,

第 1 步 将人台每层测量点的三维直角坐标值 x_{ij}, z_{ij} 根据式(2)转换为相应的极坐标 $p_{ij}, q_{ij}, i = 0, 1, \dots, 17, j = 0, 1, \dots, 11$;

第 2 步 在每层上, 以 p_{ij}, q_{ij} 的对应关系, 按照三次样条插值的原理进行计算, 由于人台呈左右对称, 故可以先在左半进行插值计算, 以 $m_0 = 0, m_6 = 0$ 作为边界条件, 获得区间

$[q_{j-1}, q_{ij}]$ 上的分段三次样条函数 $p_{ij}(q)$;

第 3 步 将区间 $[q_{j-1}, q_{ij}]$ 进行 k 等分, 将每一个等分后的 q_{ij+k} 代入分段函数 $p_{ij}(q)$ 中, 获得细化的极径 p_{ij+k} 值, $k = 1, 2, \dots, 6$;

第 4 步 将所有的 p_{ij+k} 再根据式(3)转换成 x_{ij+k}, z_{ij+k} 值, 对应的 y_{ij+k} 值采用线性插值计算;

第 5 步 根据人台左右对称关系求得另一半的三维数值。

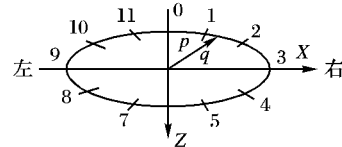


图2 直角坐标系转换为极坐标系

3.2 经向线极坐标三次样条插值

将每一层上通过纬向插值计算后得到的 72 个相对应的每一个点经向连接就得到 72 条经向折线。鉴于每条折线多数段上各点的极坐标角度相等, 对每一条折线进行三次样条插值计算时, 根据测量高度 y_{ij} 和极径 p_{ij} 的对应关系, 应用三次样条插值原理进行计算, 边界条件是导数为特定值, 求得区间 $[y_{i-1}, y_{ij}]$ 内的分段三次样条函数 $p_{ij}(y), i = 0, 1, \dots, 17, j = 0, 1, \dots, 71$ 。然后, 将 k 等分 $[y_{i-1}, y_{ij}]$ 的值 y_{i+kj} 代入分段函数 $p_{ij}(y)$, 即得到细化的 $p_{i+kj}, k = 1, 2, \dots, 6$ 。再根据式(3)同时考虑角度的变化计算出 x_{i+kj}, z_{i+kj} 值, 对应的 y_{i+kj} 即用细分 $[y_{i-1}, y_{ij}]$ 后的值。

通过上述三次样条插值计算, 即可共获得 72×102 个人台表面点云的三维数据, 为模拟光滑的人台表面提供了足够的的数据。

3.3 图形的实现

按照上述极坐标三次样条插值的方法在 VC++ 中进行编程计算, 再在 OpenGL 中的先后实现拟合的三次样条纬线图、经线图, 如图 3 所示。将拟合的经纬曲线重合, 获得有小四边形的人台三维线框图, 通过对线框图上的小四边形进行法向量计算, 应用 OpenGL 的图形显示和光照函数进行处理^[5], 获得具有三维立体感的仿真人体模型, 如图 4 所示。

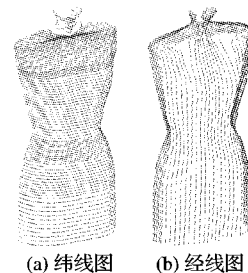


图3 人台极坐标三次样条曲线



图4 极坐标三次样条插值光照处理后的三维人台

由上述三次样条插值方法拟合的人台曲线图和三维立体感图可看出, 人台肩部以下特别是胸部以下, 线条均匀、曲面

光滑,较真实地反映出人台的体型特点,但肩部及颈部变形较大,不能真实反映人台这部分的形状特点。这是由于肩部及颈部各条曲线的挠度较大,导数容易出现极大值,引起函数突变而造成的。

4 参数三次样条插值

参数三次样条插值方法是,给定人台表面测量型值点三维坐标 $Bps(x_i, y_i, z_i), i = 0, 1, 2, \dots, n$, 选用累加弦长为参数 l , 建立以 l 为自变量的直角坐标 x, y, z 的函数:

$$x = x(l), y = y(l), z = z(l)$$

分别插值于点列 $(l_i, x_i), (l_i, y_i), (l_i, z_i), i = 0, 1, 2, \dots, n$, 仍然分别进行纬向线和经向线的插值计算。这样曲线大挠度处的直角坐标相对于累加弦长的导数就不易出现突变^[6]。

纬向线插值计算时,首先,计算测量得到的每层纬向折线累加弦长,取:

$$l_{i0} = 0$$

$$l_{ij} = \sum_{n=1}^j s_{ij} =$$

$$\sum_{n=1}^j \sqrt{(x_{in} - x_{i(n-1)})^2 + (y_{in} - y_{i(n-1)})^2 + (z_{in} - z_{i(n-1)})^2}$$

其中, $i = 0, 1, \dots, 17, j = 0, 1, \dots, 11, n = 1, 2, \dots, j$ 。

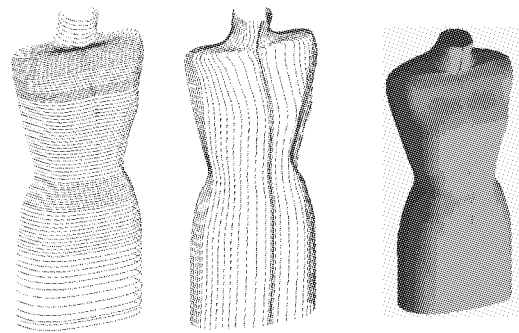
然后,分别根据每层累加弦长 l_{ij} 与相应的测量点的三维直角坐标 x_{ij}, y_{ij}, z_{ij} 的对应关系,分别计算出各自的分段三次样条插值函数 $x_{ij}(l), y_{ij}(l), z_{ij}(l)$, 当采用左右对称计算时,取边界条件为 $m_{x0} = 1, m_{x6} = 1, m_{x0} = 0, m_{x6} = 0, m_{z0}, m_{z6}$ 取特定值;

最后, k 等分参数区间 $[l_{j-1}, l_j]$ 代入分段三次样条函数,即获得细化后的三维坐标值。

经向插值计算的方法和步骤与,纬向插值相同,只是边界条件不同。人台最下部曲线近似平行于 Y 向轴线,有: $m_{x17} = 0, m_{y17} = 1, m_{z17} = 0; m_{x0}, m_{y0}, m_{z0}$ 则分别取为人台颈部初始两层测量点的 x, y, z 相对于累加弦长的导数。

按照上述参数三次样条插值的方法在 VC++ 中进行编程计算,利用 OpenGL 实现拟合的纬线图、经线前半部分图,如图 5(a) 所示。将拟合的经纬曲线组合成人台的三维线框图,计算线框图上的小四边形法向量,应用 OpenGL 的图形显示和光照函数进行处理,获得具有三维立体感和真实感的仿

真人台,如图 5(b) 所示。



(a) 人台经纬参数三次样条曲线 (b) 经处理后的三维人台
图 5 人台经纬参数三次样条曲线

由图 5 看出,采用参数三次样条插值拟合的人台整体曲线均匀,曲面光滑,肩部、颈部变化自然、形状准确,对人台进行了真实准确的仿真。

5 结语

极坐标三次样条插值和参数三次样条插值方法都能够拟合人台表面曲线,在 OpenGL 中实现真实感三维人台仿真模型显示。通过对用两种方法实现的仿真模型进行对比可以看出,采用前一种方法建立的三维人台仿真模型的肩部和肩部外形失真较大,而改用参数三次样条函数,累加弦长为参数,对人台初始测量型值点进行经向和纬向的插值计算,获得的三次样条曲线能够有效地解决第一种方法所产生的人台颈部和肩部的失真现象,更真实地反映出人台的三维立体效果。因此,参数三次样条插值非常适合服装人台模型仿真。

参考文献:

- [1] HEARN D, BAKER M P. Computer graphics[M]. 2nd ed. 北京: 清华大学出版社, 1998: 315 - 355.
- [2] 郭瑞良, 张辉. 服装 CAD 系统中的板型曲线拟合的讨论[J]. 北京服装学院学报: 自然科学版, 2002, 22(2): 64 - 67.
- [3] 应力艳. 三维个性化服装 CAD 系统的研究[D]. 杭州: 浙江工程学院, 2002.
- [4] 张铁, 阎家斌. 数值分析[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2001: 32 - 35.
- [5] SHREINER D, WOO M, NEIDER J, et al. OpenGL programming guide[M]. 4th ed. 邓郑祥, 译. 北京: 人民邮电出版社, 2005.
- [6] 莫蓉, 吴英, 常智勇. 计算机辅助几何造型技术[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 36 - 39.

(上接第 2152 页)

5 结语

通过实验证明本文提出的基于 label 的空间拓扑算子的方法可以在嵌入式系统中实现,完成图形叠置。本方法数据组织简单,只要构建拓扑图,计算弧段的 label,通过 label 构建新的几何体。利用该方法求取多边形的空间拓扑算子具有较好的一般性,不仅适用于同维度几何体空间拓扑算子的求取,而且适用于不同维度几何体空间拓扑算子的求取。在土地调查中,将该算法移植到嵌入式 GIS 系统中,在采集变更数据的同时即可进行土地要素实体在数据库中的变更,避免了一些裁剪算法的不足,具有一定的普遍性,减少了内业数据处理的工作量,提高了土地调查的效率。目前该方法已用于全国部分省市土地外业调查设备中,具有一定的工程实用性。但是该方法对于个别数据源存在多多边形的情况,在进行空间算

子求取之前需要对多多边形拆分,使每个多边形具有独立的标识码(ID),再运用该方法进行计算。

参考文献:

- [1] TAI YING - YING, WANG QING, HE JUN. The implementation of spatial operator based on label[C]// Proceeding of the 14th International Conference on Geoinformatics. Wuhan: [s. n], 2006: 64 - 71.
- [2] JTS Topology Suite, Vivid Solutions Inc. [EB/OL]. [2007 - 10 - 21]. <http://www.vividsolutions.com/jts/jtshome.htm>.
- [3] EGENHOFER M J, HERRING J R. Categorizing binary topological relationships between regions, lines and points in geographic database[R]. Orono: University of Maine, 1991.
- [5] 刘勇奎, 高云, 黄有群. 一个有效的多边形裁剪算法[J]. 软件学报, 2003, 14(4): 845 - 856.
- [6] 邵澄澄, 王庆. GIS 中基于拓扑关系的矢量图形叠置方法[J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2006, 36(5): 442 - 445.