

机织物中纱线 3D 模型的建立

郑天勇 黄 故

(天津工业大学,天津,300160)

摘 要:用 NURBS 曲面建立机织物纱线的 3D 模型及在 3D 图像上添加 1D 和 2D 纹理的原理。用来提高机织物 3D 外观模拟图像的真实感。

关键词:机织物设计 纱线 三轴向模型 三轴向图像 计算机辅助设计

中图法分类号:TS 106.4

在计算机辅助机织物设计软件中,为了提高织物外观模拟图像(绝大多数是 2D 图像)的真实程度,基本上都提供了 2D(二维)纱线设计功能,模拟织物中纱线的粗细不匀和纱线捻度。但 2D 模拟图像不能令人满意,人们开始研究用 3D(三维)图像模拟机织物外观和图案。为了更真实反映纱线在织物中的空间状态,必须建立织物中纱线的 3D 模型。

1 用 NURBS 曲面构造纱线表面模型

传统的机织物纱线截面模型被构造成圆、椭圆、跑道型、碗型和透镜型,甚至在高密织物中的长方形。在高倍显微镜下观察的纱线截面形状并不规则,不是以上截面模型中的任意一种。对不同的机织物引用不同模型,使套用 Pierce 模型计算织物结构时结果精确一些。用浮长线结合 B 样条曲线的

方法计算各类机织物结构的结果都比较精确(另文),纱线的截面形状不是非常重要的因素,但为了简单而且符合常识,纱线截面采用椭圆型。对于纱线轴向,不采用前人经常应用的正弦线结合直线的造型,而是采用 B 样条曲线。由于椭圆是二次圆锥曲线,能用 NURBS 曲线(非均匀有理 B 样条)构造,因此,可以用 NURBS 曲面构造纱线的表面。

1.1 NURBS 曲线的定义^[1~2]

NURBS 曲线是由分段有理 B 样条多项式基函数定义的,形式是:

$$\begin{aligned} C(u) &= \sum_{i=0}^n W_i P_i N_{i,k}(u) / \sum_{i=0}^n W_i N_{i,k}(u) \\ &= \sum_{i=0}^n P_i R_{i,k}(u) \end{aligned}$$

式中： P_i 是特征多边形顶点位置矢量； $N_{i,k}(u)$ 是 k 次 B 样条基函数； W_i 是相应控制点 P_i 的权因子；节点向量中节点个数 $m = n + k + 1$ ， n 为控制点个数， k 为 B 样条基函数的次数。

1.2 椭圆的 NURBS 表示^[1]

椭圆可以用如下形式的 NURBS 曲线表示：

$$P(t) = \sum_{i=0}^6 P_i R_{i,2}(t)$$

式中： $R_{i,2}(t) = W_i N_{i,2}(t) / \sum_{j=0}^2 W_j N_{j,2}(t)$

节点向量 $V_i = \{0, 0, 0, .25, .5, .5, .75, 1, 1, 1\}$ ，权向量 $W_i = \{1, .5, .5, 1, .5, .5, 1\}$ 。控制点组成的矩形长等于长轴，宽等于短轴(见图 1)。

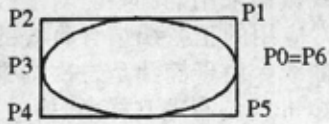


图 1 纱线截面的 NURBS 表示

如果确定了各个控制纱线截面的长、短轴和截面椭圆中心的位置，也即确定了由这些点控制的 NURBS 曲线的形状。每一个控制截面的纱线长、短轴可以根据纱线理论的圆直径和压扁系数确定。当经纱和纬纱上各个组织点的位置计算完毕后(计算方法另文)，根据^[2]反求 B 样条控制点，得到纱线截面中心的位置。

由双参数变量分段有理多项式定义的 NURBS 曲面表达式：

$$S(u, v) = \frac{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n W_{ij} P_{ij} N_{i,p}(u) N_{j,q}(v)}{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n W_{ij} N_{i,p}(u) N_{j,q}(v)}$$

$u, v \in [0, 1]$

式中： P_{ij} 是矩形域上特征网格控制点列； W_{ij} 是相应控制点的权因子； $N_{i,p}(u)$ 和 $N_{j,q}(v)$ 是 p 阶和 q 阶的 B 样条基函数，它们在节点矢量 $S \{S_0, S_1, \dots, S_{m+p+1}\}$ 和 $T \{T_0, T_1, \dots, T_{n+q+1}\}$ 上定义。

2 纱线表面细节的添加

根据纱线的 NURBS 模型得到的机织物 3D 模拟图像具有高低起伏的凹凸感和阴影效果，纱线的粗细还可以随着压扁系数的不同而产生粗细的变化，但纱线表面过于单调和光滑。为了进一步提高模拟的真实程度，采用纹理映射的方法反映纱线表面的粗糙度、捻度。如同在一个纸箱子上贴上一个木材纹理图案，使纸箱子看起来象真的木制品(图 2)。

纱线的表面细节，称纹理。一方面是由不同纤维的颜色变化构成颜色纹理，另一方面是由纱线捻度和纤维分布造成的不规则的细小凹凸构成的纹理，即凸包纹理。凸包纹理会使计算量增大很多，本文不加考虑。

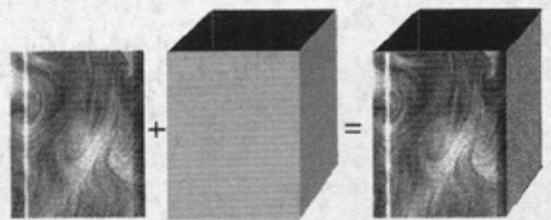


图 2 纹理效果演示图

2.1 纹理映射原理

纹理映射是将定义在纹理空间的函数，向一个目标空间映射，即把一个图像映射到另一个物体的表面。映射过程主要包括纹理坐标、纹理函数和纹理环境。纹理坐标通常可以定义为一、二、三或四维形式，称为 s, t, r 和 q 坐标，以区别于物体坐标 (x, y, z, w) 和其它坐标。一维纹理常用 s 坐标表示，二维纹理常用 (s, t) 坐标表示。 r 坐标一般不用， q 坐标和 w 坐标一样，通常取值为 1，主要用于建立齐次坐标。纹理一般是定义在正方形域 $(0 \leq s \leq 1, 0 \leq t \leq 1)$ 之上，称为纹理空间。理论上，任何定义在此空间中的函数都可以作为纹理函数。本研究中，纹理函数由图像组成，用二维矩阵定义，纹理图像被映射到 s, t 坐标范围内。

为了将纹理图案映射到三维的物体表面上，要建立物体空间坐标 (x, y, z) 与纹理空间坐标 (s, t) 的对应关系，即计算出一个基本几何图形各个顶点指定纹理坐标，该过程称对物体表面进行参数化。其步骤如下：首先，对各个三维物体的各个顶点分配纹理坐标；定义从纹理空间到目标空间的一个映射。三维物体表面上其它点的纹理坐标根据插值生成。然后，根据纹理函数，从纹理坐标中生成纹理值。一个纹理函数是由一个图像和一系列特性组成。该图像被定义为一个二维像素点阵。每个像素点有一到四个组分，一系列特性决定了怎样从这个图像中进行取样。不管像素点的维数如何，图像被映射到 $s-t$ 坐标系中，其左下角坐标为 $(0.0, 0.0)$ ，右上角坐标是 $(1.0, 1.0)$ 。纹理函数的特性组决定了纹理图像怎样被取样以及纹理函数怎样在 $(0.0, 0.0)$ 和 $(1.0, 1.0)$ 范围以外进行求值。纹理映射原理如图 3 所示。纹理图像一般为正方形或矩形，当被映射到一个多边形或曲面上并变换到屏幕坐标时，纹理的单个纹素(纹理的最小单元，也称纹理象素)很少对应于屏幕图像上的象素。根据所用变换和所用纹理映射，屏幕上的单个象素可以对应于一个纹素的一小部分(即放大)或一大批纹素(即缩小)，这时，要根据纹理函数的特性值决定使用距离象素中心最近的纹素值还是距离象素中心最近的 $2 * 2$ 纹素值加权线性平均的结果进行缩放计算。使用前者，纹理映射速度快；使用后者，纹理效果平滑。纹理坐标甚至可以超出 $(0, 1)$ 范围，并且在纹理映射过程中可以重复映射或缩放映射。在重复映射时，纹理可以在 (s, t)

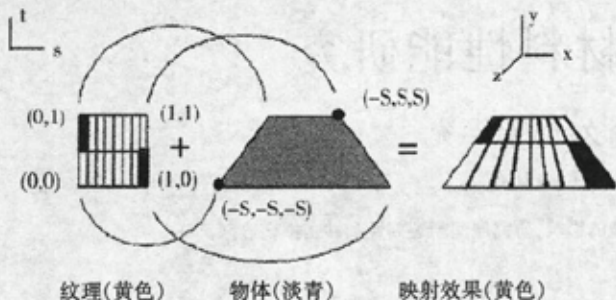


图3 纹理坐标及纹理映射原理

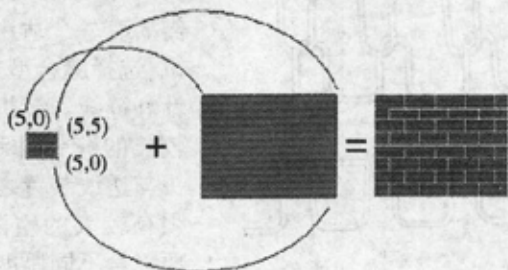


图4 重复纹理

方向上重复,如图4所示。

最后,纹理环境从输入值决定最后颜色,输入值由物体的构型和纹理函数产生。比如说,纹理环境决定是直接将纹理映射到物体表面(贴纸方式)还是与物体本身的亮度混合后映射到物体表面(混合方式)。

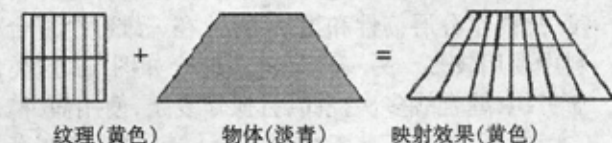


图5 贴纸方式添加纹理

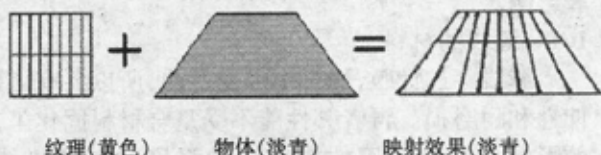


图6 混合方式添加物体表面纹理

贴纸方式添加纹理时,三维物体表面的色彩和纹理色彩是对应的,而在混合方式添加纹理中,三维物体的色相保持不变,但是光亮强度根据纹理的光亮度变化。例如,纹理图案是带有黑色线条的黄色矩形,待映射物体是淡青色。在贴纸方式下,物体将显示黄色,其上有黑色线条(图5);而在混合方式下,物体仍是淡青色,但有明暗变化,其上是淡青色的线条(图6)。

对物体添加纹理的最常见的方法是采用二维纹理映射。

2.2 纱线上生成纹理

织物表面的明暗程度对于织物模拟效果十分重要,采用混合方式添加纱线纹理较为合适。当物体表面的可见点确定后,以纹理空间的对应点的值乘以亮度值,将纹理图案映射到物体表面上。

$$C_v = C_t \times C_f$$

式中: C 表示的是在显示器象上某素点的颜色强度,代表的是其三组份红(R)、绿(G)、蓝(B)。下标 t 代表纹理图像的颜色强度、 f 代表的是未加纹理前纱线颜色强度、 v 代表的是最终的生成颜色强度。

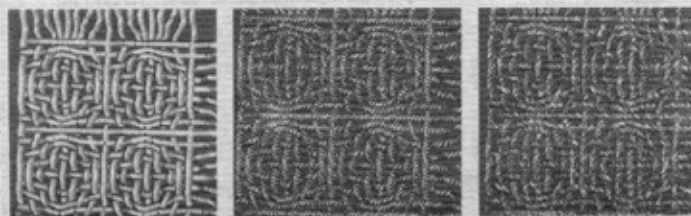
纱线纹理可以采用一维纹理,也可以采用二维纹理。单纱中,捻度朝着一个方向,相当于在纱线上加上等间距的纹理轮廓线,因此,采用一维纹理(即只有 s 纹理坐标)十分方便。此时,采用线形纹理坐标生成函数:

$$g = P_1 X_0 + P_2 Y_0 + P_3 Z_0 + P_4 W_0$$

一般情况下, W_0 取值为1, P_4 取值为0,当将向量 $\{P_1, P_2, P_3, P_4\}$ 归一化以后,该函数给出从顶点 (X_0, Y_0, Z_0) 到平面 $P_1 X_0 + P_2 Y_0 + P_3 Z_0 = 0$ 的距离。 $\{P_1, P_2, P_3\}$ 是平面的法向量,当点 (X_0, Y_0, Z_0) 位于平面法向量所指向的一侧时,生成坐标为正,反之为负,位于平面上时生成的纹理坐标为0。如果平面 $P_1 X_0 + P_2 Y_0 + P_3 Z_0 + P_4 W_0 = 0$ 与水平面的夹角等于 $\pi/2$ —纱线的捻回角,到此平面距离相等的纱线上的点的纹理坐标相等,于是在纱线表面将呈现与捻回角相同的条带。 P_3 和 P_4 都取值为0,若条带的方向向量是 $\{m, n, k\}$,则有 $m \cdot P_1 + n \cdot P_2 = 0$ 。需要指出的是,由于纱线的表面是曲面,而且纱线在织物中要发生弯曲,会造成纱线表面上的纹理角度与捻回角不能严格相等,稍有一些变形。

采用2D纹理时,纹理图案一般是BMP格式位图,要求图像宽和高所占的象素点个数是2的 n 次方。

文献[3]中介绍的机织物3D模拟外观软件是根据该原理编制而成。运行该软件,得到的图7是蜂巢组织织物在一定角度下的3D外观模拟效果图(放大)。可以看出,纱线的凹凸和阴影变化反映了蜂巢组织织物的特点,采用纹理映射的3D模拟图比没有采用纹理映射的模拟图效果又有显著改善,纱线表面的细节和捻度非常明显。



(a)不添加纹理 (b)添加1D纹理 (c)添加2D纹理
图7 蜂巢组织织物的3D外观模拟效果图(16经×16纬)

参考文献

- 1 王东泉. 计算机图形学与CAD技术. 上海: 上海交通大学出版社, 1992:190~195.
- 2 孙家广等. 计算机图形学. 北京: 清华大学出版社, 1995:292~301, 324~326.
- 3 郑天勇等. 机织物外观和图案的三维软件的开发. 天津纺织工学院学报, 1999(5):15~19.
- 4 刘晓东等. 图形库程序设计应用指南. 北京: 中国标准出版社, 1997:373~385.
- 5 白建军等. Open GL 三维图形设计与制作. 北京: 人民邮电出版社, 1999:304~306.