

段染纱线仿真模拟中的颜色渐变实现方法^①

张瑞林 曾祥慧 朱宝湘 (浙江理工大学 软件工程研究所 浙江 杭州 310018)

摘要: 在段染纱线的仿真模拟中, 如何实现段染纱线上相邻两种颜色之间的自然渐变是实现其仿真模拟的核心。首先利用数值分析中线性插值和三次样条插值的方法, 建立基本的颜色渐变模型。然后, 以双色段染纱线和三色段染纱线为例, 结合现有的基于光照模型和纱线几何结构的纱线模拟方法, 采用纹理叠加的方式, 来完成对段染单纱、加捻纱的计算机模拟。最后, 根据实际染纱工艺中具体的工艺参数, 对已建立的颜色渐变模型进行优化, 使其更具实用性, 应用也更为广泛。

关键词: 颜色空间; 纱线模型; 段染纱; 颜色渐变; 线性插值; 三次样条插值

Realization of Colors Gradient in Simulating Section Dyed Yarn

ZHANG Rui-Lin, ZENG Xiang-Hui, ZHU Bao-Xiang

(Software Engineering Institute, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: In simulating section dyed yarn, how to achieve the transition between two colors is the core. In this paper, we finish it by using the linear interpolation and the cubic spline interpolation in numerical analysis to establish the basic color gradient model. Then, taking the 2 colors and 3 colors-sections dyed yarns for example, we combine the existing yarn model with the color gradient model in the paper, in the way of texture synthesis to achieve the simulation of section dyed Yarn. At last, based on the specific process parameters in dyeing process, we optimize the established model to make it more practical and more widely.

Keywords: color space; yarn model; section dyed yarn; color gradient; linear interpolation; cubic spline interpolation

近几年, 花式纱线在国内外一直非常流行。花式纱线产品的出现成为了产品开发的新亮点, 同时也给商家带来了很好的经济效益。而段染纱作为花式纱线的一种, 也因其丰富的色彩、新颖的配色, 以及较强的立体感^[1]深受顾客喜爱。

1 引言

在段染纱线的计算机仿真研究中, 如何实现同一根纱线上相邻颜色间的自然渐变是实现其仿真模拟的核心。而由于在染整工艺中, 颜色的渗染宽度与速度不同, 这直接导致了所染出的纱线颜色表面效果的较大差异。因此, 设计一种优化的能够结合实际染纱工艺参数的颜色渐变算法, 具有更大的实用价值。

2 颜色空间介绍

2.1 RGB 颜色模型

RGB 颜色模型的颜色空间采用笛卡尔直角坐标系来定义, 三个坐标轴分别对应合成颜色的红、绿、蓝三分量。任一颜色以坐标[R, G, B]来表示, 其中 R, G, B ∈ [0, 255]。

2.2 HLS 颜色模型

HLS(色彩、亮度、饱和度)颜色模型是面向用户的。它是定义于圆柱颜色坐标系中的双六棱锥体。

在进行纱线模拟时, 因为 RGB 颜色模型不能反映亮度信息, 而 HLS 模型中的“L”就是指亮度, 故首先通过 HLS 模型提取纱线的亮度信息, 对其进行相应处理后, 再将 HLS 颜色模型转换成 RGB 颜色模型把

^① 基金项目:浙江省自然科学基金 (Y106148)

收稿时间:2009-11-06;收到修改稿时间:2010-01-18

仿真效果显示在屏幕上。两个模型的转换^[2]公式如下:

$$L = (\text{MaxValue} + \text{MinValue}) / 2$$

$$\begin{cases} S = (\text{MaxValue} + \text{MinValue}) / (2 - \text{MaxValue} - \text{MinValue}), L > 0.5 \\ S = (\text{MaxValue} - \text{MinValue}) / (\text{MaxValue} + \text{MinValue}), L \leq 0.5 \end{cases}$$

$$\begin{cases} H = (\text{MaxValue} - R) / (\text{MaxValue} - \text{MinValue}) - \\ (\text{MaxValue} - G) / (\text{MaxValue} - \text{MinValue}), R = \text{MaxValue} \\ H = 2 + (\text{MaxValue} - R) / (\text{MaxValue} - \text{MinValue}) - \\ (\text{MaxValue} - B) / (\text{MaxValue} - \text{MinValue}), G = \text{MaxValue} \\ H = 4 - (\text{MaxValue} - G) / (\text{MaxValue} - \text{MinValue}) - \\ (\text{MaxValue} - R) / (\text{MaxValue} - \text{MinValue}), B = \text{MaxValue} \end{cases}$$

3 颜色渐变模型

3.1 双色渐变简单模型

在计算机中,图像通常以矩阵形式存储,而有关图像的运算也多以像素单元为主。设想如果分别对图像的各像素点进行某种变换,建立各像素点的颜色与位置(该像素点所在列)的函数关系,就可实现颜色的缓慢平滑过渡。

为研究方便,设要实现的是黑色到白色的渐变。在 RGB 颜色空间中,黑色与白色的 RGB 各分量值如下表 1 所示。

表 1 黑色与白色的 RGB 颜色分量值

颜色分量 \ 颜色	黑色	白色
R	0	255
G	0	255
B	0	255

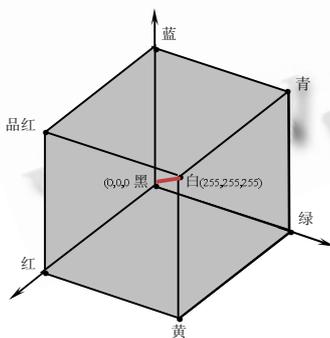


图 1 RGB 颜色空间下黑色到白色的渐变图示

根据图 1 显示,要完成从黑色到白色的逐渐变化,关键是绘制一条光滑的曲线,以建立各像素点所在位置与其所对应颜色的函数映射关系。而对于双色渐变而言,由于只有两种颜色,由图 1 看出,直线就可以

很好的表达颜色渐变的效果。因此,本文在实现颜色的双色渐变时,选用了简单的线性插值函数。

假设图像大小为 $M \times N$, 建立数学模型如下:

$$R = (R_2 - R_1) * ((x - 1) / (N - 1)) + R_1 \quad (1)$$

$$G = (G_2 - G_1) * ((x - 1) / (N - 1)) + G_1 \quad (2)$$

$$B = (B_2 - B_1) * ((x - 1) / (N - 1)) + B_1 \quad (3)$$

其中, R_1 、 G_1 、 B_1 、 R_2 、 G_2 、 B_2 分别表示要实现渐变的颜色的开始色和终结色。这里分别为 0、0、0、255、255、255; N 为图像像素点的总列数; R 、 G 、 B 分别表示图像第 x 列像素点颜色的 RGB 各分量值。

利用此模型得到黑色到白色的渐变效果如下图 2 所示:



图 2 黑白两色渐变效果图

实验结果表明,在模拟双色渐变时,应用线性插值函数的简单数学模型可以得到较为自然的渐变效果。

实现双色渐变的具体步骤可简单描述如下:

(1) 在 RGB 颜色空间坐标系中标出要完成其渐变的颜色的 R、G、B 分量值,观察其变化。

(2) 应用线性插值函数数学模型,来实现颜色分量 R、G、B 的转换,得出空间直线上各点的颜色分量值。

(3) 借助某种程序语言将所得的各点的颜色分量值在屏幕上显示出来。

应用本文建立的双色渐变数学模型,得到的其它颜色渐变效果如下图 3 所示:



(a) 蓝-粉红 (b) 绿-玫红

图 3 其它颜色渐变效果图

3.2 三色渐变模型

所谓三色渐变,即要变换的颜色共有三种,因此需要完成两次颜色转变。于是,三色渐变问题也就同样的转化为如何绘制一条连续平滑曲线,分别实现 RGB 各分量与像素点位置的一一对应。

有学者^[3]曾利用将色调按比例过渡的方法来完成不同颜色间的逐渐变化。但是由于渐变仅仅是将色调按比例转换,这样实现的渐变效果生硬,不甚理想。

本文提出在 RGB 颜色空间下利用三次样条插值^[4]来实现颜色的平滑过渡。

取整个图像区域为渐变区域，仍然设图像大小为 M*N。应用三次样条插值，分别建立各像素点所在列 x 与其所对应点处的颜色分量 R、G、B 之间的关系。以 R 为例，即要建立 R 与 x 的三次样条函数关系。

假设要实现渐变的三种颜色的 RGB 分量值分别为：R₀、G₀、B₀，R₁、G₁、B₁，R₂、G₂、B₂；且渐变区域中的颜色分布均匀，即第二种要实现渐变的颜色所在的位置恰好为第 N/2 列像素点处。建立数学模型如下：

$$R(x) = \sum_{j=0}^2 [R_j \alpha_j(x) + m_j \beta_j(x)] \quad (4)$$

其中，S(x)是三次样条插值函数；j=0, 1, 2；x ∈ [0, N-1]，x₀=0，x₁=N/2，x₂=N。α(x)和β(x)是插值基函数，且它们满足：

$$\alpha_j(x) = \begin{cases} \left(\frac{x-x_{j-1}}{x_j-x_{j-1}}\right)^2 \left(1+2\frac{x-x_j}{x_{j-1}-x_j}\right) & x_{j-1} \leq x \leq x_j \\ \left(\frac{x-x_{j+1}}{x_j-x_{j+1}}\right)^2 \left(1+2\frac{x-x_j}{x_{j+1}-x_j}\right) & x_j \leq x \leq x_{j+1} \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (5)$$

$$\beta_j(x) = \begin{cases} \left(\frac{x-x_{j-1}}{x_j-x_{j-1}}\right)^2 (x-x_j) & x_{j-1} \leq x \leq x_j \\ \left(\frac{x-x_{j+1}}{x_j-x_{j+1}}\right)^2 (x-x_j) & x_j \leq x \leq x_{j+1} \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (6)$$

其中，j=1。并且，m₀、m_n决定了颜色渐变开始和结束时的缓急程度，而 m₁由公式(7)、(8)、(9)、(10)求得。

$$\lambda_1 m_0 + 2m_1 + \mu_1 m_2 = g_1 \quad (7)$$

$$\lambda_1 = \frac{x_2 - x_1}{x_2 - x_0} \quad (8)$$

$$\mu_1 = \frac{x_1 - x_0}{x_2 - x_0} \quad (9)$$

$$g_1 = 3\left(\lambda_1 \frac{R_1 - R_0}{x_1 - x_0} + \mu_1 \frac{R_2 - R_1}{x_2 - x_1}\right) \quad (10)$$

由公式(4)、(5)、(6)可得出 R 与列数 x 的对应关系。然后取 x = 2, 3, 4... N/2-1, N/2+1, ...N-1,

计算出各列像素对应的 R 值。同理，计算出分量 G、B 的值。这样，也就得出了每一列像素点所对应的 R、G、B 值。

应用此模型，所得颜色渐变模拟效果如下图 4 所示：

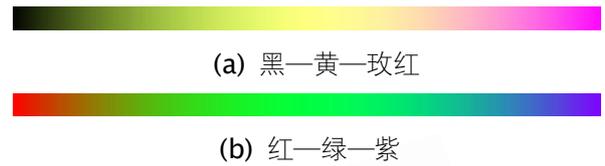


图 4 三色段染颜色渐变效果

4 颜色渐变模型在段染纱仿真研究中的应用

4.1 段染织物介绍

所谓段染就是指在同一根纱线上染上两种或两种以上的颜色。通过在染整工艺中采用特殊的染纱设备和染纱工艺进行染色，从根本上改变了传统的单色染纱方式，于在无规律中显示出规律性，在平面中凸显出立体感，五彩缤纷，层次丰富，最大程度地满足了设计与审美的需要。

4.2 段染纱线模拟

4.2.1 纱线模型^[5]

以单股未加捻纱线为例，王志东等^[6]曾把一条纱线看作是圆柱型，但圆柱模型只是简单的把纱线抽象化，没有考虑到纱线本身的一切特性。故本文将纱线看作椭圆柱状模型。

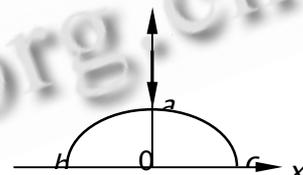


图 5 椭圆柱状的纱线模型

在纱线截面图 5 中，设 a 点处亮度值为最大值 L₀，其投影到模拟平面中的 X 坐标为 0。而对纱线表面任意点 I，设其投影到模拟平面上的 X 坐标为 X_i，对应的亮度值为 L_i。那么，对任意点 I，其投影到模拟平面所对应的亮度值为：

$$L_i = L_0 * \sqrt{1 - \frac{X_i^2}{a^2}} \quad (11)$$

这样，选定了纱线颜色后，即可以确定纱线颜色的 R、G、B 三个分量值。将其转换到 HLS 颜色空间，即可以得到纱线颜色的 H、L、S 三个分量值，然后利用上述表面光照模型，计算纱线不同位置的光照强度，

结合已得到的一系列亮度分量值逐个转换到 RGB 颜色空间，便可得到一系列计算机在绘制图形过程中可操作的实际颜色值，亦即基本实现了任一颜色由亮到暗的光滑过渡效果。

多股纱线加捻^[7]后，空间几何形态为空间螺旋线，投影到二维平面上，可视为余弦曲线，如下图 6 所示。

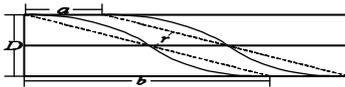


图 6 加捻纱线平面投影模拟示意图



图 7 加捻股线模拟效果图

由图 7，这样模拟出的纱线虽然体现出了纱线的明暗效果，但是毛绒效果没有得到体现。针对此情况，本文根据纱线的具体要求选择相应的拉毛算法。对于短纤维段染纱线，采用平滑扩散算法进行处理。



图 8 短纤维段染加捻股线效果

而对于毛羽比较长的段染纱线，则相应选择对其进行加噪处理或利用分形图形^[8]生成毛绒的方法。

4.2.2 颜色渐变模型在段染纱线上的应用

对利用基本纱线模型模拟出的加捻纱线光照、毛绒处理后，将本文建立的颜色渐变模型与其进行纹理叠加运算，得到实验结果如下图 9、10 所示：



(a) 红—白



(b) 绿—粉红

图 9 加捻双色段染纱线模拟效果图



(a) 黑—黄—玫红段染纱线



(b) 红—绿—紫段染纱线

图 10 加捻三色段染纱线模拟效果图

由此模拟效果图能够看出，利用本文建立的颜色渐变模型来实现颜色自然渐变，其过渡较为平缓，效果更加逼真，这为织物段染效果的计算机模拟研究奠定了基础。

4.3 模拟算法描述

设模拟出的加捻纱用矩阵 WX_Yarn 存储，颜色渐变图像以 T 存放，最终的段染纱线用 G 存储。图像大小设为 $M*N$ 。

① 建立椭圆柱状的纱线模型，实现对加捻纱线的计算机模拟。

② 对(1)中模拟出的纱线进行光照处理和毛绒处理后，将此纱线图像以矩阵 WX_Yarn 存储。

③ 选定要实现过渡的不同种颜色，然后利用本文提出的双色及三色渐变模型来模拟颜色渐变的效果，并将所得到的颜色渐变效果图以矩阵 T 存储。

④ 最后利用公式(12)对 WX_Yarn 和 T 进行纹理叠加，得到叠加后的图像。

$$G = T * WX_Yarn \tag{12}$$

⑤ 将仿真出的图像 G 在计算机屏幕上显示出来。

5 优化的段染纱线颜色渐变实现算法

在实际的段染工艺中，经常通过设定段染工艺参数如色节长度、轧印次数、留底中心距等来确定颜色的分布情况。以纯棉色织段染^[9]为例，其工艺通常要求色节长度 3cm，轧印次数 8 次，留底中心距 16cm。这样，不同的颜色渗染宽度也就导致了视觉效果上纱线颜色变化的缓急。因此，对本文所建立的颜色渐变模型进行优化处理，在已建立模型的基础上结合实际染纱工艺参数来完成对段染纱线的逼真模拟。

仍以三色为例，设颜色渗染宽度为 100 pixel，则可将这段纱线分为 5 段，即只在颜色渐变区，利用三次样条插值来实现颜色渐变。而在非颜色渐变区颜色保持不变。



图 11 纱线颜色段染宽度示意图

图 11 中，白色区域为图像的渐变区域，宽度为 100 pixel。

不同渗染宽度的颜色渐变效果如下图 12 所示：



(a) 渗染宽度=200pixel



(b) 渗染宽度=100pixel

图 12 不同的渗染宽度效果

(下接第 239 页)

6 结语

上述实验结果表明,应用线性插值函数和三次样条函数分别映射颜色空间的各个分量的方法,能够很好的实现不同颜色间的自然渐变。而且,将此颜色渐变模型应用于段染纱线的计算机模拟中,也得到了比较理想的效果。

不仅如此,将本研究结果结合染纱工艺参数应用于对段染纱线的计算机模拟研究中,具有更大的现实意义,这也进一步为织物段染效果的模拟奠定了坚实的基础。

参考文献

- 1 陈俊球,汪军. 织物外观仿真软件研发[硕士学位论文].上海:东华大学,2006.
- 2 彭群生,鲍虎军,金小刚. 计算机真实感图形的算法基础.北京:科学出版社,1999.
- 3 诸葛振荣,张凤梧. 花式纱线的计算机模拟. 浙江大学学报,2005,39(10):1529-1531.
- 4 李庆扬,王能超,易大义. 数值分析. 武汉:华中科技大学出版社,2001.
- 5 王文正. 泡纱织物特殊外观真实感模拟方法的研究[硕士学位论文].杭州:浙江理工大学,2008.
- 6 王志东,颜钢锋,张瑞林. 一种新的纱线模拟算法. 浙江工程学院学报,2004,21(2):125-127.
- 7 Ragheb H, Hancock ER. Surface radiance correction for shape from shading. Pattern Recognition, 2005,38: 1574-1595.
- 8 王东生,曹磊. 混沌、分形及其应用. 北京:中国科学技术大学出版社,1996.
- 9 谭艳,许卫东. 纯棉色织段染竹节布的生产. 纺织科技进展,2006(2):67-86.