

系统仿真学报
Journal of System Simulation
ISSN 1004-731X, CN 11-3092/V

《系统仿真学报》网络首发论文

题目：东巴画艺术风格绘制
作者：钱文华，徐丹，徐瑾，何磊，张波
网络首发日期：2020-01-03
引用格式：钱文华，徐丹，徐瑾，何磊，张波. 东巴画艺术风格绘制. 系统仿真学报.
<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3092.V.20200102.1807.021.html>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

东巴画艺术风格绘制

钱文华¹, 徐丹¹, 徐瑾², 何磊², 张波¹

¹ 云南大学信息学院计算机科学与工程系 云南昆明 650504

² 云南大学研究生院 云南昆明 650504

摘要：基于白描图绘制和色彩传输，本文提出了一种交互式东巴画数字模拟方法。针对东巴画的线条艺术风格特点，首先设计并开发了一个东巴画白描图绘制系统，针对输入的2维东巴画，通过交互方式提取图形元素，建立图案数据库，选择不同的图形元素组合后获得光滑、连续的白描图图像；其次，针对东巴画白描图，采用多频率噪声积分卷积算法模拟块状纹理的混色效果，生成东巴画前景图像；再次，提取真实东巴画艺术作品中的背景纹理图案，采用纹理合成算法产生东巴画背景图像，通过东巴画前景图像与背景图像融合获得东巴画的数字化仿真结果；最后，针对东巴画的色彩风格，采用局部色彩传输方法模拟真实的东巴画色彩分布，生成最终的具有东巴画艺术风格的结果图像。算法简单有效，是少数民族艺术风格作品数字化模拟的有效补充，有利于少数民族文化数字化保护和传承。

关键词：艺术风格模拟；东巴画；交互；白描图；局部色彩传输

中图分类号：TP391.41 文献标识码：A

Simulating Dongba art style painting

Qian Wenhua¹, Xu Dan¹, Xu Jin², He Lei², Zhang Bo¹

¹ Department of Computer Science and Engineering, Yunnan University, Kunming 650504

² Graduate School of Yunnan University, Yunnan University, Kunming 650504

Abstract: Although many methods have been proposed to simulate different art styles, the research and simulate works of artistic style of ethnic minorities are still challenging, and a few approaches can be applied to simulate Dongba art style of Naxi nationality in Yunnan province. This study proposes an interactive technique that generates a Dongba art style from a 2D image on the basis of edge extraction and color transfer. We simulate foreground image and background image respectively, and produce the final Dongba style by mixing the foreground image and the background image. First, a Dongba line drawing system is designed and developed. For input 2D Dongba paintings, the smooth and continuous line drawing is obtained by interactive selection method. Second, a multi-frequency noise integral convolution algorithm is used in the line drawing image to simulate the color of the Dongba styles, and the foreground image of the Dongba art is produced. Next, the background texture pattern is extracted from the real Dongba paintings, and the background image of Dongba paintings is generated by texture synthesis algorithm. Based on the layer-mapping technique, the algorithm merges the foreground image and the blackboard image. Finally, color transfer is used to simulate the real color distribution of Dongba paintings and generate the final artistic style image of Dongba paintings. When the different



基金项目：国家自然科学基金(61662087, 61540062)；云南省中青年学术技术带头人后备人才项目(2019HB121)；云南省科技厅应用基础研究计划项目(2019FA044, 2018FB100)；云南省杰出青年培育项目(2018YDJQ016)

作者简介：钱文华(1980-)，男，云南曲靖人，博士，教授，研究方向为非真实感绘制、计算机视觉；徐丹(1968-)，男，江苏无锡人，博士，教授，研究方向为图像处理、计算机视觉；徐瑾(1980-)，男，云南弥勒人，硕士，讲师，研究方向为图像处理。

background images are synthesized, different Dongba illustrations can be obtained. This study proposes an NPR method to generate Dongba art style of Naxi nationality. Experimental results demonstrate the effectiveness of our method in producing Dongba line drawings. The proposed method is easy, fast, and expands the artistic expression of Dongba painting.

Key words: style simulation; Dongba painting; interactive technique; line drawing; color transfer

0 引言

非真实感绘制 (Non-Photorealistic Rendering, NPR) 是利用计算机软、硬件手段来模拟和生成具有手绘艺术风格图像的一种方法, 是计算机视觉、文化计算领域的研究热点^[1]。国内外学者已经对铅笔画^[2]、水彩画^[3]、抽象画^[4]等艺术风格进行了数字化模拟。近年来, 随着非真实感绘制技术的不断发展, 研究方法不断创新、研究对象不断丰富, 研究领域从水墨画^[5]、剪纸画^[6]等艺术作品逐渐扩展到少数民族艺术风格的数字化模拟, 如云南重彩画^[7]、民族烙画^[8]、扎染蜡染^[9]等艺术风格, 取得了较好的数字化仿真效果, 极大地丰富和促进了民族文化数字化进程, 在影视作品、宣传教育、游戏动画等领域发挥着越来越重要的作用, 同时为民族文化的数字化保护、传承、弘扬提供了强有力的技术支持。然而, 不同艺术风格的数字化模拟过程中, 针对云南省纳西族东巴画的数字化模拟并不多见。

云南省少数民族东巴画是纳西族东巴文化艺术的重要代表, 是丽江东巴地区发源起来的一种民族风味独特的绘画形式, 其作品多以木片、东巴纸及麻布等为材料, 内容涉及佛神、人物、动物、植物以及妖魔鬼怪的形象, 创作过程中, 采用自制的竹笔蘸松烟墨勾画轮廓, 然后敷以各种自然颜料而成色^[10]。东巴画画法以线条为主, 融合了宗教艺术特色和各类动、植物人物象形造型, 不注重绘画对象外部的形体比例, 同时采用蓝、黄、褐等原色色彩, 色彩丰富、朴实生动、野趣横生, 表现了人与自然的和谐关系。图 1 显示了真实的东巴画艺术风格, 可以看出其绘画风格古朴原始, 其文字与绘画相结合, 亦字亦画, 古朴天然, 具有浓郁的象形文字书写特征, 被誉为研究人类原始绘画艺术的“活化石”^[11]。



图 1 东巴画艺术风格

Fig.1 Dongba paintings

东巴画以其古朴神秘的气息、浓郁的民族特色吸引了国内外学者的关注。目前, 针对纳西族东巴画创作材质、创作主题, 以及绘画风格的数字模拟研究并不多见, 此外, 尚缺乏对东巴绘画色彩、构图、数字模拟和研究。因此, 本文将从真实东巴画艺术作品的线条、色彩特征出发, 分析东巴画的创作材质、图案、色彩, 通过非真实感及相关算法数字化模拟东巴画古朴生动的画面、丰富的主题、艳丽的色彩。总体而言, 本文针对真实的纳西东巴画艺术风格进行研究, 采用了东巴画前景与背景融合的方式进行数字化模拟, 主要的贡献在于:

(1) 设计并建立了东巴画图形元素库。采用交互式方法提取东巴画图形元素, 即手动选择图形元素, 建立图形元素数据库, 从数据库中选择图形元素构建东巴画主题图案, 通过编辑获得东巴画白描图效果;

(2) 东巴画前景图像数字化模拟。针对东巴画线条的艺术风格特点, 通过形态学处理方法, 产生东巴画轮廓线条, 同时采用多噪声混色方法对白描图上色, 获得东巴画前景图像;

(3) 基于纹理合成算法获得东巴画背景图像。选取东巴画背景纹理纹样, 采用纹理合成算法扩展背景纹理样本, 对东巴画背景图像进行数字化仿真;

(4) 图像融合和局部色彩传输。采用图像融合方法合并东巴画前景和背景图像，同时基于局部色彩传输算法，将真实东巴画的局部色彩信息传输给目标图像局部区域，获得具有纳西东巴画艺术风格的结果图像。

1 系统实现框图

纳西族东巴画的造型类型多种多样、构图布局变化多端，且十分注重色彩的渲染和运用，其作品中主题对象以人物、鸟兽、鬼神、植物等为主，背景材质结构较为单一，因此，本文对东巴画的前景图像和背景图像分别进行数字化模拟，通过不同背景图像与不同前景图像的融合，产生题材各异、风格不同的东巴画数字模拟作品，图

2 显示了本文系统实现框图。在前景合成阶段，建立了图形元素数据库、交互式白描图绘制系统，生成形态各异的东巴画白描图，并通过形态学处理对图形元素进行编辑，模拟东巴画的主题对象；在前景色彩模拟过程中，采用多频率噪声线积分卷积（Line Integral Convolution: LIC）算法模拟点状块纹理混色效果。在背景合成阶段，通过纹理合成算法数字化模拟东巴画的背景材质图像。最后，通过图像融合方法对前景图像和背景图像进行融合，并通过设定局部填充区域，采用局部颜色传输方法模拟真实东巴画的原色色彩，获得最终的东巴画模拟结果。

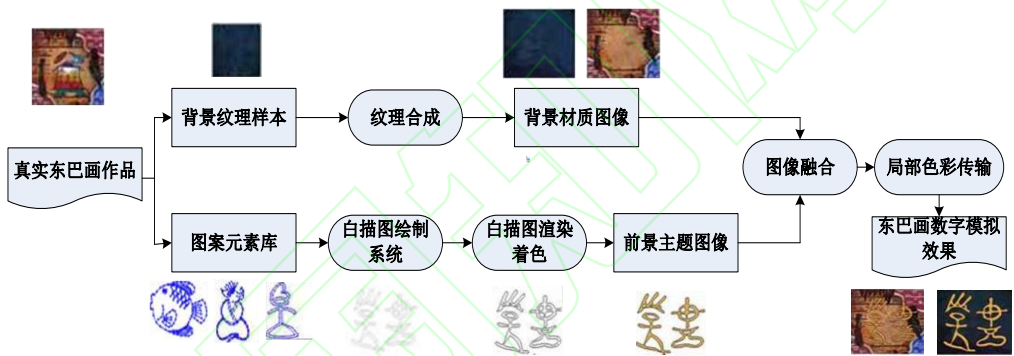


图 2 东巴画数字模拟实现框图
Fig.2 Simulation of Dongba paintings steps

2 东巴画数字模拟合成

2.1 交互式东巴画白描图绘制

真实东巴画艺术作品中主题对象丰富，以人物、动物、神兽为主，为了可以自由编辑东巴画中特有的象形文字和动植物造型，合理布局和构图，首先设计并开发了一个基于东巴画图形元素的白描图数字合成系统，该系统采用交互式手动选择方法，从真实东巴画中提取图形元素，构建图形元素数据库。东巴画数字模拟过程中，从数据库中选择图形元素，通过编辑获得东巴画白描图，图 3 显示了东巴画白描图绘制系统流程图。

在东巴画艺术风格图形元素数据库创建过程中，输入真实东巴画艺术风格图像，通过交互式手动选择方式选取图形元素，如图 4 所示，在输

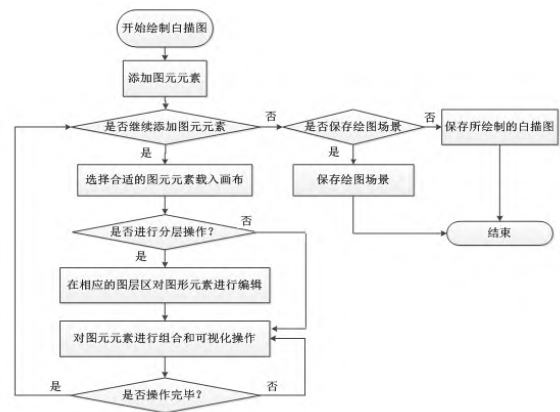


图 3 东巴画白描图绘制流程图
Fig.3 Simulation of line paintings steps

入图像中沿图形元素添加控制点，通过样条曲线连接控制点获得图形元素轮廓，图 4(a)显示了东巴画图形元素提取软件，可对控制点、连接曲线、

画布进行编辑添加、删除等操作，选取控制点并连接后，进行入库操作，图 4(b)显示了提取后的图形元素。



图 4 东巴画图形元素提取
Fig.4 Drawing elements extraction of Dongba painting

由于东巴画主题对象种类较多，分类对图形元素进行提取和存储，建立了东巴画白描图的基本图形元素库，并按页进行管理。图形元素库主要分为人物、动物和其他共三类，其中人物类主要是东巴画中象形文字人物对象，动物类为东巴画中形态夸张的招财鱼等动物对象，其他类主要为东巴画作品中各式各样的装饰对象，它们共同构成了东巴画主题对象的关键元素，图 5 展示了东巴画图形元素数据库中的图形元素。

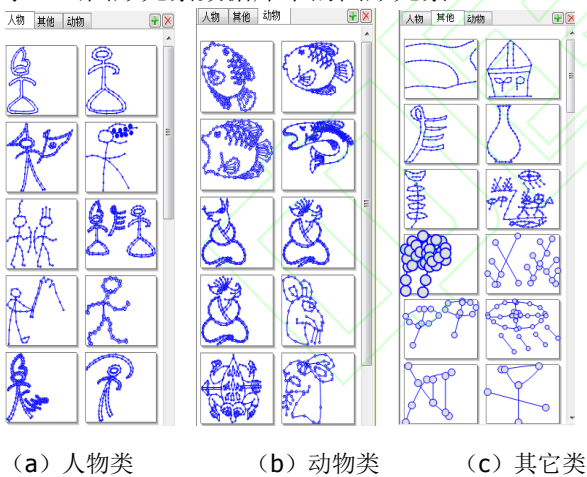


图 5 东巴画图形元素库
Fig.5 graphic element database of Dongba painting

东巴画艺术风格模拟过程中，从图形元素数据库中选择合适的图形元素，在画布区域对图形元素进行布局 and 编辑修改^[7]，例如对图形元素进行放大、缩小、旋转、拉伸等几何变换，获得合适的构图，产生布局合理的白描图，图 6 显示了采用白描图绘制系统获得的白描图。此外，通过

对东巴画图形元素进行组合、编辑，获得不同主题东巴画白描图图案，丰富了创作主题。

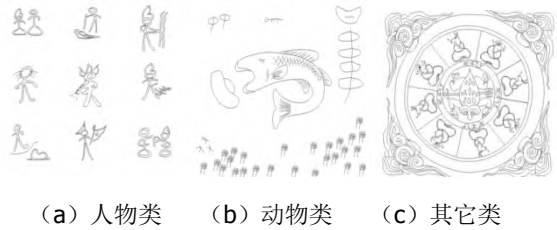


图 6 东巴画白描图绘制实例
Fig.6 Line drawings of Dongba painting

2.2 东巴画白描图线条增强

采用交互方式从数据库中选取图形元素，并通过样条曲线拟合生成的白描图线条较细、对比度不强，而真实东巴画具有线条粗犷、与背景对比度明显的特征，因此，本文采用形态学方法对生成的白描图进行线条增强处理，通过闭运算、膨胀等操作模拟东巴画线条特征，形态学操作计算如下：

$$R(x, y) = B(x, y) \oplus S + C(B(x, y) \cdot S) \quad (1)$$

其中， $B(x,y)$ 表示东巴画白描图像， $\oplus$ 表示形态学膨胀运算， $\cdot$ 表示形态学闭运算， C 表示选取的单一着色色彩，将着色后的线条叠加到膨胀运算后的白描图，获得线条增强的结果图像。图 7 显示了白描图线条增强后的效果，图 7(a)为输入白描图，图 7(b)为线条增强后的结果图像，图 7(c)为着单一红色后的结果图像，线条增强后的结果图像更加接近真实的东巴画线条风格。

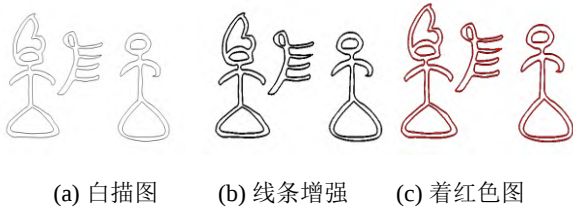


图 7 白描图线条增强
Fig.7 Enhance of Line drawings

2.3 东巴画白描图渲染着色

东巴画通常在墙壁、石块、木片、东巴纸及麻布等材料上作画，具有独特的笔刷状纹理，实

际创作中常以其中的一种颜色作为底色，其它颜色在底色的基础进行混色，产生彩色效果^[10]。为了模拟东巴画纹理和色彩特征，本文采用多频率噪声线卷积积分(LIC)算法，通过产生不同的噪声频率，合成粒度不同的噪声场，以呈现出不同类型的点块状纹理结构。此外，为了突出点块状纹理的混色效果，本文通过色彩空间变换，在 HSV 色彩空间进行色彩模拟，通过对不同的颜色通道进行扰动，模拟东巴画的色彩。具体算法步骤如下：

(1) 选取填充区域和填充颜色。在白描图中选取色彩填充的区域，并从真实东巴画作品中提取所需的颜色值；

(2) 色彩空间转换。将目标图像从 RGB 色彩空间转换到 HSV 色彩空间；

(3) 设置多频率噪声场。在 HSV 色彩空间，取出不同通道的色彩值，即分别对 H、S、V 三通道值分别计算，对 H、S、V 三通道分别加入扰动值，获得填充区域噪声值，产生高频率噪声场，对初始噪声场生成多频率噪声图，同时生成矢量场；

(4) 混色卷积。在色彩通道，设置积分步长和积分长度，基于矢量场方向，将色彩通道值与噪声场进行线积分卷积计算^[12]，将得到的结果值保存在当前通道中，合并各色彩通道值，并将 HSV 空间转回到 RGB 空间，获得东巴画混色结果图像。



(a) 目标图像 (b) 单频率模拟结果 (c) 多频率模拟结果

图 8 HSV 彩色空间点状块纹理的混色填充

Fig.8 Mixed color filling of dot block texture in HSV

图 8 显示了混色填充结果图像。图 8(a)为输入目标图像，图 8(b)为单频率噪声混色结果图像，图 8(c)为多频率噪声混色结果图像，可以看出，

通过设置噪声场，对不同色彩空间扰动并融合，获得白描图的渲染着色效果。同时，与单频率噪声相比，多频率噪声能产生细节更加丰富的纹理和色彩。通过噪声场浓度、噪声频率、矢量场方向等参数调整，产生不同色彩和纹理的结果图像，能模拟真实东巴画艺术作品中点块状纹理的混色效果。

2.4 东巴画图像融合

由于真实东巴画艺术作品可在不同材质上创作，可对东巴画背景图像进行数字化模拟，并将东巴画前景图像映射到背景图像中，产生最终的艺术风格数字模拟图像。通常材质图像呈现出规则的纹理特征，因此，本文提取真实东巴画背景纹理样本，通过纹理合成的方法扩展背景纹理图像，丰富东巴画背景图像。

纹理合成过程中，基于 Image Quilting 纹理合成方法^[13-14]，采用纹理块及像素点混合合成的思想合成背景图像，算法选取符合条件的纹理像素点及纹理块进行填充，纹理块之间通过在样本中查找匹配点的方法进行填充。具体实现过程包括^[14]：(1)纹理样本提取，设置误差值、尺寸等参数；(2)边界预处理，扩充合成背景图像和纹理样本的边界；(3)从纹理样本中选取种子点填充到结果图像中；(4)从上一匹配点选取合适的像素点填充到当前待合成区域；匹配点搜索时，设 n_1 、 n_2 表示纹理样本和合成结果图中的不同像素点，式(2)描述了采用 L2 距离计算匹配点的过程；(5)优化纹理块之间的区域，消除纹理块之间的缝合线。通过迭代上述过程，获得最终合成效果。

$$D(n_1, n_2) = \sum_{i, j \in w} \{(T(i) - T(j))^2\} \quad (2)$$

其中， D 表示计算的匹配距离， w 表示匹配窗大小 ($10 < w < 30$)， T 表示 R、G、B 三通道值， i 和 j 表示纹理样本和合成结果匹配窗中的像素点。

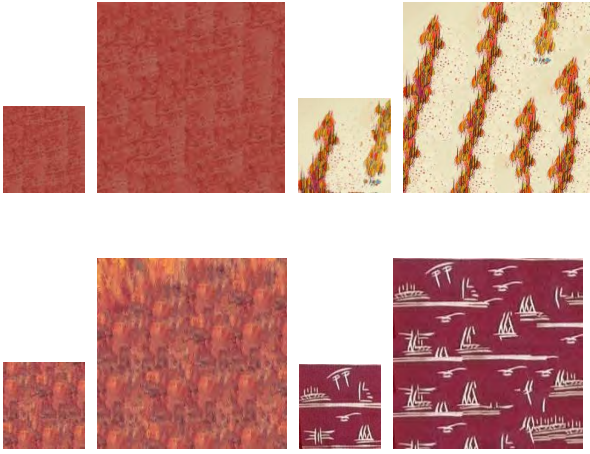


图 9 纹理合成背景图像
Fig.9 Background images based on texture synthesis

图 9 显示了纹理合成过程及结果图像，图 9 左侧小图为输入纹理样本，图 9 右侧大图为纹理合成结果图像，可作为东巴画的背景图像。通过纹理合成方法，有效对东巴画背景图像数字化合成，扩展了东巴画艺术效果的题材。之后，通过东巴画前景图像与背景图像融合获得最终的东巴画艺术效果。融合过程中，常采用色彩图层映射和光照明模型等方法^[15]，考虑到图层映射方法具有快速、高效的特点，本文通过将前景图像色彩通道信息映射到背景图像的色彩通道中，获得融合效果，既保留了前景的艺术特征，又可显示背景的材质信息。计算色彩通道时，由于 LAB 色彩空间中，L，A，B 三通道之间的相关性最小^[16]，本文将色彩空间从 RGB 转换到 LAB 色彩空间：

(1) 将东巴画前景图像和背景图像从 RGB 色彩空间转换到 LAB 色彩空间，获得 L、A、B 三通道，其中 L 表示亮度通道，A 和 B 表示色彩通道；

(2) 设 $F(x, y)$ 表示东巴画前景图像， (x, y) 表示像素点的坐标，其 L、A、B 中三通道值分别用 $F_L(x, y)$, $F_A(x, y)$, $F_B(x, y)$ 表示；

(3) 设 $B(x, y)$ 表示东巴画背景图像， (x, y) 表示像素点的坐标，其 L、A、B 中三通道值分别用 $B_L(x, y)$, $B_A(x, y)$, $B_B(x, y)$ 表示；

(4) 图像映射时，通过对两个图像的对应通道值分别按照系数叠加，获得映射效果：

$$\begin{cases} G_L(x, y) = F_L(x, y) \times \alpha_1 + B_L(x, y) \times \beta_1 \\ G_A(x, y) = F_A(x, y) \times \alpha_2 + B_A(x, y) \times \beta_2 \\ G_B(x, y) = F_B(x, y) \times \alpha_3 + B_B(x, y) \times \beta_3 \end{cases} \quad (3)$$

其中， $G_L(x, y)$, $G_A(x, y)$, $G_B(x, y)$ 分别表示融合结果图像的 L、A、B 中的三通道值， α 和 β 分别表示图层映射时的系数，实验中 $0 \leq \alpha_i + \beta_i \leq 1$ 且 $i = 1, 2, 3$ 。

(5) 将映射结果图像 G 从 LAB 色彩空间转到 RGB 色彩空间，获得最终的融合结果。图 10 显示了图像融合的结果图像，其中，图 10(a) 为输入前景图像，图 10(b) 为背景图像，图 10(c) 显示了图层映射之后的结果图像。



(a) 前景图像



(b) 背景图像



(c) 融合结果图像

图 10 图像融合结果
Fig.10 Results of image mixed

从图 10 可以看出，结果图像中保存了前景图像信息，同时映射到背景图像中。L、A、B 中

三通道融合时，通过 α 和 β 系数对映射效果控制， α 系数越大，结果图像中保留了更多的前景信息， β 系数越大，则结果图像中保留了更多的背景信息，该方法简单、速度快，通过前景图像映射到不同背景图像，扩展了东巴画的数字化模拟效果。

2.5 东巴画局部色彩传输

色彩传输指利用参考图像的色彩对目标图像的色彩进行调整，最终使目标图像的颜色与参考图像的颜色分布相似。为了使东巴画着色后尽可能多地呈现原图的色调，更加接近真实的东巴画艺术风格，本文采用色彩传输方法对图像融合结果进行色彩模拟。Reinhard 提出的全局色彩传输算法使用图像的均值和标准差来衡量图像的数据分布，对图像的一阶和二阶统计特征进行线性变换，使得目标图像具有与参考图像相似的统计特征，从而在视觉上达到色彩相似的效果[16]。



图 11 全局彩色传输算法结果

Fig.11 Results of Global color transmission

图 11 显示了采用 Reinhard 等人的全局颜色传输算法获得的实验结果，图 11(a)为参考图像，图 11(b)为目标图像，图 11(c)为色彩传输结果图像。可以看出，图 11(c)获得了与图 11(b)相似的色彩分布和色彩信息。然而，由于 Reinhard 方法为全局传输算法，改变了目标图的整体色调，局部色彩信息丢失，同时当目标图像和参考图像的色彩和构图差异较大时，造成色彩失真。因此，本文改进全局色彩传输算法，保留目标图像的局部色彩和纹理信息，减少失真。具体算法步骤如下：

- (1) LAB 色彩空间转换。将目标图像和参考图像 RGB 色彩空间转到 LAB 色彩空间[16]；
- (2) 选择 $n(n \geq 1)$ 个需要色彩传递的局部区域。在目标图像和参考图像中选择需要色彩传递的局部区域，设 P_i^k 和 P_t^k 分别为参考图像和目标图像中的对应区域， $C_s(i, j)$ 为参考图像中像素 (i, j) 某一个颜色通道值；
- (3) 计算对应区域的 AB 颜色分布统计信息。分别计算图像中不同颜色通道的平均值和标准方差：

$$\begin{cases} \mu_s^k = \frac{1}{N_s^k} \sum_{i=i_1}^{i_2} \sum_{j=j_1}^{j_2} C_s(i, j) \\ \sigma_s^k = \sqrt{\frac{1}{N_s^k - 1} \sum_{i=i_1}^{i_2} \sum_{j=j_1}^{j_2} (C_s(i, j) - \mu_s^k)^2} \end{cases} \quad (4)$$

其中， $N_s^k = (i_2 - i_1 + 1) \times (j_2 - j_1 + 1)$ ， μ_s^k 、 σ_s^k 为参考图像在第 k ($k \in n$) 个对应区域的均值和标准差，同理可得目标图像的均值 μ_t^k 和标准差 σ_t^k 。

- (4) 计算 AB 色彩传输权值。色彩传递权值表示像素点被色彩传输的影响程度，该值越大，色彩传输效果越强，可通过计算像素点与所选区域的欧几里得距离计算色彩传递权值。设 x_{ij}^k 表示第 k 个区域的欧几里得距离，权值函数 q 可计算为[16]：

$$q(x_{ij}^k) = e^{\frac{-ax_{ij}^k}{100}} \quad (i = 1, 2, \dots, w_s, j = 1, 2, \dots, h_s, a \geq 1) \quad (5)$$

其中 w_s , h_s 表示参考图像的宽和高, a 表示衰减因子。

(5) 局部色彩传输。采用式(6)计算局部色彩传输^[16]:

$$C_x(i, j) = C_s(i, j) + q(x_{ij}^k) \cdot (\mu_t + \frac{\sigma_t}{\sigma_s} (C_s(i, j) - \mu_s) - C_s(i, j)) \quad (6)$$

其中 $C_s(i, j)$ 表示参考图像中像素 (i, j) 颜色通道的值, $q(x_{ij}^k)$ 为像素点 (i, j) 的色彩传递权值, μ_s , σ_s 和 μ_t , σ_t 分别是源图像和目标图像对应区域的均值和方差。

(6) 色彩效果叠加。对多次颜色传递后的效果进行叠加, 采用式(7)完成^[16], 并将色彩空间转换到 RGB 空间, 完成局部色彩传输。

$$C_x(i, j) = C_s^{k-1}(i, j) + q(x_{ij}^k) \cdot (\mu_t^k + \frac{\sigma_t^k}{\sigma_s^k} (C_s^{k-1}(i, j) - \mu_s^k) - C_s^{k-1}(i, j)) \quad (7)$$

其中, $q(x_{ij}^k)$ 为像素点 (i, j) 在第 k 个对应区域色彩传递权值, $k=1, 2, 3, \dots, M$, μ_s^k , μ_t^k 分别为参考图像和目标图像第 k 个对应区域的均值, σ_s^k , σ_t^k 为标准方差, C_s^{k-1} 为第 $k-1$ 个对应区域色彩传输获得的结果图像。



图 12 局部色彩传输结果

Fig.12 Results of local color transmission

图 12 显示了采用局部色彩传输算法获得的实验结果, 图 12(a)为参考图像, 图 12(b)为目标图像, 当衰减因子 $a=4$ 时, 获得图 12(c)的结果

图像, 当衰减因子 $a=16$ 时, 获得图 12(d)的结果图像。实验中将图 12(a)中的前景颜色传输到目标图像中的前景, 可以看出, 不同衰减因子获得了不同的局部色彩传输效果, 目标图像中的前景色彩发生了改变, 获得了与参考图像前景相似的色彩, 然而背景色彩没有改变, 保持了目标图像原有的色彩信息, 减少了背景色彩的失真。

3 实验结果及分析

基于本文所提出方法, 通过东巴画图形元素提取、白描图绘制、图像融合、局部色彩传输等过程, 模拟了具有东巴画艺术风格的结果图像。实验在 Windows 10 操作系统中进行, 系统配置为 3.2 GHz Intel CPU, 8GB 内存, 采用 Matlab2016a 编程实验, 具体的实验结果如下。





(d) 东巴画模拟

图 13 东巴画艺术风格模拟效果

Fig.13 Results of simulating Dongba paintings

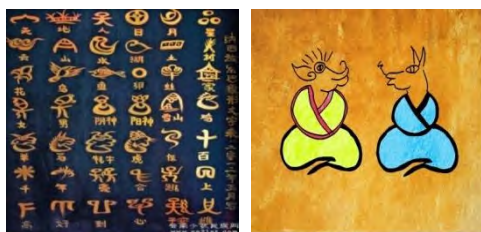
图 13 显示了东巴画艺术风格模拟实验结果，其中图 13(a)为经过图形元素选取后的白描图图像，采用色彩模拟之后的东巴画前景如图 13(b)所示。图 13(c)为输入的东巴画背景图像，经过前景与背景图像的融合，获得图 13(d)所示的东巴画结果图像。可以看出，结果图像中造型各异，突出了东巴画的主体线条，模拟了真实东巴画作品的朴实生动，野趣横生的艺术风格。



(a) 白描图



(b) 图像融合



(c) 色彩参考图像



(d) 局部色彩传输

图 14 东巴画色彩传输模拟效果

Fig.14 Results of color tranfer

图 14 显示了东巴画艺术风格模拟实验结果，其中图 14(a)为白描图，图 14(b)为色彩模拟、前景与背景图像融合之后的结果图像，图 14(c)为真实的东巴画艺术风格作品，将该图像作为局部色彩传输的参考图像，局部色彩传输到图 14(b)后，获得了图 14(d)的结果图像。可以看出，图 14(c)图像中的背景色彩信息传输到图 14(d)的背景区域，而图 14(c)图像中的前景色彩信息传输到图 14(d)的前景区域，实现了局部区域的色彩传输，突出了东巴画艺术风格的色彩特征。



图 15 东巴画艺术风格数字模拟结果

Fig.15 Results of simulations of Dongba

图15显示了东巴画艺术风格模拟的其它实验结果，结果中体现了东巴画图形元素、色彩、背景等细节，通过建立图形元素数据库、背景纹理合成、图像融合等方法丰富了东巴画艺术作品题材，通过局部色彩传输方法改变了局部色彩信息，更加符合真实的东巴画艺术风格。



图 16 东巴画艺术风格数字模拟结果对比

Fig.16 Comparison of results of Dongba paintings

图 16 显示了东巴画数字模拟结果与真实东巴画的比较结果。其中，左图显示了真实的东巴画艺术风格图像，右图显示了采用本文方法模拟得到的结果图像。通过实验结果图对比发现，数字模拟的结果图像能较好地体现真实东巴画的主题、色彩，具有色彩鲜明、线条流畅、主题丰富的特点，能模拟东巴画艺术风格特征。

4 结论

本文针对非真实感绘制技术中的东巴画艺术风格模拟，提出了一种基于白描图的纳西族东巴画数字模拟合成方法。通过东巴画白描图绘制系统建立了东巴画图形元素数据库，采用交互的方式，自由选择、编辑图形元素获得东巴画白描图，

通过形态学处理、色彩模拟获得东巴画的前景图像；其次，输入不同的背景图像，当背景纹理样本较小时，采用纹理合成方法获得背景结果图像；最后，采用图像融合、局部色彩传输算法获得最终的东巴画艺术风格。算法突出了东巴画主题、色彩、线条特征，丰富了东巴画和飞真实感绘制的艺术表现形式。本文方法可运用于文化计算、民族文化数字化保护和传承等领域。在今后的工作中，如何通过东巴画的语义、情感进行数字化模拟，更好地理解其艺术特性，是将来需要重点研究的方向。

参考文献

- [1] Bakurov I., Ross B., Non-photorealistic rendering with cartesian genetic programming using graphics processing units [C]//Proceedings of the 2018 International Conference on Computational Intelligence in Music, Sound, Art and Design, Parma, Italy: Springer, 2018: 34-49.
- [2] Zhao C. H., Gao B., Deng W. W., Zhang H. Y., A pencil drawing algorithm based on wavelet transform multiscale [C]//Proceedings of the 2017 Progress in Electromagnetics Research Symposium - Fall (PIERS - FALL), Singapore: ACM, 2018:73-79.
- [3] Ning X., Yang Y., Heng T. S., Ting T. Z., Stroke-based stylization by learning sequential drawing examples[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2018, (51): 29-39.
- [4] Luan F., Paris S., Shechtman E., Bala K., Deep photo style transfer[C]//Proceedings of the 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Long Beach, California, USA: IEEE, 2017: 6997-7005.
- [5] 杨丽洁, 徐添辰, 吴恩华, 动态模拟中国水墨画中的笔画绘制, 计算机辅助设计与图形学学报, 2016, 28(5): 742-751.
- [6] 崔念杰, 计算机生成剪纸风格化关键技术研究[实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2012.
- [7] 卢丽稳, 普园媛, 刘玉清, 钱文华, 徐丹. 云南重彩画人脸肖像生成算法[J]. 图学学报, 2013, 34(3): 126-133.
- [8] Qian W. H., Xu D., Guan Z., Gourd pyrography art simulating based on non-photorealistic rendering[J]. Multimedia Tools Application, 2017, 76 (13):14559-14579.
- [9] Yu Y. T., Qian W. H., Xu D., Visualization of batik cloth based on diffusion//Proceedings of the 2016 International Conference on Virtual Reality and Visualization, Hang Zhou, China: IEEE, 2016:511-516.
- [10] 黄诚. 滇西北地区纳西族东巴教绘画研究[J]. 重庆科技学院学报(社会科学版), 2016, 6(9):88-90.
- [11] 黄亚平, 广义文字视阈下东巴画与东巴文字的关系研究, 中国海洋大学, 硕士毕业论文, 山东青岛, 2013.
- [12] Cabral B., Leedom C., Imaging vector field using line integral convolution[C]//Proceedings of the 1993 ACM SIGGRAPH, New York, NY, USA: ACM Press, 1993: 263-270.

- [13] Efros A A, Freeman W T., Image quilting for texture synthesis and transfer[C]//Proceedings of the SIGGRAPH 2001. Los Angeles, California: ACM Press, 2001:341-346.
- [14]钱文华, 徐丹, 岳昆, 官铮. 偏离映射的烙画风格绘制[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(7):836-843.
- [15] Liu W. Y., Xin T., Xu Y. Q., Harry S., Hua Z., Artistic image generation by deviation mapping[J]. International Journal of Image and Graphics, 2001, 1(4): 565-574.
- [16]Reinhard E, Ashikmin M., Gooch B., Color transfer between images[J]. IEEE Computer Graphics and Applications, September 2001, pp: 34-40.
- [17]马平平, 肖亮, 王力谦, 基于交互式分割和勾画匹配的颜色迁移[J], 太赫兹科学与电子信息学报, 2014,12(3):433-439.

