

8-13-2020

Digital Simulation and Synthesis of Yunnan Out-of-print Woodcuts Based on Nicks

Li Jie

Yunnan University, Kunming 650091, China;

Jianxia Hou

Yunnan University, Kunming 650091, China;

Xuesong Wang

Yunnan University, Kunming 650091, China;

Xu Dan

Yunnan University, Kunming 650091, China;

See next page for additional authors

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Digital Simulation and Synthesis of Yunnan Out-of-print Woodcuts Based on Nicks

Abstract

Abstract: Woodcut printing is a painting, in which knife and wood block are used instead of pen and paper. Yunnan out-of-print woodcut is an extension of the woodcut printing. By working with a single block and multiple printings, Yunnan out-of-print woodcut can produce special effects of color overlap. Following the working process of it, an automatic method was studied based on nicks to synthesize a virtual Yunnan out-of-print woodcut. *Image was sliced out by using color clustering. A global orientation field was got which reflected the gradient information. Real nicks guided by streamlines was placed based on orientation field. The image rendering was finished by using stylized edges which were got from XDOG.* Because nicks from real woodcuts were used, the complicated calculations and modeling could be avoided. The rendering is simple and efficient, while the simulated result looks good.

Keywords

Yunnan out-of-print woodcuts, woodcuts, orientation field, XDOG

Authors

Li Jie, Jianxia Hou, Xuesong Wang, Xu Dan, and Yuanyuan Pu

Recommended Citation

Li Jie, Hou Jianxia, Wang Xuesong, Xu Dan, Pu Yuanyuan. Digital Simulation and Synthesis of Yunnan Out-of-print Woodcuts Based on Nicks[J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(12): 2912-2917.

基于刻痕的云南绝版套刻的数字模拟合成

李杰, 侯剑侠, 王雪松, 徐丹, 普园媛

(云南大学, 云南省 昆明 650091)

摘要: 木刻版画是一种以刀为笔, 以板为纸的绘画艺术, 云南绝版套刻是它的一种延伸。通过在上一块木板上的多次套印而产生色彩重叠的效果。结合云南绝版套刻的创作过程, 我们提出一种自动化的基于刻痕的云南绝版套刻的数字模拟合成方法。通过颜色聚类将图像分割, 求出一个平滑的反应图像梯度变化的向量场, 根据向量场自动生成均匀分布的流线图, 再在流线图上放置刻痕, 结合 XDOG 方法生成的风格化边缘完成图像的绘制。由于使用了取自于真实木刻画中的刻痕, 避免了复杂的建模与计算, 绘制过程简单快速, 无需复杂的人机交互, 模拟结果较好。

关键词: 云南绝版套刻; 版画; 向量场; XDOG

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2016) 12-2912-06

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201612005

Digital Simulation and Synthesis of Yunnan Out-of-print Woodcuts Based on Nicks

Li Jie, Hou Jianxia, Wang Xuesong, Xu Dan, Pu Yuanyuan

(Yunnan University, Kunming 650091, China)

Abstract: Woodcut printing is a painting, in which knife and wood block are used instead of pen and paper. Yunnan out-of-print woodcut is an extension of the woodcut printing. By working with a single block and multiple printings, Yunnan out-of-print woodcut can produce special effects of color overlap. Following the working process of it, an automatic method was studied based on nicks to synthesize a virtual Yunnan out-of-print woodcut. Image was sliced out by using color clustering. A global orientation field was got which reflected the gradient information. Real nicks guided by streamlines was placed based on orientation field. The image rendering was finished by using stylized edges which were got from XDOG. Because nicks from real woodcuts were used, the complicated calculations and modeling could be avoided. The rendering is simple and efficient, while the simulated result looks good.

Keywords: Yunnan out-of-print woodcuts; woodcuts; orientation field; XDOG

引言

非真实感绘制(NPR)自提出之日起已取得了长足的发展, 研究对象不但包括钢笔画^[1]、油画^[2]、铅笔画^[3]及水墨画^[4]等传统艺术, 而且还包括了剪

纸画^[5], 蜡染画^[6]以及云南重彩画^[7]等具有民族特色的艺术画。然而, 云南绝版套刻版画作为一种极具少数民族特色的艺术画, 目前还缺少这方面的研究。云南绝版套刻版画, 简称绝版套刻, 其仅在一块木板上, 刻一层便印一次, 分颜色交叉套印, 可产生色彩重叠的特殊效果。绝版套刻作为木刻版画的一种延伸, 同样是通过组合不同的刀形和刻法, 来产生不同的点、线、面刻痕, 继而通过点、线、面刻痕的组合来产生画面; 它们



收稿日期: 2014-10-22 修回日期: 2015-02-05;
基金项目: 国家自然科学基金(61163019, 61271361);
作者简介: 李杰(1989-), 男, 江苏, 硕士, 研究方向为非真实感图形绘制; 侯剑侠(1989-), 男, 湖南, 硕士, 研究方向为图像分割; 王雪松(1988-), 男, 内蒙古, 硕士, 研究方向为非真实绘制。

<http://www.china-simulation.com>

• 2912 •

之间所不同的是, 绝版套刻是在同一块木板上按颜色的多次套印, 当绘制完成时刻板已不可再用, 这是绝版套刻的特色之处。本文在基于图像的基础上, 提出一种自动化的云南绝版套刻数字模拟合成算法, 旨在快速的帮助用户合成出具有绝版套刻风格化效果的艺术画。

1 相关工作

目前对于木刻版画模拟的研究较少, 主要工作集中在日本丰桥工业大学的研究小组^[8-11]。他们提出一个虚拟的 3D 木刻系统, 对木刻版画中使用到的工具, 如刻刀、木板、纸张、刷子等均按其真实的物理特性进行建模, 木刻的过程通过 CSG 操作来实现, 最后通过对虚拟颜料的模拟来生成木刻版画。他们的成果最终应用于日本传统浮世绘版画的模拟。这些工作的共同点是他们都是对三维物理过程的模拟, 这就无法避免复杂的交互和计算。此外, Mello^[12]等人提出一个基于图像的木刻风格化方法, 通过图像分割, 计算方向场、模拟木刻纹理和渲染木刻纹理四个步骤完成绘制。该方法使用一个以 e 为底的指数函数控制线条的粗细变化, 该函数曲线为抛物线形状, 通过设置起始点的位置可以产生由粗到细或者由细到粗再到细两种变化类型的线条。总的来说该函数模型过于简单, 产生的粗细变化的线条较为单一, 与真实的木刻刻痕存在较大差距。此外, Mello 等人的研究仅限于黑白木刻, 没有涉及到彩色的套印木刻。最后值得一提的是, Winnemoller^[13]提出一种基于多变量高斯差分(XDOG)的风格化方法, 该方法通过调整参数可以得到一系列的风格化效果, 其中包括铅笔画、炭笔画和黑白木刻画等, 但是该方法参数不容易控制, 且其模拟出的木刻画刻痕仅限于边缘部分。

本文结合 XDOG 方法, 提出一种基于真实刻痕的绝版套刻风格化方法。与上述方法相比, 本文方法无需复杂的建模与过多的用户交互, 绘制过程自动化; 由于使用真实木刻画中的刻痕, 从而避免了复杂的计算, 突破了模拟刻痕单一的限

制, 且绘制效率更高; 使用颜色套印的方法从而可以产生彩色的木刻画; 使用 XDOG 生成的风格化边缘增强图像细节, 使得绘制结果更加逼真。

2 算法概述

刻痕是木刻版画中最重要的基本元素, 本文将刻痕分为两大类, 一种是从宏观上反映区域特征的纹理刻痕, 另一种是增强图像细节的边缘刻痕。对于纹理刻痕, 使用取自于真实木刻画中的刻痕来模拟。结合绝版套刻的套色过程, 首先采用颜色聚类方法将图像分层, 使得每一层只有一种颜色, 对于每一层采用本文提出的自动化算法来放置刻痕, 具体过程如下:

(1) 生成向量场, 先计算输入图像局部区域的方向向量, 再插值出全局的向量场。

(2) 生成流线图, 根据向量场计算出均匀分布的流线, 用来指导刻痕的放置。

(3) 放置刻痕, 沿着生成的流线图放置刻痕。

对于边缘刻痕, 用 XDOG 方法生成的风格化边缘来模拟。得到边缘刻痕和纹理刻痕后就可以按颜色进行套印绘制, 其中颜色可以直接使用聚类后的颜色, 也可以由用户选择颜色。

3 颜色聚类

云南绝版套刻是分颜色的多版套印, 每一版只印刷一种颜色, 因此对于输入的图像首先需要颜色聚类, 使得一幅图像只含有少数几种颜色(一般不超过 15 种)。本文采用 K-mean^[14]聚类算法, 该算法简单易行, 且运行速度较快。K-mean 是一种迭代算法, 通过不断的合并相近颜色, 重新计算类簇中心而使迭代结果趋于稳定。使用该算法的优点是一方面可以根据聚类结果将图像分割, 从而保持图像的结构特征, 另一方面可以提取图像的主题色以在颜色套印时使用。如图 1 所示是颜色聚类的结果, 其颜色数为 11 种, 迭代次数为 50 次。得到聚类结果后就可以按颜色将图像分层以进行后续处理, 同时保存下每一层的颜色。

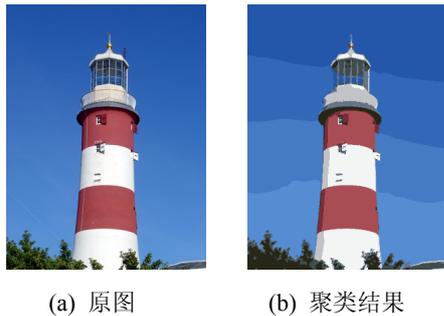


图 1 颜色聚类

4 自动化绘制

通过对比木刻版画与油画、水墨画等传统艺术画，我们归纳出木刻版画的两大特点。第一个特点是木刻版画的刻痕形状较为刚硬，不会有较多的弯曲。这是因为版画需要艺术家使用刻刀在木板上雕刻作画，而木板对刻刀的阻力较大，所以刻刀的行走轨迹不会像纸上的画笔那样轻松自如。第二个特点是，在版画中，某一区域内刻痕的分布通常较为均匀，近似相互平行，交叉的情况较少。

传统的基于笔刷的自动化绘制算法很少考虑到这两个方面，比如油画模拟类算法^[12]中通常会有大量的笔划的交叉堆叠，而水墨画^[15]中的笔划又往往仅放置在图像的轮廓线上。本文提出一个自动化绘制算法来着重模拟版画的上述两个特点，通过计算一个平滑的向量场来产生形状刚硬的刻痕，再通过一个随机算法控制区域内刻痕的均匀分布。

4.1 向量场

平滑的向量场应满足以下两个条件：(1) 相邻区域内的像素点的方向应尽量保持平滑变化；(2) 重要的边缘应尽量保持其原来的方向。Kang^[16]提出的 ETF 方法可以求得平滑的向量场，近年来得到了较广泛的应用，然而该方法求得的向量场平滑度却依然不能满足版画的要求，且运算效率较低。本文采用插值算法，即先筛选出一些重要的能够反映图像边缘方向的控制向量，再由控制向量通过插值的方法计算出其余点的方向。

为了减少控制向量的数量，首先将图像分为 $n \times n$ 大小的网格 W (本文中设 $n=5$)，每个网格求出一个方向作为网格中心点的方向，称为候选控制向量。如何求出一个方向来最大程度的拟合 $n \times n$ 个像素点的方向，是较为关键的一步，A.Rao^[17]提出的最小二乘法可以达到这一目的。

分别用 $G_x(i, j)$, $G_y(i, j)$ 表示某一网格内的点 (i, j) 的 X 和 Y 方向的导数， X 和 Y 方向的导数可以用 Sobel 算子求得，则所要求的方向可通过下式求得：

$$\theta(i, j) = \frac{1}{2} \times \tan^{-1} \left(\frac{V_x(i, j)}{V_y(i, j)} \right) \quad (1)$$

$$V_x(i, j) = \sum_{(u, v) \in W} 2G_x(u, v)G_y(u, v) \quad (2)$$

$$V_y(i, j) = \sum_{(u, v) \in W} (G_x(u, v)^2 - G_y(u, v)^2) \quad (3)$$

在求出所有候选控制向量后，需进一步的筛选，筛选出的候选控制向量应满足以下两个条件：(1) 产生候选控制向量的网格是经过原图像边缘的；(2) 候选控制向量与其相邻的候选控制向量差异较小。为此，先采用 Canny 边缘检测算法，同时为了保留有尽量多的候选控制向量以做下一步的筛选，可以适当调整参数以检测出较多的边缘。对于保留下来的处在边缘上的候选控制向量，再进一步衡量其与相邻候选控制向量的差异水平，此差异水平可以通过(4)式求得：

$$C(i, j) = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{(i', j') \in D} d(\theta(i', j'), \theta(i, j))^2} \quad (4)$$

式中： $d(\theta, \theta') = \min\{|\theta' - \theta|, \pi - |\theta' - \theta|\}$ ， D 为与该候选控制向量相邻的候选控制向量的集合； N 为相邻的数目。设置一个阈值 T_C ，对于满足 $C(i, j) < T_C$ 的候选向量可以保留下来，作为控制向量，较大的阈值可以产生较多的控制向量。

求得控制向量后就可以通过插值方法来求出图像的向量场，插值方法可以采用数学上常用的一些插值方法。本文提供两种插值方法供用户选择，一种是基于样条曲线的插值方法，该方法可以获得平滑过渡的方向场，从而生成弯曲的刻痕。另一种为最近邻插值方法，该方法可得到局

部区域内方向不变的方向场, 从而生成较直的刻痕。如图 2 所示为插值出的向量场, 图中粗体线条为控制向量。



(a) 样条曲线插值 (b) 最近邻插值

图 2 向量场

4.2 流线图以及刻痕贴图

流线图是根据向量场生成的流线, 流线可以理解为真实木刻中刻刀的雕刻轨迹, 在放置刻痕时, 刻痕是沿着流线进行贴图, 一条流线就对应一个刻痕, 因此刻痕的长短变化、稀疏稠密都是流线图所直接决定的, 所以生成的流线图应可以通过参数调整流线的密度以及长短, 从而控制刻痕的变化。

在真实的木刻画中, 刻痕通常是较为均匀的放置在某一区域中, 这就要求生成的某一区域的流线应是均匀分布的。本文提出一种随机算法可以达到这一目的, 算法过程如下:

(1) 在目标区域内随机产生一个种子点;

(2) 由该种子点根据向量场生成一条流线, 该流线是有宽度的, 将流线所经过的像素点标记为不可用点, 即这些点不可以产生种子点, 且其他流线经过这些点时应断开, 以避免流线的交叉;

(3) 随机在目标区域中选择一个像素点, 判断其是否为不可用点, 若不是则转致步骤(2)继续执行; 若是则丢弃这个点, 再随机生成一个点。如果连续多次随机生成的点都被丢弃, 则可以较高的概率认为绝大部分区域已被流线覆盖, 算法停止。

步骤(2)中, 根据向量场生成流线其实是一个解微分方程的过程, 本文采用定步长的欧拉积分

方法求解。上述算法, 可以通过调整流线的宽度来控制流线的密度, 也可以通过限制最长流线的长度来控制流线的长短变化。按照上述算法生成流线图后, 就可以沿着流线图进行刻痕贴图, 由于产生的流线往往是弯曲的, 因此上述的刻痕通常需要根据流线做相应的形变, 此处不再详述, 如图 3(a)所示为在生成的流线图上放置刻痕的结果。



(a) 区域刻痕 (b) 边缘刻痕

图 3 刻痕模拟

4.3 边缘刻痕

边缘刻痕, 是指保持图像边缘的刻痕, 此处采用 XDOG 方法生成的具有木刻画效果的边缘来模拟。XDOG(eXtended Difference-of-Gaussians)是 DOG^[15]方法的扩展。他们同样都是基于高斯差分模型的算法, 该模型定义如下:

$$D_0(\hat{x}, \sigma, k, I) = G(\hat{x}, \sigma, I) - G(\hat{x}, k \cdot \sigma, I) \quad (5)$$

其中: G 为二维高斯核函数; σ 为其标准差; k 为标准差系数, 通常取 1.6, 以使得 DOG 算子接近于拉普拉斯算子(LOG); I 为输入图像。DOG 算子实际上是将图像与两次不同标准差的卷积结果相减, 而边缘的提取就根据它们的差。在 DOG 中边缘的定义如下:

$$E(\sigma, k) = \begin{cases} 1, & D_0 > 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

而在 XDOG 中对边缘的定义如下:

$$D_x(\hat{x}, \sigma, k, I) = G(\hat{x}, \sigma, I) - \tau \cdot G(\hat{x}, k \cdot \sigma, I) \quad (7)$$

$$E(\sigma, k, \tau, e, \varphi) = \begin{cases} 1, & D_x(\sigma, k, \tau) < e \\ 1 + \tanh(\varphi \cdot (D_x(\sigma, k, \tau) - e)), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

可以看出, DOG 对边缘的定义较为严格, 而

XDOG 通过添加参数变量放宽了对边缘的限制,从而获得了具有风格化效果的边缘,而不是简单的只有 0 和 1 值的边缘,在 XDOG 中通过调整参数 φ , σ , k , τ , e 可以获得不同的风格化效果,如图 3(b)所示为通过调整参数 τ , 和 e 生成的具有木刻效果的风格化边缘。

5 颜色套印

云南绝版套刻是在一块木板上边刻边印,每印刷完一种颜色后,将画面需要该颜色的部分刻掉,使板面形成凹面,再次印刷时,被刻掉部分的颜色保留在画面中,其余部分被再次印刷的颜色所覆盖。颜色的套印顺序一般是由浅到深,或者相反。本文采用的方法与之相似,每次套印通过式(9)完成:

$$P = Alpha \cdot P + (1 - Alpha) \cdot Color \quad (9)$$

式中: $Alpha$ 和 P 矩阵初值为 0, 大小与输入图像相同, $Color$ 是当前版的 RGB 颜色值可以直接使用聚类后的颜色值。 $Alpha$ 矩阵用来模拟绝版套刻中的刻板,取值范围为 0~1, 0 表示全透明, 1 表示不透明。每次套印首先将与上一版颜色值相同的边缘刻痕或纹理刻痕叠加到 $Alpha$ 上, 然后设置当前版的颜色值 $Color$, 计算出矩阵 P 。重复上述过程直到所有颜色被印完。图 4 所示为套印绘制时所得到的每一版的绘制结果(依次为原图及最后 3 版), 可以看出, 每一版总是将上一版没有放置刻痕的区域的颜色保留下来, 而把未放置刻痕区域的颜色覆盖掉。

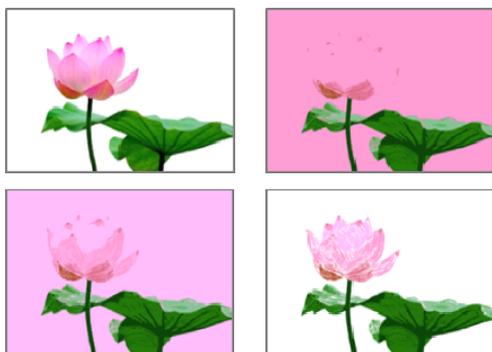


图 4 颜色套印

6 实验结果

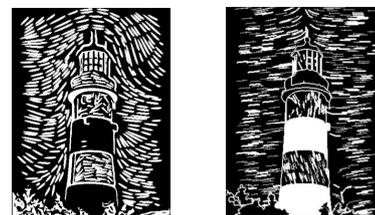
本算法提供一些参数供用户调整,以获得不同风格的绝版套刻画。用户可以选择不同的插值方法来控制线条风格,图 5(b)为使用最近邻插值方法求得向量场获得的结果,由于局部区域内的方向相同而产生较直的刻痕,与之对比的是图 5(a), 由于其使用了样条曲线的插值方法,从而生成了平滑变化的向量场,导致产生的刻痕是弯曲的。在绘制某一块区域时,用户也可以通过参数控制刻痕的稠密度,长短,或者更换刻痕。图 5(c)为通过调整流线的密度和流线的长度,得到使用短刻痕的结果。



(a) 样条曲线插值 (b) 最近邻插值 (c) 短刻痕

图 5 实验结果

此外,本文的方法也可以用于对黑白木刻的模拟,即只需做一次黑色的印刷即可得到,图 6 左为本文方法对黑白木刻的模拟效果,图 6(b)为 Mello 等人的实验结果,图 6(a)中背景区域使用了圆口刀刻痕,其他区域使用了三角刀刻痕,两种刻痕区分明显,而在图 6(b)中对刻痕的模拟欠佳,类型单一。而且由于图 6(a)使用了 XDOG 产生的风格化边缘,保留了更多的细节信息,使得绘制结果更为逼真。



(a) 本文结果 (b) Mello 的结果

图 6 黑白木刻

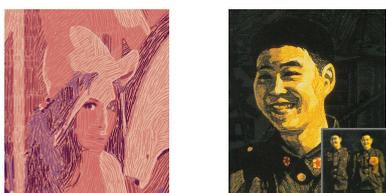
人物肖像一直是非真实感绘制领域内比较困难的一种,本文算法对人物肖像的模拟也取得了较好的结果。图 7 为本算法对人物肖像的两个绘制

结果, 都较好的保持了图像的面部特征。图 7(d) 为真实的绝版套刻画的局部放大图, 对比可以看出两幅图对刻痕的使用方面存在相似之处。



(a) 原图

(b) 原图的模拟结果



(c) 对 lena 图的模拟结果 (d) 李传康作品《老兵新传》

图 7 人物肖像

7 结论

本文结合绝版套刻的制作过程, 提出一种基于刻痕的云南绝版套刻数字模拟方法, 该方法具有以下优点: (1) 使用了真实木刻画中的刻痕, 使得模拟效果较为逼真, 且方便用户对版画风格的控制; (2) 使用 XDOG 生成的具有木刻效果的风格化边缘, 从而保留了较多细节信息; (3) 对于输入图像, 首先采用颜色聚类将颜色数减少, 再用颜色套印的方法进行绘制, 从而获得了彩色的木刻版画; (4) 绘制过程简单快速, 无需过多的用户交互。当然该方法也存在一些不足, 首先在颜色的套印绘制过程中, 没有考虑颜色的融合与重叠, 使得绘制结果的颜色稍显单调; 其次由于人机交互较少, 生成的版画风格还过于单一, 在这些方面还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] Kazi R H, Igarashi T, Zhao S, et al. Vignette: interactive texture design and manipulation with freeform gestures for pen-and-ink illustration [C]// Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. USA: ACM, 2012: 1727-1736.
- [2] 叶鹏, 王长波, 朱巧明, 等. 一种融合区域笔划和梯度笔划的油画生成方法 [J]. 图学学报, 2013, 34(4): 24-28.
- [3] Lu C, Xu L, Jia J. Combining sketch and tone for pencil

drawing production [C]// Proceedings of the Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering. Eurographics Association. Switzerland: ACM, 2012: 65-73.

- [4] 夏三鳌. 基于 NPR 技术的三维水墨动画研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2013.
- [5] 李岳. 剪纸画的计算机仿真方法研究 [D]. 大连: 辽宁师范大学, 2011.
- [6] 唐颖, 房宽峻, 付少海, 等. 蜡染冰纹的计算机仿真研究 [J]. 纺织学报, 2010, 7(3): 128-132.
- [7] 普园媛. 云南重彩画艺术风格的数字模拟及合成技术研究 [D]. 昆明: 云南大学, 2010.
- [8] Mizuno S, Okada M, Toriwaki J. Virtual Sculpting and Virtual Woodcut Printing [J]. The Visual Computer (S0178-2789), 1998, 14(2): 39-51.
- [9] Mizuno S, Okada M, Toriwaki J. An Interactive Designing System with Virtual Sculpting and Virtual Woodcut Printing [J]. Computer Graphics Forum (S1467-8659), 1999, 18(3): 183-194.
- [10] Mizuno S, Kasaura T, Yamamoto S, et al. Automatic Generation of Virtual Woodblocks and Multicolor Woodblock Printing [J]. Computer Graphics Forum (S1467-8659), 2000, 19(3): 51-58.
- [11] Mizuno S, Okada M, Toriwaki J, et al. Improvement of the Virtual Printing Scheme for Synthesizing Ukiyo-e [C]// Proceedings of the 16th International Conference on Pattern Recognition, Los Alamitos, USA. California, USA: IEEE Computer Society, 2002: 1043-1046.
- [12] Mello V B, Jung C R, Walter M. Virtual Woodcuts from Images [C]// Proceedings of the 5th International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, Perth, Australia. New York, USA: ACM, 2007: 103-109.
- [13] Winnemoller H. XDoG: Advanced Image Stylization with eXtended Difference-of-Gaussians [C]// Proceedings of the ACM SIGGRAPH /Eurographics Symposium on NPAR, Vancouver, Canada. USA: ACM, 2011: 147-156.
- [14] Chen C W. Image segmentation via adaptive K-mean clustering and knowledge-based morphological operations with biomedical applications [J]. IEEE Transactions on Image Processing (S1941-0042), 1998, 7(12): 1673-1683.
- [15] Way D L, Lin K Y, Ho Y W, et al. The brush stroke rendering for Chinese colored ink painting [J]. International Journal of Scientific Knowledge (S2305-1493), 2014, 4(7): 1-8.
- [16] Kang H, Lee S, Chui K C. Coherent line drawing [C]// Proceedings of the 5th international symposium on NPAR. San Diego, USA. New York, USA: ACM, 2007: 43-50.
- [17] Rao A R. Computing oriented texture fields [C]// Proceedings of Computer Vision and Pattern Recognition, San Diefo, USA. New York, USA: Springer, 1989: 61-68.