

基于 Otsu 和小波算法实现肖像照黑白木刻风格

王晓迎¹, LIU Sixia², 黄源³

- (1. 西安思源学院, 陕西 西安 710038;
2. 法国利摩日大学, 法国 利摩日 870001;
3. 西安邮电大学, 陕西 西安 710061)

摘要:为了将现代科技手段融入到传统手工木刻之中,提出一种实现人物肖像照片黑白木刻风格化的算法。首先利用改进二维 Otsu 法求出“主阈值”并分割照片,其分割效果关联照片特定局部细节和整体纹理。在基于统计原理的最优区间内选择多个“分阈值”分割照片并设定其灰阶颜色,再与“主阈值”分割后的图像融合,形成照片的“木刻纹理”。然后利用改进方向小波边缘检测算法,对沿小波变换方向搜寻到的极大值进行加权,使检测到的图像边缘宽度和细节数量可控。对分阈值融合图和照片原图进行方向小波边缘检测,其结果融合形成照片的“木刻边缘”。最后将“木刻纹理”和“木刻边缘”融合形成照片的黑白木刻化风格。实验结果表明,该算法具有较好的适应性和实用价值。

关键词:二维 Otsu 法;方向小波;主阈值;分阈值

中图分类号:TP39

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2016)01-0058-07

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2016.01.012

Realization of Converting Portrait Photos into White-line Woodcut Style Picture Based on Otsu and Wavelet Algorithm

WANG Xiao-ying¹, LIU Sixia², HUANG Yuan³

- (1. Xi'an Siyuan University, Xi'an 710038, China;
2. University of Limoges, Limoges 870001, France;
3. Xi'an University of Posts & Telecommunications, Xi'an 710061, China)

Abstract: In order to integrate modern technology into traditional manual woodcut, an algorithm specialized in converting portrait photos into white-line woodcut style picture is developed. First, using an improved two-dimensional Otsu method to obtain the “main threshold” to segment the photo, the result is related to the photo's details at specific local areas and the overall texture. In the optimal range based on the principle of statistics, “sub thresholds” are made in order to segment the photo and set grayscale color, the segmented pictures fuse with the one that segmented by “main threshold”, forming the photo “woodcut texture”. Secondly, an improved directional wavelet edge detection algorithm is used, along the direction of the wavelet transformation, the maximum value is weighted so that the detected edge width and the detail numbers are controllable. The algorithm is applied to the “sub thresholds” fused picture and the photo, the results forming the “woodcut edge”. Finally, “woodcut texture” fuses with “woodcut edge”, forming the photo white-line woodcut style picture. It is shown in the experiments that this algorithm is flexible and practical.

Key words: two-dimensional Otsu; directional wavelet; main threshold; sub thresholds

1 概述

木刻是指在木板上刻出反向图像,再印在纸上欣赏的一种传统版画艺术表现形式,具有删繁就简、结构清晰、视觉冲击力强等特点。按照画面颜色的多少,木刻可以分为黑白木刻和套色木刻两种类型^[1]。在黑

白木刻中,使用黑白相间的“组点”、“组线”或者“组形”,构成不同层次的灰色调,从而协调黑白关系,增强画面的美感^[2]。

随着科技的进步,传统的艺术表现形式通过现代科技手段进行辅助设计和开发日益受到人们的重视。

收稿日期:2015-04-13

修回日期:2015-07-23

网络出版时间:2016-01-04

基金项目:陕西省教育厅专项科学研究项目(2013JK0480)

作者简介:王晓迎(1963-),女,高级平面设计师,从事计算机图形图像设计研究和实践教学;LIU Sixia(1989-),女,博士研究生,研究方向为图像符号学。

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20160104.1608.080.html>

文中基于 Otsu 阈值分割图像和多方向小波检测图像边缘的算法,研究开发出一种实现人物肖像照片黑白木刻风格化的算法。

对于常用的图像阈值分割算法,可以分为 Otsu 法、最大熵法和最小交叉熵法^[3]。

其中 Otsu 法以其分割效果较好、适应范围广而得到了广泛应用。一维 Otsu 法^[4]是由 Otsu 于 1979 年提出的,是基于整幅图像统计特性实现二值化阈值自动选取的一种方法。然而当图像的目标和背景的灰度区别不明显时,应用该方法会使图像的信息丢失,出现比较严重的分割错误。刘健庄等于 1993 年将一维 Otsu 法推广到二维^[5],同时考虑像素自身的情况及其邻域像素的平均灰度分布情况,使该法的适应性和抗噪性得到改善。

但是传统二维 Otsu 算法的运算量很大而且运算结果是针对整幅图像来说的,不能明确显示出图像的某个特定局部灰度细节对运算结果的影响。对此,在传统二维 Otsu 算法的基础上进行了如下改进:

(1)选择“主阈值”,使其关联图像特定局部细节和整体纹理;

(2)在图像分割基于统计原理的最优区间内选择多个“分阈值”分割图像并对这些分割后的二值化图像设定灰度色阶的颜色,再与“主阈值”二值化图像融合,从而形成照片的“黑白木刻纹理图像”。

小波分析是 20 世纪 80 年代开始逐渐发展成熟的应用数学的一个分支,其主要特点集中表现为对空间域-频域的双重分析和多分辨率分析的能力,适用于边缘检测^[6-8]。其中,多方向小波边缘检测在“图像边缘检测”“水印图像检测”^[9-10]等方面得到了较为广泛的应用。

文中在此基础上结合具体实际应用的要求,对多方向小波边缘检测方法进行了如下改进:

(1)在规定的区域沿小波变换方向对搜寻到的极大值进行加权,从而使检测到的图像边缘的宽度和细节可控;

(2)对“分阈值”融合图像进行多方向小波边缘检测,由于其灰度变化区间比原图像小,因此检测出来的图像边缘线条的连贯性得以较大提高,再对该边缘设定灰度色阶颜色,然后与照片原图多方向小波边缘检测图进行融合,形成照片的“黑白木刻边缘图像”。

最后将上述“黑白木刻纹理图像”与“黑白木刻边缘图像”进行融合,从而实现人物肖像照片的黑白木刻化风格。

文中算法框架示意图如图 1 所示。算法运行环境为 Matlab7。如果是彩色照片,文中算法会自动转换为灰度模式。

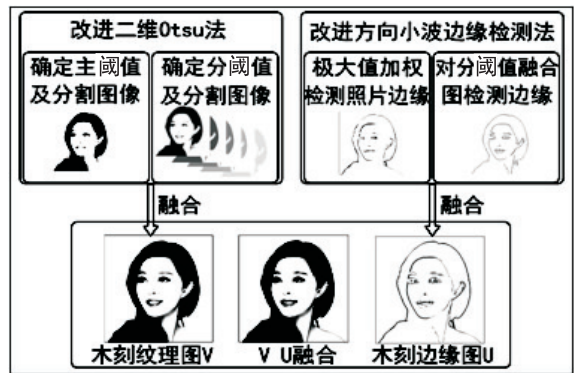


图 1 文中算法框架示意图

2 所采用的相关原理

2.1 “灰度模式图像”的分解与重构

在计算机图像处理中,“灰度模式图像”按照 HSV (H 为色调, S 为饱和度, V 为明度)的颜色模型^[11]可以描述为:以黑色为基准色调,使用不同饱和度的黑色来显示的图像。其中每个像素点都具有从 0% (白色)到 100% (黑色)不同的明度值。

“灰度模式图像”又常常使用“一维灰度直方图”进行分析和描述。“一维灰度直方图”的横坐标为不同的“灰度色阶”(其大小分为 0 到 255,共 256 个级别),纵坐标为图像不同的“灰度色阶”对应图像的像素点个数。

“一维灰度直方图”的横坐标“灰度色阶”也可以理解为是按照 HSV 颜色模型中的明度值(V),从 100% (黑色)到 0% (白色)不同的明度值。

在素描及影像作品中,还可以将“一维灰度直方图”的横坐标“灰度色阶”从暗到亮分为三类明度:低明度(以黑色调为主);中明度(以灰色调为主);高明度(以白色调为主)^[12]。这三类明度又被称为素描“黑灰白”三大面。

显然,对于“灰度模式图像”的“一维灰度直方图”,可以根据不同色阶进行分解;同时也可以按照需要对某些色阶进行重构,从而产生不同的表现效果。

2.2 传统 Otsu 阈值法分割图像

传统二维 Otsu 算法利用原图像与其邻域图像构建二维直方图^[13]。其原理如下:设 $f(x, y)$, ($1 \leq x \leq M, 1 \leq y \leq N$) 是一幅大小为 $M \times N$ 、灰度级为 L 的图像,在每个像素点处计算其邻域的平均灰度值,得到其邻域图像 $g(x, y)$,灰度等级也为 L 。于是图像中的任何一个像素,便构成了一个二元组:图像像素灰度值及其邻域平均像素灰度值。设 f_{ij} 表示图像 f 中像素点的灰度值为 i 、其邻域平均灰度值为 j 的像素点出现相同空间位置上的个数,由此得到该图像的二维直方图,其二维联合概率密度为:

$$p_{ij} = \frac{f_{ij}}{M \times N} \tag{1}$$

式中, $1 \leq i, j \leq (L - 1)$ 且 $\sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} p_{ij} = 1$ 。

图像 g 的灰度等级 $g(x, y)$ 可用式(2)计算:

$$g(x, y) = \frac{1}{k \times k} \sum_{i=-(k-1)/2}^{(k-1)/2} \sum_{j=-(k-1)/2}^{(k-1)/2} f(x + i, y + j) \tag{2}$$

式中, k 表示像素点的正方形邻域的宽度, 一般取奇数, 最小为 3。

假设用 (s, t) 把图像分成背景和目标两类。其中 s 为灰度分割阈值, t 为邻域灰度均值分割阈值, $0 \leq s \leq L - 1, 0 \leq t \leq L - 1$, 则背景和目标部分所占比例如式(3)和式(4)所示。

$$\omega_1 = \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^t p_{ij} = \omega_1(s, t) \tag{3}$$

$$\omega_0 = \sum_{i=s+1}^L \sum_{j=t+1}^L p_{ij} = \omega_0(s, t) \tag{4}$$

在绝大多数情况下, 噪声和边缘点的概率非常小, 即远离直方图对角线的概率忽略不计。这样就可以假设 $\omega_1 + \omega_0 = 1$, 此时, 两类对应的均值矢量为:

$$\boldsymbol{\mu}_1(s, t) = (\boldsymbol{\mu}_{11}, \boldsymbol{\mu}_{12})^T = \left[\frac{\sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^t ip_{ij}}{\omega_1(s, t)}, \frac{\sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^t jp_{ij}}{\omega_1(s, t)} \right] \tag{5}$$

$$\boldsymbol{\mu}_0(s, t) = (\boldsymbol{\mu}_{01}, \boldsymbol{\mu}_{02})^T = \left[\frac{\sum_{i=s+1}^{L-1} \sum_{j=t+1}^{L-1} ip_{ij}}{\omega_0(s, t)}, \frac{\sum_{i=s+1}^{L-1} \sum_{j=t+1}^{L-1} jp_{ij}}{\omega_0(s, t)} \right] \tag{6}$$

总体均值为:

$$\boldsymbol{\mu}(s, t) = (\boldsymbol{\mu}_1, \boldsymbol{\mu}_0)^T = \left[\sum_{i=1}^{L-1} \sum_{j=1}^{L-1} ip_{ij}, \sum_{i=1}^{L-1} \sum_{j=1}^{L-1} jp_{ij} \right] \tag{7}$$

定义离散度矩阵为:

$$\boldsymbol{\sigma}_B = \omega_1 [(\boldsymbol{\mu}_1 - \boldsymbol{\mu})(\boldsymbol{\mu}_1 - \boldsymbol{\mu})^T] + \omega_0 [(\boldsymbol{\mu}_0 - \boldsymbol{\mu})(\boldsymbol{\mu}_0 - \boldsymbol{\mu})^T] \tag{8}$$

用离散度矩阵的迹作为背景和目标类的距离测度函数:

$$\text{tr}(\boldsymbol{\sigma}_B) = \omega_1 [(\boldsymbol{\mu}_{11} - \boldsymbol{\mu}_1)^2 + (\boldsymbol{\mu}_{12} - \boldsymbol{\mu}_1)^2] + \omega_0 [(\boldsymbol{\mu}_{01} - \boldsymbol{\mu}_0)^2 + (\boldsymbol{\mu}_{02} - \boldsymbol{\mu}_0)^2] \tag{9}$$

当 $\text{tr}(\boldsymbol{\sigma}_B)$ 最大时所取得的分割阈值即为最佳的分割阈值 (s^*, t^*) 。

2.3 方向小波检测图像边缘

若函数 $\theta(x)$ 满足 $\int_{-\infty}^{+\infty} \theta(x) dx = 1$ 和 $\lim_{|x| \rightarrow \infty} \theta(x) \rightarrow 0$, 则称其为平滑函数。通常用高斯函数作为平滑函数, 它的一阶导数满足允许小波函数的定义, 并可扩展到二维情况^[14]。

方差为 σ^2 的二维旋转对称高斯函数的表达式为:

$$\theta(x) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp[-(x^2 + y^2)/(2\sigma^2)] \tag{10}$$

高斯函数的两个方向导数为:

$$\theta^x(x, y) = -\frac{x}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{x^2 + y^2}{2\pi\sigma^2}\right] \tag{11}$$

$$\theta^y(x, y) = -\frac{y}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{x^2 + y^2}{2\pi\sigma^2}\right] \tag{12}$$

如果尺度为 2^j , 则 x 和 y 方向的二维二进小波变换为:

$$\psi_2^x(x, y) = -\frac{1}{4^j} \theta^x\left[\frac{x}{2^j}, \frac{y}{2^j}\right] \tag{13}$$

$$\psi_2^y(x, y) = -\frac{1}{4^j} \theta^y\left[\frac{x}{2^j}, \frac{y}{2^j}\right] \tag{14}$$

设 $f(x, y)$ 为 $m \times n$ 像素的图像, 则

$$w_2^x f(x, y) = f(x, y) * \psi_2^x(x, y) = \frac{1}{4^j} \left[-\frac{1}{2\pi\sigma^4}\right] f(x, y) * x \cdot \exp\left[-\frac{x^2 + y^2}{4^j 2\sigma^2}\right] \tag{15}$$

$$w_2^y f(x, y) = f(x, y) * \psi_2^y(x, y) = \frac{1}{4^j} \left[-\frac{1}{2\pi\sigma^4}\right] f(x, y) * y \cdot \exp\left[-\frac{x^2 + y^2}{4^j 2\sigma^2}\right] \tag{16}$$

令 $K = -4^j 2\sigma^2$, 则式(15)、(16)变为式(17)、(18)。

$$w_2^x f(x, y) = \frac{1}{K\pi\sigma^2} f(x, y) * x \cdot \exp\left(\frac{x^2 + y^2}{K}\right) = \frac{1}{K\pi\sigma^2} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} f(x - m, y - n) \cdot m \cdot \exp\left(\frac{m^2 + n^2}{K}\right) \tag{17}$$

$$w_2^y f(x, y) = \frac{1}{K\pi\sigma^2} f(x, y) * y \cdot \exp\left(\frac{x^2 + y^2}{K}\right) = \frac{1}{K\pi\sigma^2} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} f(x - m, y - n) \cdot n \cdot \exp\left(\frac{m^2 + n^2}{K}\right) \tag{18}$$

任意方向 α 小波变换为:

$$w_2^\alpha f(x, y) = f(x, y) * [\psi^x(x, y) \cos\alpha + \psi^y(x, y) \sin\alpha] \tag{19}$$

可以证明

$$|w_2^\alpha f(x, y)|^2 = [2^j |\text{grad}(f * \theta)|]^2 \tag{20}$$

式(20)说明了方向小波变换值的平方与函数平滑后的梯度模值的平方成正比。于是, 可以利用求方向小波变换值来代替求梯度模值。又由于图像的边缘像素点在沿着梯度方向时达到梯度模值极大, 因此在规定的区域沿小波变换方向寻找极大值, 即可检测出该区域图像的边缘^[15]。

3 文中方法

3.1 改进二维 Otsu 阈值法分割照片形成木刻纹理

对于二维 Otsu 法, 从式(9)可以看出, $\text{tr}(\boldsymbol{\sigma}_B)$ 越

大,说明构成图像背景和目标灰度的两类差别越大。当部分目标错分为背景或部分背景错分为目标都会导致 $tr(\sigma_B)$ 变小,因此 $tr(\sigma_B)$ 最大的分割意味着错分的概率最小。但是二维 Otsu 法未考虑图像灰度的空间分布,也没有预先设定限定性条件。所以二维 Otsu 法对图像的分割,实际上是一种基于图像总体灰度统计和最小二乘原理的图像分割方法,对于图像局部细节的分割带有一定的盲目性。如果直接采用二维 Otsu 法分割图像,则图像中的一些局部细节往往表现不出来。比较好的解决办法之一是采取多阈值分割(如:主阈值和分阈值分别分割),然后再进行多阈值图像的融合。

鉴于上述情况以及结合实际应用,文中对二维 Otsu 算法进行了如下改进。

3.1.1 改进一:主阈值关联图像特定局部细节和整体纹理

对照片某个局部需要重点表现细节的区域进行取样,使图像整体二值化分割阈值既能较好地分割图像某个局部的细节(如头发的高光、眼睛的眼白),同时又能较好地分割整体图像。文中选择“头发的高光”区域作为重点表现的局部细节,实施的具体算法如下。

(1) 首先使用一维 Otsu 法分别求出整幅人物肖像照片的二值化分割阈值 t_1 和照片“头发高光区域”的采样图像(如图 2“头发高光区域取样”所示)的二值化阈值 t_2 ,由此得到 $|t_1 - t_2|$ 的灰度区间。显然在该区间所测得的阈值既考虑了整幅图像的二值化效果,同时又考虑了图像特定局部(头发高光区域)的二值化效果,在一定程度上弥补了传统二维 Otsu 不能明确体现图像某个局部灰度空间分布的弱点。

(2) 然后使用二维 Otsu 算法,在由横坐标区间 $|t_1 - t_2|$ 和纵坐标 $|t_1 - t_2|$ 区间所围成的区域(如图 2 所示的深色区域)内求出最佳阈值对图像进行分割,得到既能较好地分割头发的高光细节,同时又能较好地分割整幅照片纹理的图像(即“主阈值”分割的二值化图像)。

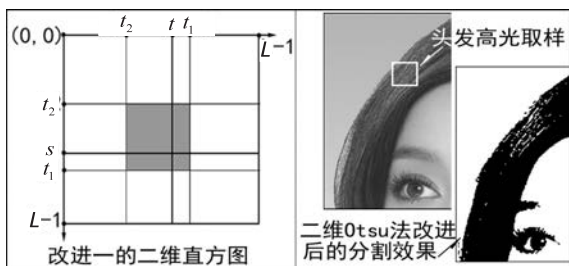


图 2 改进一:主阈值关联图像特定局部细节和整体纹理

3.1.2 改进二:分阈值区间的确定和纹理融合图的形成

使用二维 Otsu 算法,求出基于图像整体像素和其

邻域灰度统计值下的最佳分割阈值 t^*, s^* 。对于照片图像的一维“灰度直方图”,在其横坐标区间 $|t^* - s^*|$ 内选择“分阈值”对图像进行阈值分割,其分割效果对于图像整体从统计学的角度上来讲是接近最优的。

又因为“主阈值”在体现“图像某个局部细节”的同时也体现了图像整体的分割效果,所以将“主阈值”和“分阈值”的分割图像相融合,其图像的整体匹配性也是比较好的。

在第一部分,提到在黑白木刻中,使用黑白相间的“组点”、“组线”或者“组形”,构成不同层次的灰色调,具有协调木刻黑白关系、增强画面美感的效果。文中算法采用“分阈值”方法正是实现黑白木刻中的这种不同层次的灰色调。

由于木刻风格灰色调比较粗犷,所以分阈值的个数不能太多。文中确定在 $|t^* - s^*|$ 区间内确定 5 个“分阈值”,即: $s^*, s^* + 1b, s^* + 2b, s^* + 3b, t^*$ 。其中 $b = \frac{|t^* - s^*|}{4}$ 。

将以 s^* 为分阈值分割后的图像黑色替换为 s^* 对应的灰度色阶值颜色。为了便于计算,将该颜色换算为归一化色阶值颜色: $h = \frac{s^*}{256}$ 。其余分阈值分割后图像的黑色依次替换为灰度色阶值 $h - 10, h - 20, h - 30, h - 40$ 的颜色。之所以采用这样的灰度色阶值颜色,是因为在一定的限度(文中选 40 个灰阶值)内,即可表现出在 s^* 处及其附近灰度比较明显的变化趋势。

最后将以上“分阈值分割图像”进行融合,再与“主阈值分割图像”进行融合,从而形成照片的黑白木刻化纹理图 V,如图 3 所示。

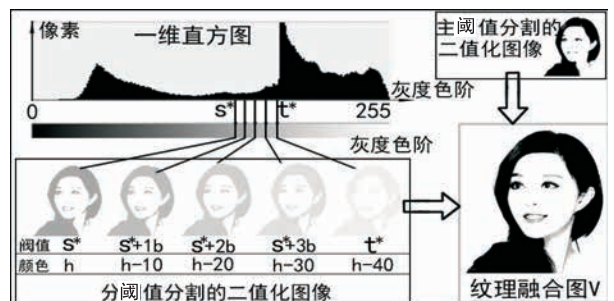


图 3 改进二:分阈值区间的确定和纹理融合图的形成

实施上述方案,具体算法如下。

- (1) 利用式(9)计算出 s^*, t^* 。
- (2) 然后分别在阈值为 $s^*, s^* + 1b, s^* + 2b, s^* + 3b, t^*$ 上对图像进行二值化分割。其中, $b = \frac{|t^* - s^*|}{4}$ 。
- (3) 对分阈值的二值化图,将其黑色值分别用 $h, h - 10, h - 20, h - 30, h - 40$ 的灰色值代替,另外形成一

组新的“分阈值分割图”，分别命名为 fk_5 、 fk_4 、 fk_3 、 fk_2 、 fk_1 。其中， $h = \frac{s^*}{256}$ 。

(4) 图像融合。

为了便于叙述，分别对以分阈值 s^* 、 $s^* + 1b$ 、 $s^* + 2b$ 、 $s^* + 3b$ 、 t^* 为分割阈值，进行分割的二值化图像命名为： f_5 、 f_4 、 f_3 、 f_2 、 f_1 。

首先进行“ fk_5 ”与“ fk_4 ”的融合。

新建一个与 f_5 大小完全相同的矩阵，将其命名为“ f_5 参考矩阵”，按照“ f_5 ”像素点的黑色和白色对“ f_5 参考矩阵”进行赋值：“黑色=1”，“白色=0”。

再新建一个与人物肖像照片大小完全相同的矩阵，命名为“纹理融合 1”。然后对“ f_5 参考矩阵”进行扫描。如果“ f_5 参考矩阵”某点值=1，则“纹理融合 1”矩阵选择“ fk_5 ”与之对应位置的像素值；如果“ f_5 参考矩阵”某点值=0，则“纹理融合 1”矩阵选择“ fk_4 ”为与之对应位置的像素值。由此完成“ fk_5 ”与“ fk_4 ”图像的融合。

复制一个“纹理融合 1”矩阵，将其非白色的像素点值设置为“1”，白色的像素点值设置为“0”，将其命名为“ f_4 参考矩阵”。

与上面的方法相同，利用“ f_4 参考矩阵”实现“纹理融合 1”与“ fk_3 ”的融合。

下面依次类推，实现其他分阈值分割图的融合，再与“主阈值分割图”融合，从而形成照片的黑白木刻化纹理图像 V。

文中所进行的融合运算，均采用此种算法。

3.2 改进方向小波检测边缘形成照片木刻轮廓

从式(20)看到，方向小波变换值的平方与函数平滑后的梯度模值的平方成正比。因此在规定的区域沿小波变换方向寻找极大值，即可检测出该区域图像的边缘。

但是在实验中发现，使用常规方向小波进行边缘检测，沿小波变换方向寻找极大值所得到的边缘线条比较细而且杂乱，连贯性不够好。鉴于上述情况以及结合实际应用，文中对方向小波检测边缘算法进行了如下改进。

3.2.1 改进一：对极大值进行加权

在规定的区域沿小波变换方向，对寻找到的极大值 D 进行加权，权值 $q \in (0, 1]$ 。

若 $q = 0.9$ ，则 $q \times D = 0.9D$ ，意味着满足 $0.9M$ 的点被视为图像边缘点；

若 $q = 0.8$ ，则 $q \times D = 0.8D$ ，意味着满足 $0.8D$ 的点被视为图像边缘点；

.....

也就是说 q 值越低， $q \times D$ 值越低，被视为图像边

缘的点将增多，使得图像边缘增宽必要的细节增加。图 4 为不同 q 值下进行边缘检测，之后再行二值化分割(分割阈值为 25)的图像。可以看出： q 值减小可使图像边缘增宽和必要的细节增多。

实施上述方案，具体算法如下。

(1) 照片图像 $f(x, y)$ 为 $m \times n$ 像素，以每一个像素点 (x, y) 为中心形成 5×5 的邻域。现以 (x, y) 为中心对其邻域进行八个方向 $(0\pi, \frac{1}{8}\pi, \frac{1}{4}\pi, \frac{3}{8}\pi, \frac{1}{2}\pi, \frac{5}{8}\pi, \frac{3}{4}\pi, \frac{7}{8}\pi)$ 的方向小波检测边缘，得到沿小波变换方向经过加权后的极大值 $q \times D$ 。

(2) 对于每一个像素点 (x, y) ，取其八个方向 $q \times D$ 的平均值，即为该点处的灰度值。扫描图像 $f(x, y)$ 的 $m \times n$ 所有像素点，完成同样操作，即可得到该图像边缘的检测图。

(3) 对边缘检测图进行阈值分割(文中分割阈值取值为 25)，得到照片图像的边缘检测图。

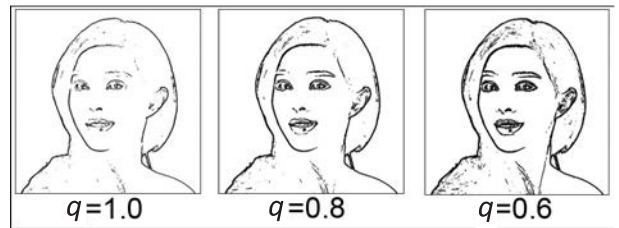


图 4 不同 q 下的边缘检测效果比较

3.2.2 改进二：对分阈值融合图像进行边缘检测

在 3.1.2 小节中，得到照片的“分阈值”分割图像。由于“分阈值”是在二维 Otsu 算法所统计出的图像整体像素点和像素点邻域最佳分割阈值 t^* 、 s^* 所构成的区间内，因此对图像的分割效果从统计角度上接近最优。

现对分阈值图像进行融合，得到分阈值融合图像 FFZ。由于 FFZ 的灰度变化区间比原照片图像小，因此方向小波检测出来的图像边缘线条的连贯性大幅提升，不足之处是边缘细节表现度降低了许多，不过这种弱点可以通过后续融合算法加以弥补。

由于要得到的木刻化边缘线条应尽可能连贯和平滑，所以对于方向小波边缘检测图像在按照一定的阈值分割为二值化图像后，还需要进行“开运算”(即先腐蚀后膨胀)，对其边缘进行优化。

3.2.3 边缘融合与照片黑白木刻风格化的形成

在 3.2.2 小节，已将“分阈值”融合图像进行了小波边缘检测和二值化分割，然后进行了开运算得到图像 P。现将图像 P 中的黑色变为“ $h - 20$ ”的灰度色阶值颜色，于是得到图像 W。

之所以将图像 P 的黑色变为“ $h - 20$ ”的灰度色阶

值颜色,是因为图像 P 取自 5 个“分阈值”的融合图像,而 3.1.2 小节中已说明了这 5 个分阈值二值化图像的灰度色阶值颜色分别为 h 、 $h - 10$ 、 $h - 20$ 、 $h - 30$ 、 $h - 40$,所以图像 P 在这些颜色值上取色,与整体画面的融合度比较好。经验表明取“ $h - 20$ ”的灰度色阶值颜色为宜。

对于照片图像,取权值 $q = 0.9$ 、分割灰度阈值 = 25,进行方向小波边缘检测图和二值化阈值分割,再对其进行开运算,得到图像 Z。

图像 W 与图像 Z 融合,得到照片的木刻化边缘融合图 U,再与照片的黑白木刻化纹理图 V 进行融合,从而形成照片的黑白木刻化风格。

4 实验结果比较及分析

为了验证文中算法的适应性,在多张背景为白色或者浅色的清晰人物肖像照片中选择了三张具有代表性的照片(分别命名为 tp_1 、 tp_2 、 tp_3)。照片高 600 像素、宽 600 像素、分辨率为 300 像素/英寸。如果是彩色照片,文中算法会自动转换为灰度模式。将这些照片在计算机上对文中算法进行验证。硬件平台为 Intel Core2/2.83 GHz/2 GB,软件环境为 Windows 7、MATLAB 7。下面是实验结果及分析。

4.1 传统二维 Otsu 算法与文中改进算法形成的木刻纹理

图 5 所示为三张人物肖像照片(tp_1 、 tp_2 、 tp_3)分别使用传统二维 Otsu 求得阈值对应的二值化图像形成的木刻化纹理,与文中改进后的二维 Otsu 求得阈值对应的二值化图像形成的木刻化纹理。



图 5 传统二维 Otsu 算法与文中算法分割木刻纹理比较

从图中可以清楚地看出,改进后的二维 Otsu 求得阈值对应的二值化图像形成的木刻化纹理,较传统法形成的纹理在“头发高光”等多处区域具有较好的局部细节纹理表现。

这一方面是由于“分阈值”二值化图的灰色色阶,增加了图像某些区域的细节刻画;另一方面是由于头发以外的其他多处局部细节纹理与“头发高光”的灰

度分布近似,所以如果“头发高光”局部纹理分割效果得到改善,那么这些类似区域的纹理分割效果也会得到一定程度的改善。

4.2 常规算法与文中改进算法形成的木刻边缘比较

图 6 为三张人物肖像照片(tp_1 、 tp_2 、 tp_3)使用常规方向小波边缘检测算法及边缘优化后的结果,与文中改进方向小波边缘检测及边缘优化后的结果比较。



图 6 常规算法与文中算法木刻边缘检测比较

由于木刻边缘线条要求尽可能的连贯和平滑,所以对于方向小波边缘检测后的图像在按照一定的阈值分割为二值化图像后,需要再进行“开运算”(即先腐蚀后膨胀)对其边缘进行优化。

从图 6 可以清楚地看出,改进后的算法形成的黑白木刻化边缘,较常规算法形成的黑白木刻化边缘,清晰度和连贯性都有了较大幅度的提高。其原因主要是由于文中采用了沿小波变换方向搜寻到的极大值进行加权,使检测到的照片图像边缘宽度和细节数量可控;对“分阈值”融合图像进行方向小波边缘检测,由于其灰度变化区间比原照小,所以使检测到的图像边缘的连贯性得以改善。

4.3 原照与文中算法实现的木刻风格化图像的比较

图 7 为三张人物肖像照片(tp_1 、 tp_2 、 tp_3)原照与文中算法实现其黑白木刻化风格图像的比较。



图 7 原照与文中算法实现木刻化风格图像的比较

从图中可以看出,文中算法较好地体现出了木刻作品的“删繁就简、结构清晰、视觉冲击力强”等风格。

特别是“分阈值”灰色色阶模拟实际黑白木刻中“组点”、“组线”或者“组形”所构成的不同层次的灰色调,该灰色调不仅使木刻画画面黑白关系更加协调,而且增强了木刻画画面的美感。

5 结束语

文中基于 Otsu 阈值分割图像和多方向小波检测图像边缘算法,研究开发出一种实现人物肖像照片黑白木刻风格化的算法。实验结果表明,该算法具有较好的适应性和实用价值。下一步要解决的问题是:将“主阈值”设为两个,以增强“主阈值”在整个画面木刻纹理中的表现力度;适度细分对多方向小波边缘检测算法结果的分割阈值,以便更好地表现出画面的木刻边缘效果。

参考文献:

- [1] 中文百科在线. 木刻画版[EB/OL]. (2012-03-14)[2015-04-02]. <http://www.zwbk.org/MyLemmaShow.aspx?lid=232029>.
- [2] 沙永汇,徐彦婷. 黑、白与灰调系列在黑白木刻画中的表现意义[J]. 艺术研究,2008(2):102-103.
- [3] Sezgin M, Sankur B. Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation[J]. Journal of Electronic Imaging,2004,13(1):146-165.
- [4] Otsu N. A threshold selection method from gray-level histogram[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernet-

ics,1979,9(1):62-66.

- [5] 刘健庄,栗文青. 灰度图象的二维 Otsu 自动阈值分割法[J]. 自动化学报,1993,19(1):101-105.
- [6] 胡学龙. 数字图像处理[M]. 第2版. 北京:电子工业出版社,2012.
- [7] Mallat S, Hwang W L. Singularity detection and processing with wavelets[J]. IEEE Trans on Information Theory,1992,38(2):617-643.
- [8] Mallat S, Zhong S. Characterization of signals from multiscale edges[J]. IEEE Trans on PAMI,1992,14(7):710-732.
- [9] 刘绪崇,王建新,罗永. 基于统计模型和方向小波的图像认证水印算法[J]. 湖南大学学报:自然科学版,2010,37(11):77-81.
- [10] 黄开兴,罗永,成礼智. 基于方向小波和直方图平移的无损脆弱水印[J]. 计算机工程,2009,35(15):153-155.
- [11] 马玲,张晓辉. HSV 颜色空间的饱和度与明度关系模型[J]. 计算机辅助设计与图形学学报版,2014,26(8):1272-1278.
- [12] 宫凯. 浅析平面设计中的黑白灰情节[D]. 西安:西安美术学院,2010.
- [13] 徐长新,彭国华. 二维 Otsu 阈值法的快速算法[J]. 计算机应用,2012,32(5):1258-1260.
- [14] 吴艳,沈博,廖桂生. 基于多方向小波模糊融合的 SAR 图像边缘提取[J]. 西安电子科技大学学报,2006,33(5):691-695.
- [15] 付丽华,陈涛,李落清. 基于方向小波变换的边缘检测[J]. 湖北大学学报:自然科学版,2003,25(2):95-99.


(上接第 57 页)

- Physical Review E,2005,72:026132.
- [8] Fortunato S, Barthelemy M. Resolution limit in community detection[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,2007,104:36-41.
- [9] Pizzuti C. GA-Net: a genetic algorithm for community detection in social networks[C]//Proc of PPSN X. [s. l.]: [s. n.],2008:1081-1090.
- [10] Li Z, Zhang S, Wang R S, et al. Quantitative function for community detection[J]. Physical Review E - Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics,2008,77:036109.
- [11] Pizzuti C. A multiobjective genetic algorithm to find communities in complex networks[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation,2012,16(3):418-430.
- [12] Shi C, Yan Z, Cai Y, et al. Multi-objective community detection in complex networks[J]. Applied Soft Computing,2012,12(2):850-859.
- [13] Gong M, Ma L, Zhang Q, et al. Community detection in networks by using multiobjective evolutionary algorithm with decomposition[J]. Physica a-Statistical Mechanics and Its Ap-

plications,2012,391:4050-4060.

- [14] Radicchi F, Castellano F, Ceccon I, et al. Defining and identifying communities in networks[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,2004,101(9):2658-2663.
- [15] Angelini L, Boccaletti S, Marinazzo D, et al. Identification of network modules by optimization of ratio association[J]. Chaos,2007,17:023114.
- [16] Wei Y C, Cheng C K. Ratio cut partitioning for hierarchical designs[J]. IEEE Transactions on Computer-aided Design of Integrated Circuits and Systems,1991,10(7):911-921.
- [17] Wu F, Huberman B A. Finding communities in linear time: a physics approach[J]. The European Physical Journal B-Condensed Matter and Complex Systems,2004,38:331-338.
- [18] Lancichinetti A, Fortunato S, Radicchi F. Benchmark graphs for testing community detection algorithms[J]. Physical Review E,2008,78:046110.
- [19] Zachary W W. An information flow model for conflict and fission in small groups[J]. J Anthropol Res,1977,33:452-473.

基于 Otsu 和小波算法实现肖像照黑白木刻风格

作者: [王晓迎](#), [LIU Sixia](#), [黄源](#), [WANG Xiao-ying](#), [LIU Sixia](#), [HUANG Yuan](#)
作者单位: [王晓迎, WANG Xiao-ying\(西安思源学院, 陕西 西安, 710038\)](#), [LIU Sixia, LIU Sixia\(法国利摩日大学, 法国 利摩日, 870001\)](#), [黄源, HUANG Yuan\(西安邮电大学, 陕西 西安, 710061\)](#)
刊名: [计算机技术与发展](#) 
英文刊名:
年, 卷(期): 2016(1)

引用本文格式: [王晓迎, LIU Sixia, 黄源, WANG Xiao-ying, LIU Sixia, HUANG Yuan](#) 基于 Otsu 和小波算法实现肖像照黑白木刻风格[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2016(1)