

基于改进的空间直方图变换的图像编辑技术研究

刘文辉^{1,2}, 许 瑞²

(1 喀什师范学院 信息工程技术系, 新疆 喀什 844000;

2 新疆教育学院 信息科学与技术分院, 新疆 乌鲁木齐 830043)

摘 要: 直方图均衡是常用的图像对比度增强技术, 然而直方图并不包含任何的空间颜色的分布信息, 因此其在图像编辑方面的应用还很有限. 为了解决这个问题, 可以采用空间直方图技术以实现跟踪的目的. 空间直方图是将直方图与每一种颜色的位置的均值和方差联合起来的图像描述方法, 由此提出了一种新的空间直方图变换方法以实现图像的局部还原, 通过采用一个参考空间直方图来修正所处理的图像中的感兴趣区域的颜色值, 基于图像的阴影去除和修复的仿真表明了此方法的有效性.

关键词: 图像编辑; 空间直方图; 图像修复; 空间变换

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)07-0161-06

Image Editing Based on Improved Spatiograms Transfer

LIU Wen-hui^{1,2}, XU Rui²

(1 Department of Information Engineering, Kashgar Teachers College, KaShgar 844008, China;

2 School of Information Sciences and Technology, Xinjiang Education Institute, Urumqi 830043, China)

Abstract: Histogram equalization is a well-known method for image contrast enhancement. Nevertheless, as histograms do not include any information on the spatial repartition of colors, their application to local image editing problems remains limited. To cope with this lack of spatial information, spatiograms have been recently proposed for tracking purposes. A spatiogram is an image descriptor that combines a histogram with the mean and the variance of the position of each color. This paper addresses the problem of local retouching of images by proposing a variational method for spatiogram transfer. More precisely, a reference spatiogram is used to modify the color value of a given region of interest of the processed image. Experiments on shadow removal and inpainting demonstrate the strength of the proposed approach.

Key words: image editing; spatiogram; image inpainting; histogram transfer

1 引言

图像编辑可以直接应用于图像增强、图像复原等方面. 图像编辑可以针对整幅图像也可以针对局部图像. 最常用的全局图像处理的方法就是直方图均衡化. 直方图均衡化已经广泛应用于对比度增强、3-D 重建、着色等领域^[1-2]. 直方图均衡就是将寻找一个变换函数将一幅图像转化为具有近似归一化直方图的图像. 将原直方图转化为不具有归一化特性

的直方图, 需要更加先进的技术^[3]. 尽管在一部分应用中, 每一个颜色可以单独处理; 然而通常它们是相互关联的, 我们需要考虑 3-D 直方图变换^[4]. 文献[5]中表明, 图像可以直接进行处理, 而不是在变换系统中将直方图作为一个变量. 这样, 两个在原图像中具有相同颜色的像素在最终的图像中就会具有不同的像素值. 然而得到真实的图像合成, 在直方图空间或者图像空间的颜色变换是不够的; 还需要考虑图像的空间信息. 事实上, 与直方图相关的两幅图像

收稿日期: 2013-09-18; 修回日期: 2013-11-09

基金项目: 2011 年度新疆维吾尔自治区高校科研计划重点项目“南疆多民族人脸特征图像库系统研究”(XJEDU2011145)

之间的内容变化也需要被考虑^[6].

同样,还有许多局部图像编辑技术,这些技术主要应用于阴影去除、图像复原、Poisson 编辑、纹理合成等方面^[7-9]. 尽管文献[7]中提到了很多应用,这些应用都必须对用于 Poisson 编辑的参考梯度场进行特殊的设置. 比如在阴影去除中,通过手动修改梯度的幅度以使图像变亮或者是变暗,这种方法不能够恢复失去的颜色. 因此,必须寻找更优的方法以实现阴影去除等应用,直方图是一个很有效的方法. 直方图方法在局部图像编辑中研究得还很少. 在图像复原中,文献[8]中将直方图变换作为一种后处理方法以便使最终的图像在复原区域的内部和外部更加一致. 很少有研究利用颜色的空间分布在直方图中的应用的文献. 这种方法只是在对比度增强、图像克隆等领域有很少的应用^[10].

本文通过直方图变换以实现局部图像编辑. 为了利用颜色的空间分布信息,我们采用空间直方图变换的方法,通过单一的能量最小化得到适用于不同的图像处理问题的空间直方图变换. 空间直方图的概念与每一种颜色的位置的均值和方差相关,是一种图像跟踪的非常有效的手段. 这种方法已经在视频图像处理和图像复原等领域展现了其优势^[11].

2 相关背景介绍

假设 $I(x)$ 为空间域 Ω 上的彩色图像: $I: x \in \Omega \mapsto (I_1, I_2, I_3) \in [0, 255]^3$. 在这里我们考虑 RGB 颜色空间. 我们只考虑通常的 3-D 颜色变换问题,因为在完全不相关的通道内不存在颜色空间.

对于颜色 $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) \in [0, 255]^3$, I 的直方图 h_I 定义为

$$h_I(\lambda) = \frac{1}{|\Omega|} \int_{\Omega} \delta(I(x) - \lambda) dx \quad (1)$$

式中, $\delta(\cdot)$ 为 Dirac 函数. 事实上,直方图是离散化的,但是为了表达的方便,我们在本文中保留这种连续的表述方式.

直方图描述了图像颜色的分布情况. 为了在直方图中加入一些空间信息, Birchfield 等人提出在直方图中加入颜色的平均位置信息 μ_I 和空间方差信息 $\sum I$:

$$\mu_I(\lambda) = \frac{1}{|\Omega h_I(\lambda)|} \int_{\Omega} x \delta(I(x) - \lambda) dx \quad (2)$$

$$\sum I(\lambda) = \frac{1}{|\Omega h_I(\lambda)|} \int_{\Omega} (x - \mu_I(\lambda)) \times (x - \mu_I(\lambda))^T \delta(I(x) - \lambda) dx \quad (3)$$

图像 I 的空间直方图最终定义为

$$S_I = (h_I, \mu_I, \sum I) \quad (4)$$

很明显,前面提到的 μ_I 和 $\sum I$ 都只在 $h_I(\lambda) > 0$ 时有意义,也就是说至少存在一个像素对相应的颜色有贡献.

文中,我们将介绍一种空间直方图变换. 我们的方法主要基于变分直方图变换. 在辨分直方图变换中,假设有两幅图像 I^0, I^r , 其中 I^r 为参考图像. 我们希望通过某种变换使得 I^0 的直方图与 I^r 的直方图尽可能一致. 建立一个基于两幅图像的直方图能量差的代价函数是最直接的方法. 然而由于 Dirac 函数的存在,这种函数关于 I 是不可微的. 为了解决这个问题我们可以考虑累计直方图. 图像 I 的累计直方图定义为

$$h_I(\lambda) = \frac{1}{|\Omega|} \int_{\Omega} g_{\lambda}(I(x)) dx \quad (5)$$

其中,

$$g_{\lambda}(I(x)) = \begin{cases} 1, & I_1(x) \leq \lambda_1, I_2(x) \leq \lambda_2, I_3(x) \leq \lambda_3 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

$g_{\lambda}(I(x))$ 在存在小的扰动 $dI = (dI_1, dI_2, dI_3)$ 时关于 I 是可微的:

$$\nabla_{I_i} g_{\lambda}(I) dI_i = -\delta(\lambda_i - I_i) dI_i \quad (7)$$

比较两幅图像的累计直方图的 L^2 距离的能量函数可以表示为

$$E_T(I) = \int_D (H_I(\lambda) - H_{I^r}(\lambda))^2 d\lambda \quad (8)$$

式中, $D = [0, 255]^3$ 为颜色空间的范围.

对图像 I 和 I^0 之间的颜色差异加入惩罚函数的能量关系式可以表示为

$$E_0(I) = \int_{\Omega} f(x) \|I(x) - I^0(x)\|^2 dx \quad (9)$$

其中,

$$f(x) = e^{-\frac{\min_{z \in \partial \Omega} \|x - z\|^2}{\sigma^2}} \quad (10)$$

式中, $\|\cdot\|$ 表示 Euclidean 距离, $\sigma > 0$ 表示影响的区域.

变分直方图变化最终可以定义为使下式最小化:

$$\min (E_T(I) + \alpha E_0(I)) \quad (11)$$

加权系数 $\alpha \geq 0$, 用于平衡最初的数据 I^0 对 I 和 I^r 的累计直方图之间的差异的影响. 式(11)的求解可以通过梯度下降法实现. 即使能量函数(11)不是凸优化问题,局部最小值也能得到很好的结果.

3 空间直方图变换模型

通过考虑式(2)定义的均值和方差的 L^2 距离可以将变分方法直接扩展到空间直方图.然而,定义中包含了Dirac函数,且只在 $h_I(\lambda) > 0$ 有意义,因此关于 I 不可微.除此之外,由于颜色的均值和方差并不是密度,考虑其累积性没有意义.

因此有必要对均值和方差的变换分别建模.空间变换的目的是使具有颜色 $I^0(x)$ 的像素 x 最终具有与参考图像 S_{I^r} 中对应像素近似的颜色 $I(x)$,且使两幅图像的直方图近似.也就是说,如果 $\mu_{I^r}(I(x))$ 与 x 差异很大,则 x 的最终颜色就不应该为 $I(x)$.这种条件应该被加入变分模型以使其差异最小化:

$$\int_{\Omega} \|x - \mu_{I^r}(I(x))\| \sum_{I^r(x) < I(x)} dx \quad (12)$$

式中, $\|u\|_{\Sigma}$ 为 $u^T \Sigma^{-1} u$.事实上,对这样一个最优化问题采用梯度下降法并不是最有效的,因为均值和方差并不是在整个空间有定义.为了解决这个问题可以采用图割法.然而,即使我们只考虑空间直方图的一小部分,其计算量也是难以接受的.我们提出的解决办法就是在模型中加入惩罚部分:

$$E_S(I) = \int_{\Omega_D} e^{(-\|x - \mu_{I^r}(I(x))\| \sum_{I^r(x) < I(x)} \|I(x) - \lambda\|^2 d\lambda dx} \quad (13)$$

通过使式(13)最小化,当像素 x 的位置与平均位置 $\mu_{I^r}(\lambda)$ 接近时,其最终颜色为 λ .采用这种包含直方图空间信息的能量函数不需要对每一图像块的均值和方差进行微分.这样就会使得问题的求解变得方便,因为只需要考虑在非空区域的节分 $\tilde{D} = \{\lambda h_{I^r}(\lambda) \geq \epsilon\}$.为了能够计算方差,我们只考虑至少包含3个像素的区域.

如果在掩模区域进行直方图或空间直方图变换,就会在边界部分产生虚假信息,因为没有任何的处理措施保证边界部分的颜色的连续性.因此我们必须考虑边界的颜色值以便区分跨边界的信息.这可以通过在限制条件 $I|_{\partial\Omega} = I_{\Omega}^0$ 中加入下式所示的能量函数实现:

$$E_D(I) = \sum_{i=1}^3 \int_{B \subset \Omega} \|\nabla I_i\|^2 \quad (14)$$

式中, $B(\Omega)$ 的定义为 $\{x \in \Omega: \text{dist}(x, \partial\Omega) \leq \eta\}$, $\eta > 0$.式(14)保证了颜色的空间连续性.

空间直方图变换的最终定义为

$$E(I) = E_T(I) + \alpha E_0(I) + \beta E_S(I) + \gamma E_D(I) \quad (15)$$

式中, $\alpha \geq 0, \beta \geq 0, \gamma > 0$ 分别为加权值.通过使式(13)最小化,图像 I 的空间直方图 S_I 会变得与参考图像的直方图 S_{I^r} 接近.

我们采用梯度下降法求解式(15).因此对变量 $I = (I_1, I_2, I_3)$,我们有如下的数学表达式:

$$I_i^{k+1} = I_i^k - \tau \nabla_{I_i^k} E \quad (16)$$

式中, $\tau > 0$,初始值为 I^0 .式(6)中两幅图像的累计直方图的差异的比较函数的微分可以表示为

$$\begin{aligned} \nabla_{I_i^k} E_T(I(x)) &= \nabla_{I_i^k} \int_D (H_I^k(\lambda) - H_{I^r}(\lambda))^2 d\lambda \\ &= -\frac{1}{\Omega} \int_{I_j < x}^{255} \int_{I_k < x}^{255} [H_I^k(I_i(x), \lambda_j, \\ &\quad \lambda_k) - H_{I^r}(I_i(x), \lambda_j, \lambda_k)] d\lambda_j d\lambda_k \end{aligned} \quad (17)$$

由式(5)有 $\nabla_{I_i^k < x} H_I^k(\lambda) = -\delta(\lambda_i - I_i^k(x))$.在式(17)中,当 $i=1$ 时,我们用 $(I_1(x), \lambda_j, \lambda_k)$ 表示 $(I_1(x), \lambda_2, \lambda_3)$;当 $i=2$ 时,我们用 $(I_i(x), \lambda_j, \lambda_k)$ 表示 $(I_2(x), \lambda_1, \lambda_3)$;当 $i=3$ 时,我们用 $(I_i(x), \lambda_j, \lambda_k)$ 表示 $(I_3(x), \lambda_2, \lambda_1)$.

式(7)中所示的附加部分可以简化为

$$\nabla_{I_i^k} E_0 = f(I_i^k - I_i^0) \quad (18)$$

式(13)的微分可以表示为

$$\begin{aligned} \nabla_{I_i^k} E_S &= \int_D e^{(-\|x - \mu_{I^r}(I(x))\| \sum_{I^r(x) < I(x)} \|I(x) - \lambda\|^2 d\lambda} \\ &\quad \|I(x) - \lambda\|^2 d\lambda \end{aligned} \quad (19)$$

最后,式(14)所示的模糊能量部分额可以表示为

$$\nabla_{I_i^k} E_D = -\Delta I_i^k \quad (20)$$

式(17)中的初始条件可以在每一步开始的时候由当前的 h_I, h_{I^r} 预先计算;式(19)所示的权值对所有的 $x \in \Omega, \lambda \in \tilde{D}$ 只需要计算和存储一次;整个梯度下降法在图像域内可以并行运行.

4 仿真实验与结果分析

本节我们通过最小化式(15)所示的能量函数得到重建的图像.在我们处理整幅图像的时候,没有必要考虑边界限制,因此我们设置 $\gamma=0, E_D(I)=0$.采用图1(a)所示的参考图像,计算其空间直方图,然后采用式(6)和式(10)所示的空间直方图能量和模型来重建图像,如图1(d)所示.在这个验证中,未知图像 I 的初始值为一常数的灰度图像,则 $\alpha=0$.图

1(c)所示为最小化直方图的空间能量 E_s 所得到的结果. 为了便于比较, 图 1(b)所示为采用文献[12]中所得到的重建结果.

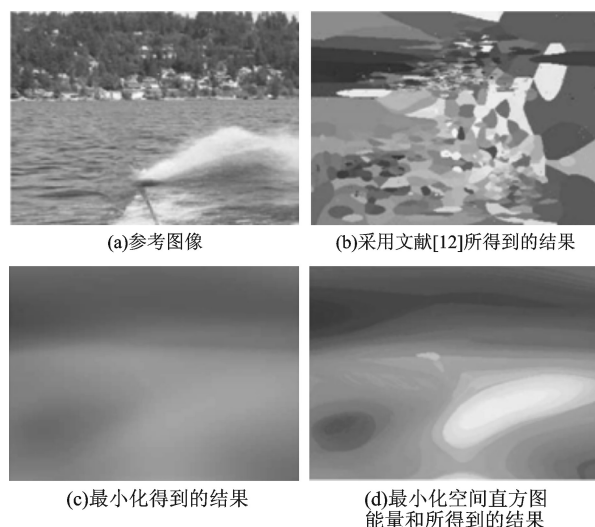


图 1 图像重建的结果

实验表明当图像与参考图像的拓扑结构和颜色与参考图像类似的时候, 空间信息能够用于图像的重建. 从图中我们可以看出, 这种方法不能够重建图像的纹理结构. 然而, 本文所提出的方法能够应用在一些特殊的图像处理问题中. 接下来首先验证本文方法在图像修复中的应用. 利用已知图像的空间直方图特性能够重建出图像的未知部分, 从而使得图像复原. 在图像复原中, 在需要复原的地方没有原图像存在, 因此在复原过程中, 我们只需要将对应区域的参数 α 设置为 0.

本文首先采用一幅比较简单的图像, 如图 2(a)所示, 来验证式(15)中各分量对图像复原质量的影响. 在这个例子中, 域 Ω 为图像的未知区域的中心部分. 通过未知区域以外的整幅图像可以计算参考空间直方图. 图 2(b)所示为只考虑式(15)中 E_T 分量对空间直方图的影响所得到的结果. 由于未知区域都被初始化为统一的灰度值, 图像复原对所有像素所附加的信息都是相同的, 所复原的结果就为一相同的颜色.

图 2(c)所示为只考虑式(15)中最小化 E_s 分量所得到的结果. 在未知区域的边缘产生了与空间直方图不一致的与已知区域的颜色一致的模糊颜色. 由于利用了空间信息, 重建结果与未知区域边界的颜色一致. 图 2(d)所示为最小化 E_T 和 E_s , 同时将参数 α, γ 设置为 0 所得到的结果. 从图中我们可以清楚的看到直方图变换能量分量 $E_T(I)$ 对重建质量的影响. $E_T(I)$ 对未知区域附加了一个全局标准,

这在传统的图像修复算法中是没有的.

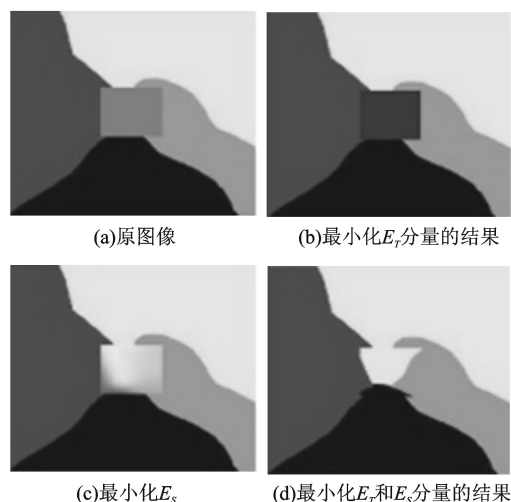


图 2 空间直方图变化各分量对图像复原的影响

与基于扩散的图像复原方法比, 这种结果无法显示出优势, 因此我们需要将扩散项 E_D 包含在内. 需要注意的是, 在这一节, 我们的目的并不是要提出一种新的图像复原方法, 而只是展示基于直方图变换的图像复原方法能够给我们带来的好处. 可以采用更高阶的偏导数来代替扩展项, 这样能够提高只最小化 E_D 时的图像复原效果, 但是在边缘处同样会产生模糊区域, 如图 3(b)所示. 文献[13]中, 通过保留已知颜色的信息而不是其直方图信息, 得到了更好的复原效果, 如图 3(c)所示.

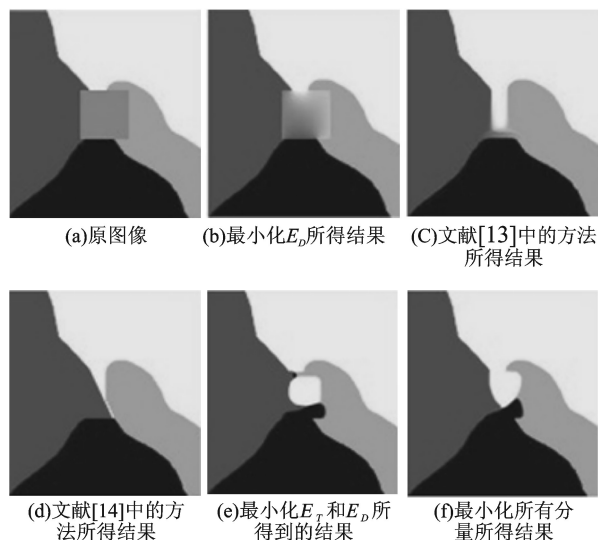


图 3 不同图像复原方法所得结果比较

为了比较的完整性, 我们同样采用了基于模型的复原方法^[14], 所得结果如图 3(d)所示. 这种方法会产生大量的人为的错误信息, 因为已知的图像没有包含足够的与未知区域相关的信息. 图 3(e)是最小化 E_T 和 E_D 所得到的结果. 从图中可以看到, 在图像复原区

域产生了平滑的颜色,与直方图所包含的信息一致.然而由于缺少空间信息意味着在复原区域的上部产生了一个蓝颜色的区域.图3(f)所示为最小化所有分量所得到的结果.对比图3(f)和图2(c)的结果可以看出,最小化 E_D 对复原的质量有重大影响,因为最小化 E_D 使得复原区域的边缘产生了连续的颜色.这种方法最有趣的优点在于在限制新颜色产生的同时能够早复原区域的内部实现变化的扩展颜色,这在基于扩展的图像复原方法中是很难实现的.与文献[14]中的方法比,在两种复原区域的两种不同颜色的边缘处产生了更少的新的颜色.

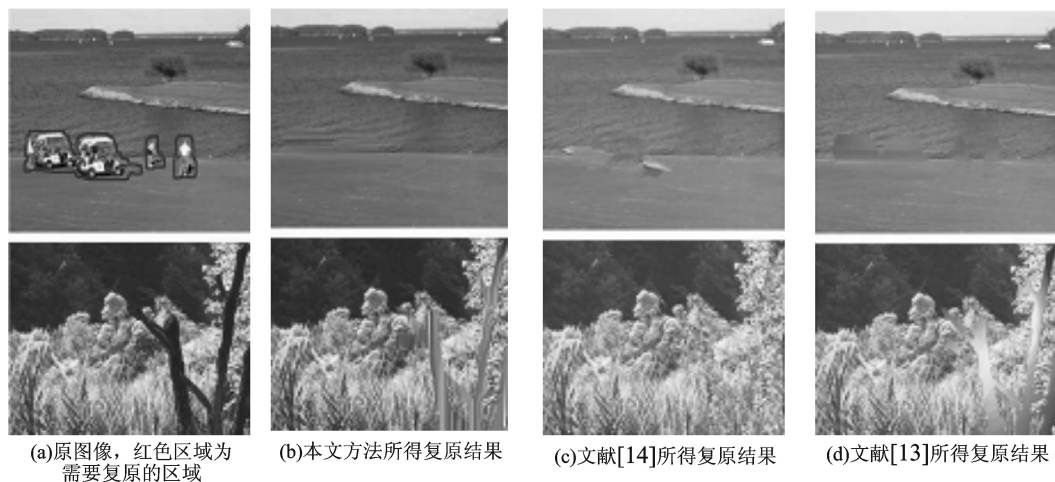


图4 复杂图像的复原结果比较

接下来验证一下本文方法在图像阴影消除中的应用.在基于模型的图像复原增强技术中,在需要复原区域已经包含了一部分在变换过程中需要保留的结构信息.假设 I^0 为一幅包含由于曝光而产生阴影的图像.阴影区域能够通过有效的算法估计出来,我们的任务是消除阴影.一旦包含阴影的区域 Ω 被估计出来,本文所提出的算法就能够应用于将外部区域的直方图变换到需要复原的区域内部.采用直方图变换的方法能够在需要复原的区域内部保留外部图像的颜色分布信息.图5(b)和(d)所示分别为采用文献[15]和本文方法所得到的阴影消除结果.从图中可以看到,利用已知的信息,阴影消除区域内部的结构信息和外部区域的颜色信息,能够得到和真实图像非常相近的复原图像.图5(c)所示为采用文献[14]中的方法所得到的结果.除了在阴影消除区域的边缘,文献[15]中的方法所得到的结果和本文方法所得到的结果非常相近.但是如果仔细观察,我们会发现,由于没有采用特殊的空间信息处理,文献[4]中的方法所得结果包含了很多不自然的斑点.如图6所示.

图4所示为对复杂图像的图像复原结果.同样,我们将本文算法与文献[13-14]中的方法进行比较.在这个验证中,我们假设对需要复原的区域的颜色的先验信息未知.在第一幅图像中,文献[13]中的方法和本文方法都得到了较好的复原图像,对大海与草地之间的分界线实现了准确复原,与文献[14]中的所得结果相比,明显具有更高的质量.在第二幅图像中,包含了树和草地.在这种图像中,文献[14]中的所得到的复原质量就会高于文献[13]中的方法和本文方法所得到的结果.在这种图像中,未知区域的颜色信息只是图像某一相似区域的复制.

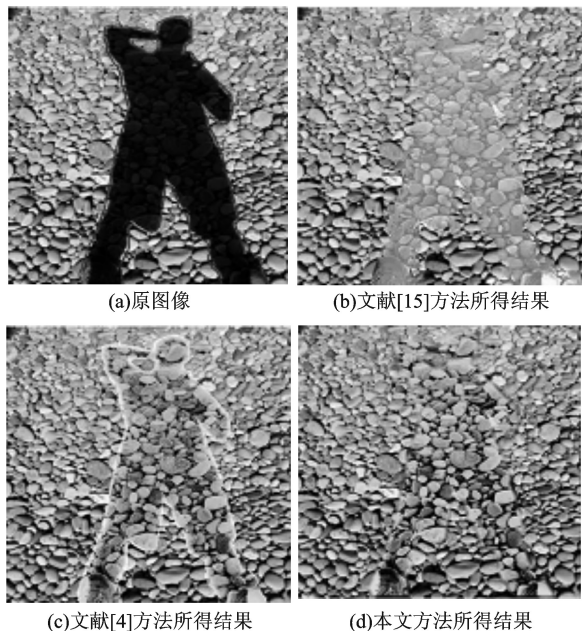


图5 阴影消除的结果比较

5 结束语

本文提出了一种新的空间直方图变换的实现方



(a)图5(c)对应区域的放大结果 (b)图5(d)对应区域的放大结果

图 6 阴影消除的结果放大比较

法,并将其应用到各种图像处理的任务中,比如图像修复和阴影消除等.通过与其他比较成熟的算法相比,本文方法能够取得令人满意的结果.在图像复原中,通过最小化空间直方图变换的各个分量,能够为复原质量带来不同的影响.在大多数图像复原任务中能够取得比现有方法更优的质量.在阴影消除中,通过直方图变换能够将阴影区域外部的颜色信息应用到阴影消除区域内部,同时结合阴影区域的结构信息,能够得到和真实图像非常相近的复原图像,同时不会产生斑点图像,复原质量非常高.

参考文献:

- [1] Bugeau A, Bertalmio M, Caselles V, et al. A comprehensive frame work for image inpainting [J]. IEEE Trans Image Process, 2010,19(10):2634-2645.
- [2] 王向阳,杨红颖,郑宏亮,等.基于视觉权值的分块颜色直方图图像检索算法[J].自动化学报,2010,36(10):1489-1492.
- [3] Delon J. Movie and video scale-time equalization application to flicker reduction [J]. IEEE Trans Image Process,2006,15(1):241-248.
- [4] 于永健,王向阳,吴俊峰.基于颜色复杂度的加权颜色直方图图像检索算法 [J]. 小型微型计算机系统,2009,30(3):507-511.
- [5] Papadakis N, Provenzi E, Caselles V. A variational model for histogram transfer of color images[J]. IEEE Trans Image Process,2011,20(6):1682-1695.
- [6] Rabin J, Delon J, Gousseau Y. Regularization of transportation maps for color and contrast transfer[C]//Proceedings of the 17th IEEE International Conference on Image Processing. Hong Kong:IEEE,2010:1933-1936.
- [7] 杜振龙,李晓丽,郭延文,等.大尺度图像编辑的泊松方程并行多重网格求解算法[J].计算机科学,2013,40(3):59-61.
- [8] Li H, Wang S, Wu W Z M. Image inpainting based on scene transform and color transfer[J]. Pattern Recognition Lett, 2010,31(7):582-592.
- [9] 张新明,孙印杰,郑延斌.二维直方图准分的 Otsu 图像分割及其快速实现[J].电子学报,2011,39(8):1778-1784.
- [10] Sunkavalli K, Johnson M, Matusik W, et al. Multi-scale image harmonization[J]. ACM Transactions on Graphics, 2010(125):1-10.
- [11] Singh B, Sinha G, Khan I. Comparison of histogram and spatiograms for content based retrieval of remote sensing images[C]//Proceedings of the International COnference on Recent Trends in Business Administration and Information. India:IEEE,2010:152-156.
- [12] 魏雪峰,刘晓.基于2维最大熵最佳阈值算法的图像分割研究[J].激光技术,2013,37(4):519-523.
- [13] Tschumperlé D. Fast anisotropic smoothing of multi-valued images using curvature-preserving PDE's[J]. Int J Comput Vis, 2006,68(1):65-82.
- [14] 张小琴,李懿,鲜雪梅,等.尿沉渣细胞图像的预处理和分割研究综述[J].吉首大学学报:自然科学版,2012,33(4):120-128.
- [15] Shor Y, Lischinski D. The shadow meets the mask: Pyramid based shadow removal[J]. Comput Graph Forum, 2008,27(2):577-586.

作者简介:

刘文辉 男,(1969-),硕士,副教授.研究方向图像处理、模式识别、人脸识别等.

许瑞 女,(1967-),硕士,副教授.研究方向为中文信息处理,模式识别等.

(上接第 160 页)

- [4] 陈维义,罗晓沛.基于 Hough 变换和变形曲线技术的椭圆提取研究[J].微电子学与计算机,2004,21(9):91-95.
- [5] 薛程,王士同.椭圆检测算法的比较[J].江南大学学报:自然科学版,2006,5(6):674-678.
- [6] Mark S Nixon, Alberto S Aguado.特征提取与图像处理[M].2版.李实英,杨高波,译.北京:电子工业出版社,2010.
- [7] 付光远.一种基于 Sobel 分解算子的图像边缘检测并行算法[J].微电子学与计算机,2006,23(9):132-134.

作者简介:

卫 炆 男,(1985-),博士,工程师.研究方向是光纤陀螺光电器件以及集成光学技术.