

基于 Alpha 稳定分布模型的彩色图像边缘检测新算法

李丽

大连大学信息工程学院, 辽宁大连 116622

摘要 在彩色图像的边缘检测中, 如何去掉噪声的干扰及怎样更精确的检测出边缘是图像处理中一个非常重要的问题。本文提出了一种去除脉冲噪声干扰的彩色图像的边缘检测算法。首先, 提出一种基于 Alpha 稳定分布模型的图像去噪算法。其次, 利用改进的各向同性边缘检测器和快速熵阈值技术自动确定图像边界, 并考虑了像素与其邻域像素的颜色距离进一步精确定位图像的边缘。实验证明, 该算法能够克服脉冲噪声的影响, 较精确的检测出彩色图像的边缘。

关键词 LUV 彩色空间; alpha 稳定分布; 边缘检测; 斑点噪声

中图分类号 TP391

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.02.004

An Novel Method for Detecting Color Image Edge Based on Alpha Stable Distribution

LI Li

College of Information Engineering, Dalian University, Dalian 116622, Liaoning Province, China

Abstract Because the color is a powerful indicator of a color image, so the color edge detection is essential for color image segmentation. The speckle noise in a color image would severely degrade the image interpretation and increase the difficulty for image processing, such as for edge detection and feature extraction. Thus, it is important to reserve the edge characters effectively based on speckle noise removing. This paper proposes a novel algorithm for removing the speckle noise and detecting the color image edge. Firstly, a denoising algorithm is proposed based on the alpha stable distribution. Secondly, the color image edges are obtained automatically by combining an improved isotropic edge detector and a fast entropy threshold technique. According to the color distance between the pixel and its eight neighbor-pixels, the color image edges can be further accurately determined. The experiments demonstrate that the proposed method can successfully be used to obtain the color image edges.

Keywords LUV color space; Alpha-stable distribution; edge detection; speckle noise

0 引言

边缘是图像中灰度级或者结构或多或少存在突变的地方, 表明一个区域的终结和另一个区域位置的开始。数字图像的边缘检测是图像分割、目标区域的识别、区域形状提取等图像分析领域十分重要的基础, 图像理解和分析的第一步往往就是边缘检测。它为图像的识别、恢复、增强以及重建提供了手段。

在数字图像处理中, 人们往往把邻接区域上像素点的亮度值明显不同的像素认定为边界。然而, 当邻接区域的像素

的亮度值非常相近时, 它们的颜色却也有可能明显不同, 而且, 人视觉上感知边缘位置的依据是亮度值和彩色等信息, 目前传统的边缘检测大多是基于灰度的, 这对于彩色图像来说, 它的彩色信息就没有被充分的利用, 当图像的灰度差别很小时检测不到边缘, 有时还会错误定位边缘, 因此邻接区域间像素亮度的变化和颜色的变化都应该被用到图像彩色边界的提取中^[1-9]。

在许多图像处理应用领域中, 噪声去除和图像平滑都是非常重要的。针对彩色图像斑点噪声抑制的问题, 研究人员

收稿日期: 2011-09-16; 修回日期: 2012-01-04

作者简介: 李丽, 讲师, 研究方向为数字图像及信号处理, 电子信箱: ffsimple@163.com

已经提出了很多方法,例如,高斯滤波器和中值滤波器经常被用来作为彩色图像量化,运动估计和图像分割的预处理^[6]。对彩色图像,向量中值滤波器是去除噪声的一种常用的方法。另外还有向量方向滤波器和方向距离滤波器等其他方法,后者是向量中值滤波器和方向向量滤波器的结合。这些方法的缺点之一是,它们总是均匀地实现对这图像的处理和倾向于修改那些未被破坏的像素点。龚卫国等^[7]还提出了双密度双树复小波变换的局域自适应图像去噪算法,该算法在滤除噪声的同时可保留更多的图像细节,极大地改善了去噪图像的视觉质量。Donho^[8]提出的小波软阈值去噪方法以及对小波阈值的改进算法^[9],对于高斯分布的加性噪声具有很好的去除效果,但用于对数压缩的图像效果不甚理想,主要原因在于将对数压缩图像的斑点噪声过于简单地假定为高斯白噪声分布。

因此,本文首先采用基于 Alpha 稳定分布模型的彩色图像去噪方法进行预处理,来消除噪声;再使用改进的各向同性边缘检测器对图像进行边缘检测,并结合颜色距离进一步确定边界,实验证明该算法能得到较好的结果。

1 基于 Alpha 稳定分布模型的去噪算法

经典的彩色图像滤波方法包括:均值滤波、中值滤波、维纳滤波,以及利用现在人们研究的热点——小波实现去噪的软、硬阈值法。均值滤波、维纳滤波等方法能够降低空间分辨率,却无法达到良好的降噪效果。虽然小波阈值去噪方法要比其他几种方法优越,但要得到能够更好地满足图像处理特殊要求的阈值还是有一定困难的。由于上述缺点,本文提出一种新的基于 Alpha 稳定分布模型的彩色图像去噪方法进行预处理,来消除噪声。

1.1 Alpha 稳定分布定义

我们假设噪声是零均值独立同分布的 SaS 型随机过程^[6],其分布的特征函数为:

$$\phi(t) = e^{-(\delta|t|^\alpha + \gamma t)} \quad (1)$$

其中,参数 $\alpha \in (0, 2]$ 称为特征指数,它决定该分布脉冲特性的程度。 α 值越小,所对应分布的拖尾越厚,因此脉冲特性越显著。相反,随着 α 值变大,所对应分布的拖尾变薄,且脉冲特性减弱。当 $\alpha=2$ 时,为高斯分布。当 $0 < \alpha \leq 1$ 时, δ 为 SaS 概率密度的中值;当 $1 < \alpha < 2$ 时, δ 为 SaS 概率密度的均值;当 $\delta=0, \gamma=1$ 时, SaS 型随机过程服从标准 SaS 分布。

1.2 分数低阶统计量

对于 $X \sim S_\alpha(\gamma, \beta, a)$, 且 $0 < \alpha < 2$ 。则对于任意 $0 < p < \alpha$, 有 $E|X|^p < \infty$, 对于任意 $p \geq \alpha$, 有 $E|X|^p = \infty$, 即 $\alpha < 2$ 的 α 稳定随机变量没有有限的二阶矩, 这表明许多在高斯情况下有效的技术不能应用于这种场合。

一般而言,随机变量 X 的二阶矩通常定义为 $E[X^2]$ 。对于 α 稳定分布随机变量,定义分数低阶矩(FLOM)为 $E[|X|^p]$, 其中 $0 < p < \alpha \leq 2$ 。

设 X 为一 SaS 分布的随机变量,其位置参数 $\alpha=0$, 分散系数为 γ , 则

$$E[|X|^p] = \begin{cases} C(p, \alpha) \gamma^{p/\alpha}, & \text{if } 0 < p < \alpha \\ \infty, & \text{if } p \geq \alpha \end{cases} \quad (2)$$

式中

$$C(p, \alpha) = \frac{2^{p+1} \Gamma(\frac{p+1}{2}) \Gamma(-p/\alpha)}{\alpha \sqrt{\pi} \Gamma(-p/2)} \quad (3)$$

其中 $\Gamma(\cdot)$ 为伽马函数, $C(p, \alpha)$ 仅为 α 和 p 的函数, 与随机变量 X 无关。

1.3 基于 Alpha 稳定分布模型的图像去噪算法流程

首先本文对图像取对数变换,使其乘性的斑点噪声变为加性的。由于小波系数能够反应图像信息。因此本文对变换后的对数图像进行小波分解,然后进行参数估计。这里的参数估计算法采用 MUSIC 估计,之后再通过反变换,最终得到去噪处理后的图像^[10]。简单的流程图见图 1。

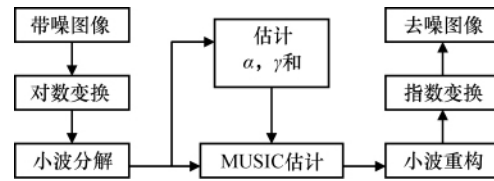


图 1 图像去噪算法流程

Fig. 1 Flow chart of image denoising algorithm

2 快速熵阈值的彩色图像边缘自动检测

在对彩色图像处理中,除了 RGB 空间外,通过线性或非线性的变换可得到一些其他彩色空间。这些彩色空间中基于视觉的 HSL、HSV 等空间被人们广泛地采用,不过这些空间的奇异性是一个不能被忽视的问题。为了避免图像处理过程中出现的奇异点,本文在 CIE LUV 颜色空间进行边缘检测。

2.1 边缘自动检测

文献[6]使用改进的各向同性边缘检测器进行边缘增强,通过快速熵阈值技术得到最优阈值来确定边界,最后结合该像素点与其八邻域像素点的颜色均值之间的距离,进一步定位边界。

定义邻接区域边界增强的 4 种模式水平 HOE、垂直 VOE、东北对角线 NOE、西北对角线 SOE, 这些边界增强作为 $N(x, y)$ 中像素的权值, 即:

$$HOE(x, y) = |I(x-1, y-1) + 2I(x, y-1) + I(x+1, y-1) - I(x-1, y+1) - 2I(x, y+1) - I(x+1, y+1)| \quad (4)$$

$$VOE(x, y) = |I(x-1, y-1) + 2I(x-1, y) + I(x-1, y+1) - I(x+1, y-1) - 2I(x+1, y) - I(x+1, y+1)| \quad (5)$$

$$NOE(x, y) = |2I(x-1, y-1) + I(x, y-1) + I(x-1, y) - I(x+1, y) - I(x, y+1) - 2I(x+1, y+1)| \quad (6)$$

$$SOE(x, y) = |I(x, y-1) + 2I(x+1, y-1) + I(x+1, y) - 2I(x-1, y) - I(x, y+1) - I(x-1, y)| \quad (7)$$

其中 $I(x-1, y-1)$ 表示在 $(x-1, y-1)$ 该点处的灰度值, 像素 (x, y) 的局部边界增强的最大值 $MOE(x, y)$ 用 4 个边界中的最大值定义。即:

$$MOE(x, y) = \max\{HOE(x, y), VOE(x, y), NOE(x, y), SOE(x, y)\} \quad (8)$$

把各向同性边缘检测器用于彩色图像, 先分别计算彩色空间中 3 个分量的 $M(x, y)$ 值, 定义一个最优的阈值, 若 $M(x, y)$ 大于阈值则该点置为 1, 否则置为 0。

$$Ye(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{边界像素 if } MOE(x, y) \geq Ty \\ 0 & \text{非边界像素 if } MOE(x, y) < Ty \end{cases} \quad (9)$$

$$Ue(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{边界像素 if } MOE(x, y) \geq Uy \\ 0 & \text{非边界像素 if } MOE(x, y) < Uy \end{cases} \quad (10)$$

$$Ve(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{边界像素 if } MOE(x, y) \geq Vy \\ 0 & \text{非边界像素 if } MOE(x, y) < Vy \end{cases} \quad (11)$$

综合 3 个分量的边界结果, 确定像素是否为边界像素:

$$E(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{边界像素 if } (Ye(x, y)=1 \cup Ue(x, y)=1 \cup Ve(x, y)=1) \\ 0 & \text{非边界像素} \end{cases} \quad (12)$$

2.2 快速熵阈值

对一个输入图像, 假设边界强度像素局部最大值的范围是 $[0, M]$, 设最优阈值为 \bar{T} , 本文先给定一个阈值 T , 则强度为 $i \in [0, M]$ 的像素数目为 f_i , 则 f_i 为边界的概率和非边界的概率分别为 $P_n(i) = f_i / \sum_{h=0}^T f_h$ 和 $P_e(i) = f_i / \sum_{h=T+1}^M f_h$, 其中 $\sum_{h=0}^T f_h$ 表示具有局部最大边界强度在 $[0, T]$ 范围内的像素总数, $\sum_{h=T+1}^M f_h$ 表示具有局部最大边界强度在 $[T+1, M]$ 范围内的像素总数, 两类像素的熵 $H_n(T) = -\sum_{i=0}^T P_n(i) \log_2 P_n(i)$ 和 $H_e(T) = -\sum_{i=T+1}^M P_e(i) \log_2 P_e(i)$, 则最优阈值 \bar{T} 满足: $H(\bar{T}) = \max_{T=0 \dots M} \{H_n(T) + H_e(T)\}$ 。

为了得到最优阈值, 需要计算每个像素的两个熵, 计算复杂度 $O(M^2)$ 。为了减少搜索的复杂度, 本文使用一种快速的算法递归的计算 $P_n(i)$ 和 $P_e(i)$ 的概率和熵 $H_n(T)$ 和 $H_e(T)$, 若设阈值为 T , 则得到 $P_n(i)$ 和 $P_e(i)$ 的表达式分别为 $P_0(T) = \sum_{h=0}^T f_h$ 和 $P_1(T) = \sum_{h=T+1}^M f_h$ 。相应的, 当阈值为 $T+1$ 时, 像素数目分别为

$$P_0(T+1) = \sum_{h=0}^T f_h + f_{T+1} \text{ 和 } P_1(T+1) = \sum_{h=T+1}^M f_h - f_{T+1}。$$

因此熵也可以简化为:

$$H_n(T+1) = \frac{P_0(T)}{P_0(T+1)} H_n(T) - \frac{f_{T+1}}{P_0(T+1)} \log \frac{f_{T+1}}{P_0(T+1)} - \frac{P_0(T)}{P_0(T+1)} \log \frac{P_0(T)}{P_0(T+1)} \quad (13)$$

$$H_e(T+1) = \frac{P_1(T)}{P_1(T+1)} H_e(T) + \frac{f_{T+1}}{P_1(T+1)} \log \frac{f_{T+1}}{P_1(T+1)} - \frac{P_1(T)}{P_1(T+1)} \log \frac{P_1(T)}{P_1(T+1)} \quad (14)$$

2.3 颜色距离

经过上述算法处理后得到的边界通常是不连续或者是过检测的, 再根据像素点与其八邻域像素的颜色均值之间的距离进一步定位边界, 颜色均值和颜色距离的定义式如下:

$$\hat{x}_{avg} = \frac{1}{8} \sum_{i=0}^7 \hat{x}_i \quad (15)$$

$$S_i = \|\hat{x} - \hat{x}_{avg}\| \quad (16)$$

式中: \hat{x} 表示像素 x 的颜色值, \hat{x}_{avg} 是像素 \hat{x} 的八邻域像素的颜色均值, S_d 表示 \hat{x} 与 \hat{x}_{avg} 之间的欧式距离。

2.4 本文算法流程

现将本文算法进行边缘检测的步骤总结: (1) 首先对含有脉冲噪声的彩色图像进行去噪处理; (2) 采用各向同性边缘检测器进行图像边缘增强, 为下一步确定边界做准备; (3) 接下来在 LUV 彩色空间内进行边界检测。首先对每一个分量 L 、 U 和 V 上分别判定该像素点是否为边界点, 只有在 3 个分量上都为边界点才定义该像素点为边界点; (4) 彩色图像经过上一步检测后的边界通常是不连续的, 因此再根据像素点与邻域的颜色距离进一步确定边界。

3 实验

通过实验, 验证了本文算法的有效性。图 2 显示了 3 幅图像分别采用 Sobel 算子、Prewitt 算子和本文算法得到的边界提取的结果, 从图中可以看出 Sobel 算子和 Prewitt 算子都是基于灰度图像进行处理的, 把该算法用于彩色图像必然会导致颜色信息的丢失, 得到的结果不符合人的视觉感受, 不能得到准确闭合的边界, 而本文提出的算法在基于视觉的 LUV 彩色空间, 在 L 、 U 、 V 三分量的基础上使用快速熵阈值技术自动的确定彩色边界并结合像素的颜色距离能够得到较好的边界, 符合人的感知效应。

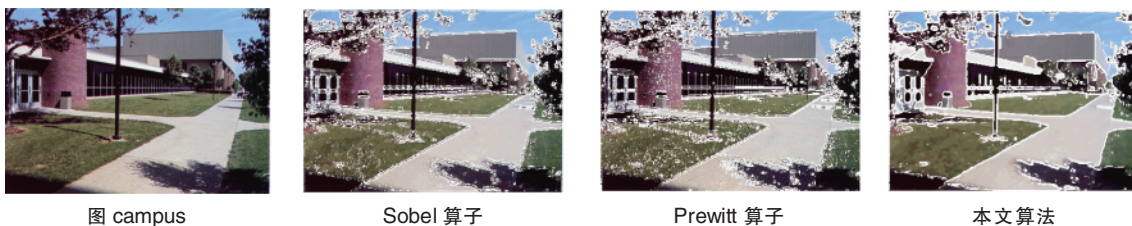


图 2 三幅图像边缘检测结果
Fig. 2 Detection results of three images

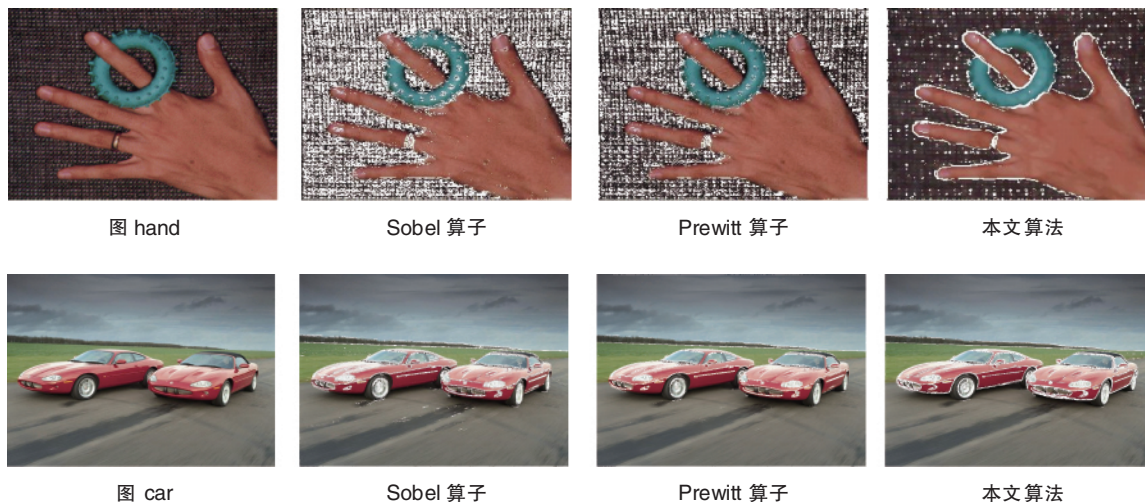


图 2 三幅图像边缘检测结果 (续)
Fig. 2 Detection results of three images

4 结论

本文提出了一种混有脉冲噪声的彩色图像的边缘检测的新方法。首先,针对图像中存在的脉冲噪声采用 Alpha 稳定分布模型进行去噪处理,其后,在 LUV 彩色空间内进行边缘的自动检测。实验证明,本文的算法对无显著纹理的图像也能得到良好的边界,边缘检测结果和人的视觉具有良好的一致性,为以后的图像分割、目标区域的识别、区域形状提取等图像分析领域做了很好的准备工作。在未来的工作中,可以将图像的纹理特征融入算法中,使边界检测性能将进一步的提高。

参考文献 (References)

[1] 吕明忠, 罗鹏, 高敦岳. 一种基于色差的彩色图像的边缘检测方法[J]. 华东理工大学学报, 2001, 27(10): 561-563.
Lu Mingzhong, Luo Peng, Gao Dunyue. *Journal of East China University of Science and Technology*, 2001, 27(10): 561-563.

[2] William F F, Fortin M J, Soykan C. Integrating edge detection and dynamic modeling in quantitative analyses of ecological boundaries[J]. *Biological Sciences*, 2003, 53(8): 730-738.

[3] Cheikh F A, Hamila R, Gabbouj M *et al.* Impulse noise removal in highly corrupted color images [C]. ICIP, IEEE. Los Alamitos, CA, United States, 1996.

[4] Smolka B. Peer group filtering of noisy color images [C]. The 9th International Conference on Signal Processing, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. United States, 2008.

[5] Deng Y N, Charles K, Michael S, *et al.* Peer group filtering and perceptual color image quantization [C]. The 1999 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, IEEE. United States, 1999.

[6] Fan J P, David K Y Y, Ahmed K, *et al.* Automatic image segmentation by integrating color-edge extraction and seeded region growing [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2001, 10(10): 1454-1466.

[7] 龚卫国, 刘晓营, 李伟红, 等. 双密度双树复小波变换的局域自适应图像去噪[J]. 光学精密工程, 2009, 17(5): 1171-1180.
Gong Weiguo, Liu Xiaoying, Li Weihong, *et al.* *Optics and Precision Engineering*, 2009, 17(5): 1171-1180.

[8] Donoho D L. Denoising by soft-thresholding [J]. *IEEE Transaction on Information Theory*, 1995, 41(3): 613-627.

[9] 邱天爽, 张秀旭, 李小兵, 等. 统计信号处理: 非高斯信号处理及其应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
Qiu Tianshuang, Zhang Xiuxu, Li Xiaobing, *et al.* *Statistical signal processing: The gaussian signal processing and application* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2004.

[10] 郭皓. 基于 Alpha 稳定分布的超声图像去噪方法研究[D]. 成都: 四川大学, 2006.
Guo Hao. Research on medical ultrasound images de-noising method based on Alpha stable distribution [D]. Chengdu: Sichuan University, 2006.

(责任编辑 岳臣, 张军)



《科技导报》“卷首语”栏目征稿

“卷首语”栏目每期邀请一位中国科学院院士和中国工程院院士就重大科技现象、事件,以及学科发展趋势、科学研究热点和前沿问题等,撰文发表个人的见解、意见和评论。本栏目欢迎院士投稿,每篇文章约 2000 字,同时请提供作者学术简历、工作照和签名电子文档。投稿信箱: kjdbjb@cast.org.cn。