

# 一种图像边缘保持的改进方向平滑算法<sup>\*</sup>)

刘兴洪<sup>1</sup> 汪林林<sup>2</sup>

(重庆邮电学院计算机科学与技术学院<sup>1</sup>, 软件学院<sup>2</sup> 重庆 400065)

**摘要** 本文利用图像的相关性原理, 结合图像的边缘信息, 提出了一种新的图像边缘保持的方向平滑算法。该算法主要通过控制平滑区域大小和均方差阈值来选择受噪声干扰最小和最大相关区域。仿真证明该方法能够较好地去除椒盐噪声和高斯噪声, 并且能够很好地保持图像的边缘和细节信息, 作为图像的一种预处理方法, 具有较高的实用价值。

**关键词** 边缘保持, 方向平滑, 最大相关邻域, 均方差阈值

## An Improved Image's Edge Preserving Orientation Smoothing Algorithm

LIU Xing-Hong<sup>1</sup> WANG Lin-Lin<sup>2</sup>

(College of Computer Sci. & Tech. <sup>1</sup>, Software College<sup>2</sup>, Chongqing University of Posts & Tele., Chongqing 400065)

**Abstract** In this paper, a new image's edge preserving orientation smoothing algorithm is proposed according to image's correlation theorem and edge characteristic information. The algorithm mainly controls the size of the smoothing area and the mean variance threshold to select the maximum correlation area containing minimum noise interference. The simulations in this paper prove that it can perfectly restrain salt & pepper noise and gaussian noise by using the algorithm, meanwhile, the image's edges and details are well preserved. As an image pre-processing method, it is of good practical value.

**Keywords** Edge preserving, Orientation smoothing, Maximum correlation area, Mean variance threshold

## 1 引言

图像的平滑是一种重要的数字图像预处理技术, 其主要目的是为了减少噪声对后期图像处理的影响。一个好的平滑算法应该既能消除图像噪声, 又能较好地保持图像边缘。目前已有许多方法运用于图像平滑, 包括线性平滑算法和非线性平滑算法。许多图像平滑处理方法, 在带来效果的同时, 也会产生一些副作用, 造成边缘的模糊和细节的湮没。本文提出的算法试图折中这对矛盾, 结合 Kuwahara 算法的部分思

想, 并提出新的方案来解决传统的方向平滑算法的一些缺陷。

## 2 传统方向平滑算法

传统的方向平滑算法由于其好的边缘保持和噪声去除能力被广泛运用。其基本原理是计算出待处理像素点周围各方向上的像素灰度均值, 然后选取最小的均值作为待处理像素点的输出灰度值。一般取包括待处理像素点的 4 个窗口方向, 窗口的大小可以任意指定。其  $3 \times 3$  卷积滤波模板表示如下。

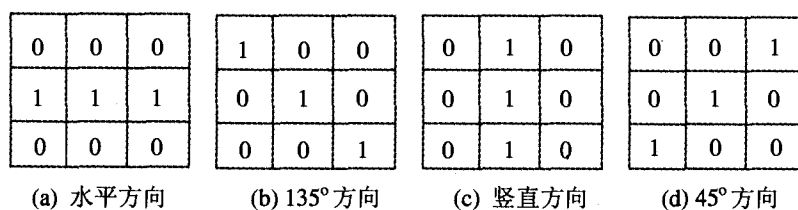


图 1 传统方向平滑算法  $3 \times 3$  卷积模板

在这种算法中, 认为受噪声影响最小的方向其均值最小, 选择该方向的灰度均值作为待处理像素点的灰度值具有降低噪声干扰的最大可能性。但是基于这种假设, 并不能适应复杂的噪声特性, 例如, 当强度较高的椒盐噪声叠加在原始图像中, 该算法将很可能出现误判, 即将噪声点的平均灰度值, 作为待处理点的灰度值。

## 3 改进的方向平滑算法

在 Kuwahara 算法中, 提出用方差最小来作为选取哪个

邻域均值为待处理像素点输出灰度值的判据。该方法认为, 根据图像的相关性, 在一个邻域内, 无干扰图像的灰度值变化不会很大, 所以其方差也应该较小, 选择方差最小的邻域也就意味着将待处理点合并到了该最大相关区域。Kuwahara 算法虽能较好地保持图像细节, 但对椒盐噪声的处理效果则不够理想。本文使用该判据并结合方向平滑滤波算法提出了改进的方向平滑算法, 该算法兼具两种算法的特性, 既可以很好地保持图像的边缘特性, 又可以很好地去除椒盐噪声和高斯噪声。

<sup>\*</sup> 基金项目: 重庆市自然科学基金资助 (No. 2005BB2065)。刘兴洪 研究生。汪林林 教授, 研究方向为数据库, 空间数据库与 GIS、计算机网络、系统体系结构、软件与理论等。

### 3.1 平滑区域选择

要保持图像的边缘细节,就必须不将边缘两侧的区域纳入同一个平滑区域,否则就会造成边缘的模糊。在微观的像素级区域,任何的边缘曲线都可以用分段折线来近似,如果我们的平滑区域刚好能够和一些分段折线相吻合,那么就可以

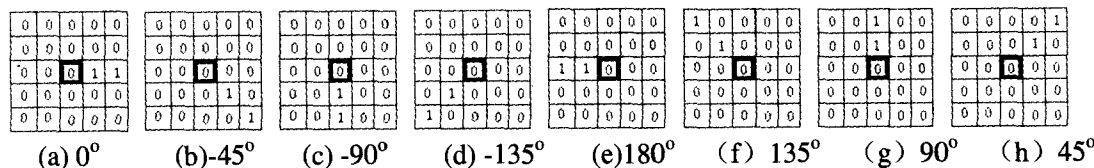


图2 长度为2的方向平滑区域

这8个方向最大程度地拟合了一个像素点可能处于的边界情况,所以无论该点是否处于边界上面,都可以将其归并在最相关的邻域内,并且能很好地保持边缘特性。另外由于后面最小均方差判据的使用也避免了平滑区域跨过图像的边缘。

### 3.2 受噪声污染最小邻域判据

受噪声污染最小邻域的判据,我们采用最小方差法,也即Kuwahara采用的方法。对于椒盐噪声叠加在图像中的情况,椒盐颗粒将使得该邻域的均方差变大,通过对这8个方向上的均方差的比较来筛选受噪声干扰最小的区域,即认为最小方差的区域是受噪声干扰最小的区域。在本文提出的算法中处理的区域并不包括待处理像素点,这样做的好处是避免这一点本身就受到了噪声污染,而影响对受噪声污染最小邻域的判断结果。

对于高斯白噪声,众所周知,其均值为0,均方差为一个常数 $\sigma$ 。在图像的所有邻域里面噪声的统计分布都满足此特性,在比较各方向上的均方差的时候,图像的均方差和高斯噪声的均方差是叠加在一起的,所以从理论上讲,可以忽略高斯噪声的均方差,但是由于邻域取得比较小,可能不完全符合此统计规律,因此使得各方向上由高斯噪声表现出来的均方差有一定的起伏,而这个起伏必须考虑在算法里面,这就是后面所要提到的为均方差的比较设立一个阈值 $\epsilon$ ,即认为在 $\epsilon$ 范围内其均方差是相同的,实际上 $\epsilon$ 代表了高斯白噪声在小邻域内均方差的起伏特性。设噪声最小区域为 $\theta$ ,平滑区域为 $\rho_1 \sim \rho_8$ ,该判据可表示如下:

$$\theta = \{ \rho_i | \sigma(\rho_i) \in \{ \min_{i \in [1,8]} [\sigma(\rho_i)] \pm \epsilon \} \} \quad (1)$$

值得提出的是,利用均方差最小的判据并不足以用来选择出受高斯噪声污染最小的区域,因为图像的各个区域受到了同等程度的噪声污染,所以均方差判据对选择高斯噪声污染最小邻域并不适用。但是,我们仍可以通过该判据寻找对待处理像素点周围的最大平滑方向。

### 3.3 最大相关邻域判据

根据图像的相关性,一个没有受到噪声污染的像素点一定会与其周围某个邻域内的统计特性相关,表现在图像上就是其灰度级一定会与其周围某个邻域的灰度级接近,除非该奇异点出乎意料的表示了有用信息而非噪声的小概率事件的发生。所以在选择了受噪声干扰最小区域或最大平滑区域后,接下来就是在这些区域中寻找该像素点的最大相关邻域。本文的判据是:平滑区域内灰度均值与待处理像素点灰度值差距最小的区域是最大相关邻域。由于高斯白噪声和椒盐噪声的不同特性,对于前者选择差距最小的邻域,而对于后者选

最大限度地减少平滑滤波所带来的边缘模糊效应。本文使用了不包括待处理像素点的8个方向的任意可指定长度的邻域来作为平滑区域,我们利用卷积模板来标记这8个方向,如图2所示。

择差距次小的邻域。这是为了减少待处理像素点及其某方向邻域已经被成片的椒盐噪声污染后,被算法误判为图像有用信息的情况,因为连成一片的椒盐噪声刚好具有方差最小和均值与待处理像素点(也被同样的胡椒噪声或盐噪声污染)灰度值差距最小的特性。当然这种判断存在风险,即刚好存在同样情况的有用信息。即使在没有这种噪声污染的情况下,选择的次最相关邻域,也并不会很大地影响输出图像的最佳质量,后面的仿真结果将证明这种做法。

假设图像坐标为 $(x, y)$ 的灰度值是 $f(x, y)$ ,选择的平滑区域长度为 $N$ ,平滑区域为 $\rho_1 \sim \rho_8$ ,噪声最小区域为 $\theta$ ,最大相关区域为 $\psi$ ,均方差控制阈值为 $\epsilon$ ,输出的灰度值为 $g(x, y)$ ,则该算法可表述如下:

$$g(x, y) = \begin{cases} E(\rho_{j_0}), j_0 = \Psi, \Psi \text{ 为满足 } \min_{j \in \theta} [E(\rho_j) - f(x, y)] \\ \text{的区域, } \rightarrow \text{高斯噪声} \\ E(\rho_{j_0}), j_0 = \Psi, \Psi \text{ 为满足 } 2nd \min_{j \in \theta} [E(\rho_j) - f(x, y)] \\ \text{的区域, } \rightarrow \text{椒盐噪声} \end{cases} \quad (2)$$

其中 $\theta$ 为式(1)定义的受噪声干扰最小区域, $E[\cdot]$ 表示对平滑区域内各像素点灰度值求均值, $\sigma[\cdot]$ 表示其均方差, $2nd \min$ 表示次最小。

## 4 算法仿真结果

采用 Matlab 实现本文的算法,分别对边缘保持、椒盐噪声和高斯白噪声的去除效果进行了验证,仿真得到的结果如下。

### 4.1 对边缘保持的验证

由于采用线状方向平滑,该算法具有很好的边缘保持特性。采用一张边缘测试图作为算法的输入,得到的结果如图3所示。

从仿真结果可以看出,水平和垂直边缘保持很好,并且字母的曲线边缘也保持得相当好。对椒盐噪声的去除效果也比较理想,运行1次即可将第1、2级噪声基本去除,迭代2次后,可以全部去除椒盐噪声,并且没有造成边缘模糊。从此可以看出,该算法可以多次迭代去除强椒盐噪声,且对边缘保持效果与运行一次相当。

### 4.2 对强椒盐噪声去除效果的验证

对 lena 图像添加较强的概率为0.2的椒盐噪声后,用 $N=1$ 的区域长度可以将原图像中孤立的椒盐噪声点基本去除,且能够很好地保持边缘特性,剩下的连成片的椒盐噪声,可以增大 $N$ 的取值,扩大平滑区域以得到更好地噪声去除效果。从图4(c)的最终结果可以看出,椒盐噪声基本去除,图

像边缘稍有模糊,但仍然清晰可见。

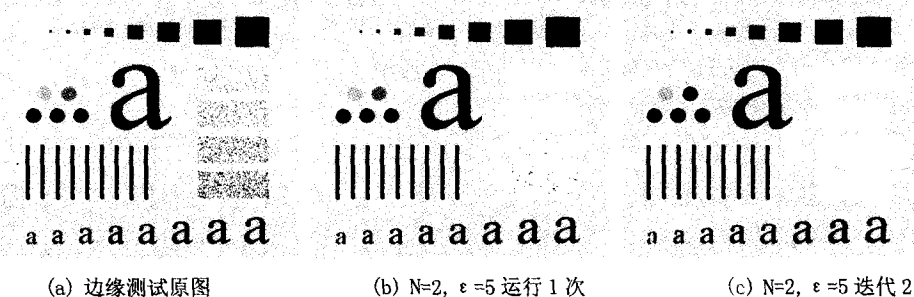


图3 边缘保持验证仿真结果

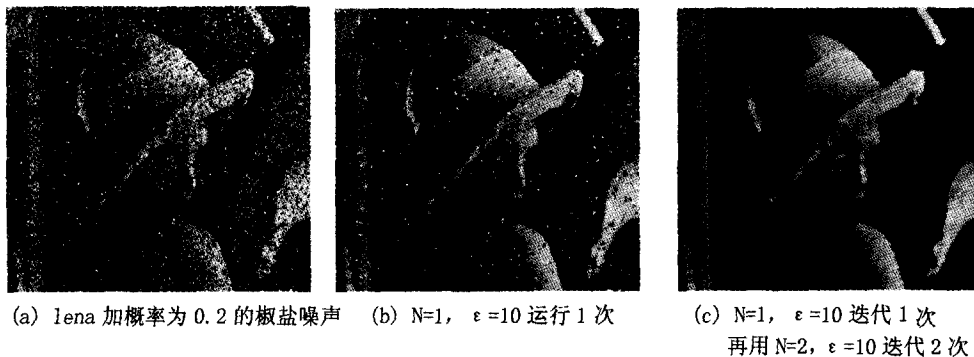


图4 椒盐噪声去除效果仿真结果

### 4.3 对高斯噪声去除效果的验证

本文提出的算法对高斯白噪声也有较好的平滑能力,由于在高斯噪声影响下,小邻域内的高斯噪声造成的方差离散性将会增大,这时需要适当增大 $\epsilon$ 的值。根据仿真发现,随着 $N$ 的增大,其各个邻域内的方差离散性显著增大,所以 $\epsilon$ 将提得很高以适应高斯白噪声特性。当然,将 $\epsilon$ 提到很高的时候,方差判据已经退化,变成只寻找最大相关邻域了。从图5(b)可以看出,高斯噪声区域被平滑的同时,仍然保持了较锐利的边缘。

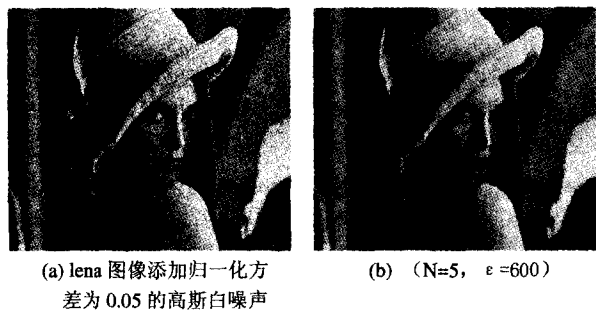


图5 高斯白噪声去除效果仿真结果

**结论** 从本文的分析和仿真结果都可以看出,该改进的方向平滑算法,能够在很好地保持边缘特性的同时,对椒盐噪声和高斯白噪声都有较好的去除能力,通过适当控制 $N$ 和 $\epsilon$

的取值可以得到比较好的效果。对离散性较大的椒盐噪声, $N$ 应该取1或2,对连续成片的椒盐噪声, $N$ 应该取得稍大,对于高斯白噪声,则认为 $N$ 和 $\epsilon$ 应该取得比较大才能满足平滑的要求。另外,该算法平滑区域对边缘有自适应的保持能力,所以可以多次迭代以达到更好的去噪效果而又不会大量损失边缘细节。

### 参考文献

- Shapiro L G, Stockman G C. 计算机视觉[M]. 北京:机械工业出版社,2005
- Gonzalez R C, Woods R E. 数字图像处理[M]. 北京:电子工业出版社,2003
- 贾永红. 计算机图像处理与分析[M]. 武汉:武汉大学出版社,2001
- Sun T, Neuvo Y. Detail\_Preserving median based filter in image processing [J]. Pattern Recognit. Lett., 1994, 15(4): 341~347
- Bakker P, van Vliet L J, Verbeek P W. Edge preserving orientation adaptive filtering [C]. Computer Vision and Pattern Recognition, 1999. In: IEEE Computer Society Conf. On. Volume 1, June 1999. 535~540
- Haglund L, Knutsson H, Granlund G H. Scale and orientation adaptive filtering [C]. In: Proc. of the 8th Scandinavian Conf. on Image Analysis, Vol. 2, Tromso, Norway, May 1993. 847~855