

一种新的保边缘滤波算法¹

赵乘麟

(邵阳学院物理与电子信息科学系 湖南邵阳 422000)

摘 要 该文提出了一种新的保边缘滤波算法,该算法根据图像区域的局部方差大小动态调整滤波器的支撑集的大小,方差越大的区域,说明其高频分量越多,支撑集就越小,为了能在滤波的同时尽量保护图像边缘,该算法还根据像素点和中心点的方向矢量同支撑集内的平均梯度的夹角把支撑集内的像素点分成不同的集合,并给予沿着图像边缘的集合以较大的加权值以及垂直边缘方向的集合小的加权值,从而保证了边缘不模糊,从滤波结果看,经该算法处理过的图像的峰值信噪比 (PSNR) 明显高于中值滤波器处理过的图像,

对细节比较丰富的图像,高于近 3dB.

关键词 中值滤波, 加权值, 内积, 支撑集

中图分类号 TN713

1 引言

在图像采集过程中不可避免地会有采集噪声,因此在进入编码器以前通常都要加一级滤波器,这一级滤波器可以分为时域滤波器(适应于图像序列),空域滤波器,时空滤波器 3 种.常用的空域滤波器(本文只讨论空域滤波器,但算法适合图像序列)又可以分为 3 类,第 1 类线性时不变滤波器,如加权平均滤波器、最小均方误差滤波器,这一类可以用频域的概念来分析,它们通常都是低通滤波器,在抑制高频噪声的同时也把高频信息滤掉了,因此不可避免地模糊了图像的边缘.第 2 类是非线性滤波器,如中值滤波器(包括各种变种)和一些统计滤波器^[1],由于这一类滤波器比低通滤波器能较好地保持图像边缘,因此被广泛采用.第 3 类是自适用滤波器,如方向平滑滤波器,这种滤波器就结合了图像边缘方向^[2]来滤波(本文的算法的第一个出发点与之类似,但本文的梯度方向是连续的,而不是文献 [2] 中的离散的 4 个方向),效果也比较好,本文算法属于第 3 类.

在实际应用中我们常遇到的图像噪声之间由于不相关(本算法只适合这种假设),所以呈现各向同性,而信号则常常呈现明显的各向异性.在进行滤波时,如果设计的滤波器能够保证沿着图像边缘的方向的加权值大,而沿着垂直边缘方向的加权值小,就能较好地保证边缘的不模糊;而垂直边沿的方向就是考察的图像区域的梯度方向,所以确定支撑集内某点的加权值大小的一个因素是该点的坐标增量方向和该像素点附近的图像梯度方向的内积的绝对值;另一个在设计滤波器时应该考虑的因素是支撑集的大小和局部方差的关系,方差越大,说明高频分量越多,支撑集就应该越小,这样就能保证在高频区域滤波器的截止频率自动的提高.这就是本文提出的滤波算法的两个基本出发点.

本文第 2 节先介绍图像梯度的计算公式,第 3 节详细说明本文的算法,第 4 节给出了实验结果和讨论.

2 图像梯度的计算

本文的一个核心问题是要准确地计算出图像支撑集内的梯度.支撑集不固定大小,这是本文算法的一个特点.在平滑区域,支撑集大,并且没有方向选择性;在方差比较大的区域,支撑集小并且会有明显的方向选择性.以下详细介绍两种求梯度的方法^[3].

2.1 全平面拟合法 全平面拟合法就是在给定的区域比如 $(2M+1) \times (2N+1)$ 内的所有点的亮度值都用来计算中心位置的梯度,确定平面拟合误差 $e = L(i, j) - f(i, j)$, 其中 $L(i, j)$ 指

¹ 2002-04-12 收到, 2003-01-13 改回

的是 (i, j) 位置处的亮度, $f(i, j)$ 表示用平面拟合后在 (i, j) 处的亮度值. 这种方法实际上是用一阶泰勒展开来近似表示二维亮度函数.

$$e = L(i, j) - a - (i - m)h_x d - (j - n)h_y d = L - a - C^T \mathbf{b}$$

式中 $L = L(i, j)$, $C^T = [(i - m)d \quad (j - n)d]$, $\mathbf{b} = [h_x \quad h_y]^T$, 其中 d 是像素间间隔, 通常取 1. \mathbf{b} 是斜率, 亦即梯度的两个分量. 令 J 等于误差平方的期望值, 即 $J = E[e^2] = E[(L - a - C^T \mathbf{b})^2]$, 设 $\frac{\partial J}{\partial a} = -2E[L - a - C^T \mathbf{b}] = 0$, 可得 $\hat{a} = E(L) - E(C^T) \mathbf{b} = E(L)$, 就是亮度均值.

设 $\frac{\partial J}{\partial \mathbf{b}} = E[C(L - a - C^T \mathbf{b})] = 0$ 可得 $\hat{\mathbf{b}} \begin{bmatrix} h_x \\ h_y \end{bmatrix} = S^{-1} E(LC)$, 式中 $S = E[CC^T] = d^2 \begin{bmatrix} E(i - m)^2 & 0 \\ 0 & E(j - n)^2 \end{bmatrix}$

2.2 两组拟合法 把平面上的点分成两组, 每组包含大约一半的数据点. 假定每个点均载有单位重量, 这样便可定出每一组点群的质心位置. 连接两个点群质心的线就是所需要的与数据集相拟合的直线. 把这个概念扩大到使一个平面与三维空间的散布数据点相配合, 就产生出能求得 (m, n) 位置上亮度的两个斜率的两组拟合技术. 利用的支撑集大小仍然假定是 $(2M + 1) \times (2N + 1)$, 将这个图像块分成左右两个半块来计算斜率 h_x , 分成上下两个半块来计算斜率 h_y , 容易得到这组计算方程是

$$h_x = \frac{1}{M(M+1)(2N+1)d} \left[\sum_{i=m+1}^{m+M} \sum_{j=n-N}^{n+N} h(i, j) - \sum_{i=m-1}^{m-M} \sum_{j=n-N}^{n+N} h(i, j) \right]$$

$$h_y = \frac{1}{N(N+1)(2M+1)d} \left[\sum_{i=m-M}^{m+M} \sum_{j=n+1}^{n+N} h(i, j) - \sum_{i=m-M}^{m+M} \sum_{j=n-1}^{n-N} h(i, j) \right]$$

3 算法步骤

在叙述算法步骤之前先解释其中的几个地方, 在下述步骤 2 中之所以考虑梯度的幅度门限是因为第 3 步中要对梯度进行归一化, 梯度小于某个门限相当于无方向选择性. 因此无须考虑, 直接中值滤波是比较理想的. 梯度和方向矢量 (二者都是归一化的矢量) 的内积 $s = \nabla \cdot \mathbf{r}$ 反映二者的夹角的大小 (如图 1), 可以构造一个以 s 为自变量的函数, 它随着梯度和方向矢量的内积的值增大而减小直至为 0, 如图 2.

$$\text{图 2 中 } f(s) = \begin{cases} 1 - s, & 0 \leq s \leq 1 \\ 0, & \text{其它} \end{cases}$$

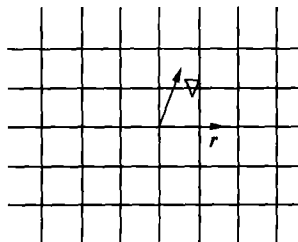


图 1

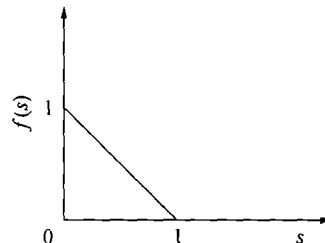


图 2

步骤 1 使用中心点附近 5×5 区域内的点的亮度值计算出 σ_x, σ_y , 并使用公式 $[2(8 - \lceil \log_2 \sigma \rceil) - 1]$ 确定支撑集大小, 其中 $\lceil \cdot \rceil$ 表示上取整, σ 表示 σ_x 和 σ_y 。

步骤 2 在支撑集内求出梯度, 如果梯度幅度小于门限, 则执行步骤 4, 否则执行步骤 3。

步骤 3 对支撑集内的各个方向计算出对应的 s 值, 得到 s_1, s_2, \dots, s_k , 计算出每个方向的加权值 $w_i = f(s_i) / \sum_{j=1}^k f(s_j)$ 。某个方向上的所有点求出其中值, 然后各个方向上的中值的加权值就是最后的滤波值。

步骤 4 无方向选择性中值滤波, 即支撑集内所有点进行中值滤波。

4 实验结果

我们对本文算法做了实验验证, 主要比较了我们的算法与支撑集大小为 5×5 的中值滤波器在加同样大小的椒盐噪声和高斯噪声的情况下二者的滤波效果 (梯度幅度门限为 16)。实验结果如下:

表 1 加密度为 0.05 的椒盐噪声的滤波结果 (dB)

PSNR	Barbara	Flower	Lena
本文算法	25.44	29.37	31.99
中值滤波 (5×5)	23.14	26.55	30.95

表 2 加归一化方差为 0.005 的高斯噪声的滤波结果 (dB)

PSNR	Barbara	Flower	Lena
本文算法	24.88	27.94	30.22
中值滤波 (5×5)	22.92	25.89	29.09

图 3 至图 10 分别显示了经中值滤波器和本文算法处理前后的图像。从滤波结果看, 经本文算法处理过的图像的 PSNR 值明显高于经中值滤波器处理过的图像, 对细节比较丰富的图像, 两种方法处理过的图像的 PSNR 之差高于近 3dB。而且从图像上看, 边缘保持较好, 在比较复杂的图像区域优越性更明显。尤其这几幅图像的高频细节都是比较多的, 能充分说明本算法的保边缘性; 但在处理受椒盐噪声污染的图像的时候会有少数椒盐噪声点不能完全滤除 (见图 10)。尽管此时的 PSNR 值仍然显著好于中值滤波器。



图 3 原始 Lena 图像 (部分)



图 4 高斯噪声污染的图像 (部分)



图 5 中值滤波后的图像 (部分)



图 6 本文算法滤波后的图像



图 7 原始 Barbara 图像 (部分)

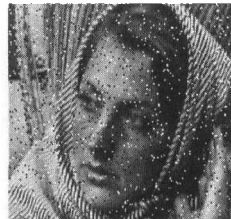


图 8 椒盐噪声污染的图像 (部分)



图 9 中值滤波后的图像 (部分)

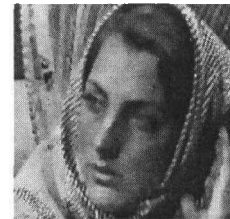


图 10 本文算法滤波后的图像

参 考 文 献

- [1] G. R. Arce, Multistage order statistic filters for image sequence processing, IEEE Trans. on Signal Processing, 1991, 39(5), 1146–1163.
- [2] A. Murat Tekalp, Digital Video Processing, Rochester, Prentice Hall, 1995, chapter 14, 269–271.
- [3] 刘徐德, 地形辅助导航系统技术, 北京, 电子工业出版社, 1994, 第三章, 3.3 节.

A NEW EDGE-RESERVE FILTERING ALGORITHM

Zhao Chenglin

(Dept. of Physics & Electronic Info., Shaoyang College, Hunan 422000, China).

Abstract In this paper, a new edge-reserve filtering algorithm is presented. It adaptively adjusts the size of the filter's supporting area according to the local variance of the interested area. The bigger the local variance is, which means the more high frequency texture information is contained in this area, the smaller the support area will be. In order to protect the edges of the image when it is filtered, this algorithm will divide the pixels in its supporting area into several groups according to the angle between its direction and the mean gradient of this area. By this way, pixels along the content edges will be given a bigger weight factors than pixels that are vertical to the image edge. Thus protect the edges from being blurred by the filtering process. The simulation results show that this algorithm is better than median filter both in terms of PSNR values and subjective image qualities. For pictures that are rich in texture information, the PSNR gain could reach 3dB higher.

Key words Median filter, Weight factor, Inner product, Supporting area

赵乘麟: 男, 1965 年生, 副教授, 研究方向为多媒体技术.