

一种改进的边缘检测与分块相结合的噪声估计方法

吴 疆

(榆林学院信息工程学院, 榆林 719000)

摘 要 在图像处理中,噪声估计是个重要问题。Aishy 和 Eric 提出了一种针对高斯白噪声的方差估计方法,给了一种自适应选择平滑子块的方法和一个用来计算子块平滑度的结构分析器。此方法存在两个问题:1)含有边缘纹理的子块可能被选择为平滑子块而影响结果精度;2)一些特殊子块具有极高方差但平滑度极小,如果图像含有一个以上的特殊子块,可能造成非常严重的过估计。上述两个问题都是由边缘纹理造成的。提出一种边缘检测与分块相结合的估计方法,首先利用简单边缘检测算法除去含有连续边缘点的子块,然后用 Aishy 方法。实验结果表明方法能够有效避免特殊情况下的严重过估计,而且在一些噪声水平时比 Aishy 方法的结果更精确。

关键词 高斯噪声 噪声方差估计 边缘检测

中图分类号 TN919.82; **文献标志码** A

在图像处理中去噪是一个很重要的步骤,很多算法把噪声方差作为已知参数^[1-4],但在实际中噪声图像的噪声方差是未知的,所以如何精确地估计噪声方差是一个重要的研究课题。

噪声估计方法主要分为两类:基于滤波方法^[5,6]和基于分块方法^[7],现有的算法本质上属于这两类或者是这两类的结合。

基于滤波方法的思想就是从噪声图像中分离出高频信息,再从分离出的高频信息中计算出图像的噪声方差。分离出的高频信息中含边缘或纹理信息,所以这类方法不适合丰富边缘纹理图像。文献[8]提出了一种本质上基于滤波而且适用于丰富边缘纹理图像的方法,但是由于多次滤波且每次计算自相关性而造成时间复杂度很大。

基于分块方法的思想就是把噪声图像分成很多小块,从这些小块中寻找平滑子块,然后利用这

些平滑子块计算图像的噪声方差。这类算法的难点在于如何确定平滑子块。

2005 年, Aishy 提出了一种面向结构的估计高斯白噪声方差的方法,该方法适合高噪声和低噪声,也适合丰富边缘纹理图像。该方法是以平滑度最小的三个子块的方差中值为参考方差,找出所有方差与参考方差相差小于阈值的子块,然后对这些块的方差求平均。这里有两个问题:1)确定平滑子块的标准时方差,所以含有边缘纹理的子块可能被选择为平滑子块,从而影响结果精度;2)一些特殊子块具有极高方差但平滑度极小,如果图像含有几个特殊子块,参考方差可能很大,所以估计结果远大于图像噪声方差。这两个问题都是非平滑子块被识别为平滑子块,可以通过边缘检测先把一些含强边缘的子块排除来解决这两个问题,因此本文提出一种基于边缘检测与分块相结合的噪声估计方法。

1 Aishy 和 Eric 方法

对于方差 σ_n^2 未知的零均值加性高斯噪声图像

一般有如下模型

$$I(x, y) = S(x, y) + \eta(x, y) \quad (1)$$

式(1)中 $I(x, y)$ 是噪声图像, $S(x, y)$ 是原始图像, $\eta(x, y)$ 是加性高斯噪声。噪声估计的目的就是从噪声图像中估计方差 σ_n^2 。

以像素 $I(i, j)$ 为中心大小为 $W \times W$ 的平滑子块表示为:

$$\begin{cases} B_{kl} = \{I(i, j) | (i, j) \in W_{kl}\} \\ W_{kl} = \{(i, j) | |i - k| < (W - 1)/2, |j - l| < (W - 1)/2\} \end{cases} \quad (2)$$

子块 B_{kl} 的均值和方差为 $\mu_{B_{kl}}, \sigma_{B_{kl}}^2$ 。平滑子块的方差主要是噪声方差, 而且有

$$\lim_{W \rightarrow \infty} \sigma_{B_{kl}}^2 = \sigma_n^2 \quad (3)$$

所以只要有足够的平滑子块就能精确地估计出 σ_n^2 。Asihy 给出了一个计算平滑度 ξ_{kl} 的结构分析器, 分析器利用高通算子从八个方向来计算平滑度, 图 1 给出了 3×3 结构分析器的八个方模板。

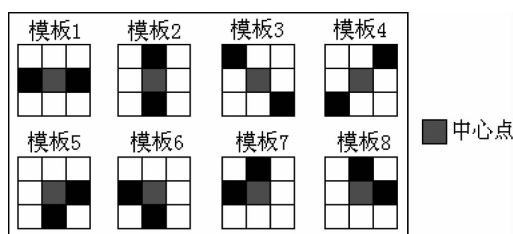


图 1 3×3 结构分析器的八个方向模板

图 1 中, 平滑度 ξ_{kl} 是带有高通算子的八个方向模板与 B_{kl} 卷积的绝对值之和。

基于分块的噪声估计方法的难处在于如何确定所有平滑子块, 首先找出平滑度最小的三块, 然后以这三块的方差的中值为参考方差 σ_r^2 。子块 B_{kl} 要属于 V (V 是所有平滑子块的集合) 必须要满足如下条件:

$$\begin{cases} |PSNR_{B_r} - PSNR_{B_{kl}}| < t_{PSNR} \\ PSNR_i = 10 \lg_{10} \frac{255^2}{\sigma_i^2} \end{cases} \quad (4)$$

式(4)中 σ_i^2 是第 i 个子块的方差, t_{PSNR} 是阈值。

选择出所有平滑子块 V 后, 最后的估计方差为:

$$\sigma_e^2 = \frac{\sum_{(k, l) \in V} \sigma_{B_{kl}}^2}{m} \quad (5)$$

式(5)中 m 是 V 中子块的个数。结构分析器有缺陷, 子块大小超过 3×3 时, 有些特殊子块的 ξ_{kl} 很小, 但是它的 σ_{kl}^2 却很大, 图 2 中是两种 5×5 的特殊子块例子。如果图像中有一个以上的特殊子块, 特殊子块的 σ_{kl}^2 可能会被作为参考方差 σ_r^2 , σ_r^2 远大于图像噪声方差 σ_n^2 , 所以会造成严重的过估计。判断 B_{kl} 是否属于 V 的标准是 σ_{kl}^2 , 所以找出的平滑子块可能含有边缘或纹理, 从而影响估计结果的精度。上述两个问题的原因都是含有边缘或纹理的非平滑子块被识别为平滑子块, 所以可以通过边缘检测算法除去含有连续边缘点的子块来避免这两个问题。

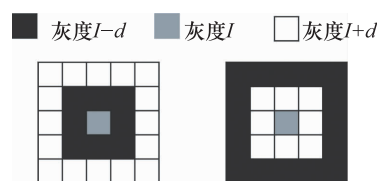


图 2 两种 5×5 的特殊子块 ($I - d \geq 0, I + d \leq 255$)

2 本文方法

为了减少时间复查度, 本文使用简单边缘检测算法。利用 Sobel^[9] 算子计算图像的梯度:

$$G_x = I(x, y) \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix};$$

$$G_y = I(x, y) \begin{bmatrix} -1 & 0 & -1 \\ -2 & 0 & -2 \\ -1 & 0 & -1 \end{bmatrix};$$

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}.$$

计算图像梯度后, 需要选择一个合适的梯度阈值 G_{th} 来确定边缘。 G_{th} 的选择我们遵循^[9] 的提议: 大于 G_{th} 的梯度之和占图像总梯度之和的 $p\%$, p 为固定阈值。梯度 G 大于 G_{th} 点是边缘点, 如果子块 B_{kl} 中含有连续 N 个边缘点, 则排除 B_{kl} 。

本文方法是先利用上述方法对图像的所有子

块进行排除,然后再对剩下的子块利用 Aishy 方法进行估计。

3 模拟实验及分析

为了比较算法性能,引进一种估计比^[6],其中 $\sigma_{\text{estimation}}$ 是估计出的噪声标准差, σ_{added} 是添加噪声的标准差。本文方法在不同噪声

$$\text{Estimation Ratio} = \frac{\sigma_{\text{estimation}}}{\sigma_{\text{added}}} \tag{6}$$

水平下的多幅图像进行了实验,并与原方法进行了比较。实验图像如图 3,大小均为 512 × 512。实验中图像被分成 5 × 5 的不重叠子块,参数 t_{PSNR} 为 3 dB, p 为 10, N 为 3。

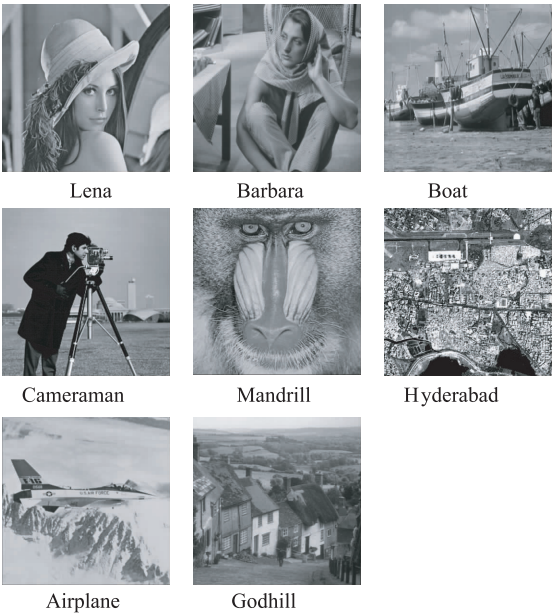


图 3 八幅 512 × 512 的实验图像

表 1 和表 2 中列出的是本文方法和原方法的估计比,这个结果是添加 20 次相同方差噪声的估计结果的平均。从两个表中看,本文方法在多数时候具有优势。在极低噪声(如 $\sigma_{\text{added}} \leq 3$)时,本文方法与原方法的结果相同,这时含连续边缘点子块的方差一般远大于噪声方差,不会被识别为平滑子块。不同的图像时,两种方法结果保持一致的噪声范围是不同的,大体上图像的边缘纹理越丰富,这个范围

越大,如 Barbara、Hyderabad。在中等噪声(如 $10 < \sigma_{\text{added}} < 30$)时,自适应选择平滑子块算法选择出含连续边缘点的非平滑子块的概率很大,所以本文算法一般都优于原方法。在高噪声时(如 $\sigma_{\text{added}} \geq 30$)时,边缘检测算法检测出的边缘点全是真实边缘点,有可能是噪声。噪声是随机,连续 N 个边缘点都是噪声的概率极小,所以对结果造成的影响很小。从表 1 和表 2 中可以看出, σ_{added} 为 30、40、50 时,两种方法各具优势。本文方法的估计结果要稍低于原方法,但是原方法的估计结果是可能大于 σ_{added} ,也可能小于 σ_{added} ,所以有可能本方法具优势,也有可能原方法具优势。如果图像含有丰富边缘纹理,本文方法具有优势,如表 2 中 Mandrill、Hyderabad。

从前面的分析可知本文方法的一个优势,在中低噪声能够增加估计结果的精度。本文方法的另一个优势是能够有效避免严重的过估计,为此构造了一副实验图像(图 4),图像的平均灰度 100,最高灰度 200,最低 0。表 3 中的估计比是某一次添加标准差 σ_{added} 的噪声图像的处理结果。原方法在这四幅噪声图像上发生了严重的过估计,Special 图像上的过估计 1 790%。从估计比上看 σ_{added} 为 40 的 Mandrill 上的过估计最小,但实际上过估计了 32.1。从表 3 中可知,在四幅噪声图像上,原方法严重过估计,而本文方法的估计结果比较精确,所以本文方法能有效避免在一些特殊情况下的严重过估计。

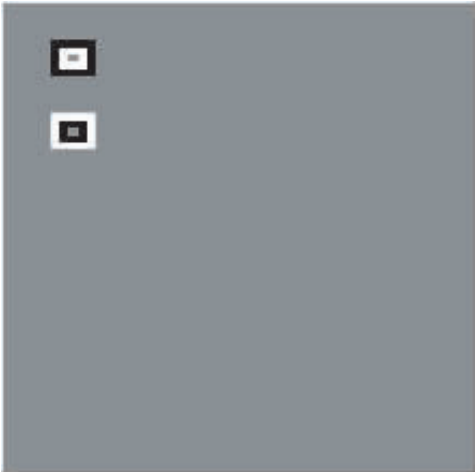


图 4 100 × 100 的含特殊子块的图像

表 1 Lean、Barbara、Boat 和 Cameraman 的实验结果对比

	Lena		Barbara		Boat		Cameraman	
σ_{added}	原方法	本方法	原方法	本方法	原方法	本方法	原方法	本方法
1	2.323 5	2.323 5	2.378 5	2.378 5	2.121 5	2.121 5	1.394 0	1.394 0
3	1.286 0	1.285 8	1.289 2	1.289 2	1.387 3	1.387 2	1.100 3	1.100 3
5	1.142 9	1.142 0	1.128 1	1.128 1	1.238 9	1.238 6	1.031 2	1.030 6
7	1.103 1	1.101 8	1.065 6	1.065 5	1.141 6	1.140 9	1.003 4	1.002 7
10	1.029 4	1.028 1	1.036 1	1.035 7	1.093 7	1.088 5	1.012 8	1.007 1
14	1.018 8	1.015 7	1.029 1	1.028 0	1.049 3	1.046 2	1.007 2	1.003 4
18	1.016 4	1.003 7	0.988 2	0.992 4	1.036 3	1.030 3	0.981 7	0.990 5
20	1.006 2	1.000 4	1.019 1	1.010 7	1.018 4	1.006 5	1.010 1	1.000 2
30	1.000 5	0.999 2	1.010 7	0.999 4	1.019 9	0.994 0	0.983 6	0.982 4
40	0.990 6	0.989 9	1.000 9	0.996 0	0.999 9	0.991 9	0.981 7	0.980 6
50	0.987 5	0.987 0	1.026 6	0.995 1	0.987 0	0.985 8	1.004 1	0.997 8

表 2 Mandrill、Hyderabad、Airplane 和 Goldhill 的实验结果对比

	Mandrill		Hyderabad		Airplane		Godhill	
σ_{added}	原方法	本方法	原方法	本方法	原方法	本方法	原方法	本方法
1	3.182 5	3.182 5	0.989 5	0.989 5	1.153 0	1.153 0	1.338 0	1.338 0
3	2.290 2	2.289 8	0.980 3	0.980 3	1.070 3	1.070 0	1.156 3	1.156 2
5	1.847 7	1.847 6	0.999 9	0.999 9	1.030 4	1.030 1	1.150 8	1.140 1
7	1.625 8	1.625 4	1.005 1	1.005 1	1.030 4	1.029 5	1.187 4	1.181 4
10	1.488 6	1.487 8	1.028 0	1.028 0	1.005 1	1.000 2	1.106 8	1.101 9
14	1.297 9	1.296 2	1.089 3	1.089 1	0.992 7	0.995 2	1.082 9	1.071 9
18	1.227 9	1.222 8	1.068 2	1.067 9	1.019 1	1.007 2	1.050 1	1.037 8
20	1.181 4	1.175 3	1.128 4	1.108 0	0.994 3	0.996 5	1.044 5	1.022 3
30	1.109 8	1.096 7	1.125 7	1.119 8	1.003 5	0.996 9	1.021 2	1.002 2
40	1.078 6	1.058 5	1.167 2	1.159 0	0.979 0	0.975 3	1.011 3	0.997 0
50	1.044 8	1.023 8	1.116 4	1.101 6	0.995 5	0.988 5	0.982 4	0.981 6

表 3 在一些特殊噪声图像上本方法与原方法的对比

图像	σ_{added}	原来方法	本方法
Special	5	18.903 3	0.977
Mandrill	5	4.294	1.732 4
Mandrill	40	1.802 5	1.030 4
Hyderabad	30	1.938 3	1.066

4 结论

本文方法是 Aishy 方法的基础上改进的。相对于原方法,本文方法具有两个优势,一是在一定噪声水平内具有更精确的结果;二是能够有效避免在一些特殊情况下的严重过估计。本文实验计算机配置 1.6 GHz Inter Celeron 双核 CPU 和 1 GB 内存,本文方法和原方法处理 512 × 512 图像所耗时间分

别为 1.37 s、2.41 s,本文方法时间复杂度大约增加了 75%。在实际应用中,原方法在自然图像中严重过估计的概率是很小,但是对特殊噪声图像来说,是 100% 的严重过估计,对后续图像处理程序产生不可以估量的影响,因此为了避免严重过估计而增加不多时间开销是值得的。

参 考 文 献

- 1 Koenderink J J. The structure of images. *Biological Cybernetics*, 1984;50(5): 363—370
- 2 Perona P, Malik J. Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1990;12(7):629—639
- 3 Catta F, Lions P L, Morel J M, *et al.* Image selective smoothing and edge detection by nonlinear diffusion. *SIAM Journal on Numerical Analysis*, 1992;29(1):182—193
- 4 Whitaker R, Pizer S. A multi-scale approach to nonuniform diffusion. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing: Image Understanding*, 1993; 57(1):99—110
- 5 Avlaerz L, Lions P L, Morel J M. Image selective smoothing and edge detection by nonlinear diffusion. *SIAM Journal of Numerical Analysis* II, 1992;29(3):845—866
- 6 Michiel S, Arnold M R, Karel J Z, *et al.* Fast Noise Reduction in Computed Tomography for Improved 3-D Visualization. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 2008;27(8):1120—1129
- 7 Avlaerz L, Guichard F, Linao P L, *et al.* Axioms and fundamental equation of image processing. *Archive for Rational Mechanics and Analysis*, 1993;123:199—257
- 8 Lindeberg T. Edge detection and ridge detection with automatic scale selection. *International Journal of Computer Vision*, 1998;30(2):117—154
- 9 Gonzalez R C, Woods R E. *Digital image processing*. New Jersey, USA;Prentice-Hall, Inc., 2002

An Improved Fast Noise Estimation Approach by Assembling Edge Detection and Block Based Methods

WU Jiang

(Dept. of Information Engineering, Yulin University, Yulin 719000, P. R. China)

[Abstract] Noise estimation is one of the most important research topics in image processing. Aishy and Eric have proposed a variance estimation method used in Gaussian white-noise, in which, a measure was provided to determine the homogeneous blocks and an analyzer was used in calculating the homogeneities. The approach should present two shortcomings corresponding to structures and textures. One is that the blocks with edge textures should be considered as intensity-homogeneous blocks that could have an effect on estimation accuracy. The other is that some special blocks have high variance but low homogeneity could result in over estimation. In order to avoid the two shortcomings mentioned above, an improved noise estimation approach by combining fast edge detection and block based methods have been proposed. The blocks with continuous points were firstly excluded rejected by using fast edge detection method. The experimental results indicate that method can avoid over estimation effectively in special conditions and can obtain more accurate results than the Aishy and Eric's method did.

[Key words] Guess noise noise variance estimation edge detection