

文章编号 1004-924X(2007)05-0779-05

自适应权值滤波消除图像椒盐噪声的方法

王明佳¹, 张旭光^{1,2}, 韩广良¹, 王延杰¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要:提出了一种自适应权值滤波算法。该方法利用邻域差分法(ROAD)判定滤波中心点的有效性,若判定该点为噪声,则将邻域像素分别赋予不同权值对该点像素重构,邻域像素权重系数的分配随该点有效程度的增加而增大。一方面抑制了图像噪声,另一方面保留了图像细节。实验证明该方法在滤除椒盐噪声时,无论从视觉角度还是数据恢复角度都比常规滤波方法效果有明显改善。当图像中含有 35% 的椒盐噪声时,利用该方法恢复数据效果比传统中值滤波提高 10 dB。

关键词:图像消噪;椒盐噪声;邻域绝对值差分法;自适应权值滤波

中图分类号:TP391.4 **文献标识码:**A

Elimination of impulse noise by auto-adapted weight filter

WANG Ming-jia¹, ZHANG Xu-guang^{1,2}, HAN Guang-liang¹, WANG Yan-jie¹

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China*; 2. *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*)

Abstract: An auto-adapted weight filtering method is put forward. The validity of the pixel is analyzed with a Rank-order Absolute Difference (ROAD) method, if the pixel is noise, the pixel will be reconstructed by the neighbor pixels with different weights, and the weight of the neighbor pixel is correlative with its validity. At last, not only the impulse noise is restrained, but also the detail of the image is reserved. Experiments show that when using the auto-adapted weight filtering to get rid of the impulse noise, an evident improvement is found compared with the general method, both in visual image quality and quantitative measures of signal restoration. When the impulse noise occupies 35% in image, the effect of data recovery by this method can be increased by 10 dB compared with conventional median filter.

Key words: image denoising; impulse noise; rank-order absolute difference; auto-adapted weight filter

1 引言

图像数据在形成、传输、接收和处理过程中,

受到外界环境、系统性能等因素干扰,经常会引进噪声,影响了图像质量,这些噪声对后续图像处理结果产生严重影响。如何将图像中的噪声去除并且能够保持图像特征是一个重要挑战,图像去噪

已成为图像处理和计算机视觉的重要研究内容。

常见的噪声有两种,一种为高斯噪声,另一种为椒盐噪声。高斯噪声图像是由原始图像与零均值高斯分布的噪声相叠加形成的,如果用 f 表示一幅图像, $f_{i,j}$ 表示在位置 (i,j) 的图像灰度值,高斯噪声图像 $f_{i,j}$ 相对与原始图像 f^0 表示为:

$$f_{i,j} = f_{i,j}^0 + n_{i,j}, \quad (1)$$

其中噪声 n_{ij} 服从高斯分布,这种图像的特点是被噪声污染像素的灰度值相对原始图像波动较小。而椒盐噪声图像中污染点被随机噪声替代,椒盐噪声图像可以表示为:

$$f_{ij} = \begin{cases} n_{ij}, & \text{if } f(i,j) \text{ 是噪声点} \\ f_{ij}^0, & \text{if } f(i,j) \text{ 是有效点} \end{cases}, \quad (2)$$

其噪声点灰度值相对原始图像波动较为剧烈,因此椒盐噪声对图像处理的干扰更为严重。椒盐噪声在工程中比较常见,主要因信号在电路传输中发生错误而产生,其危害效果很严重,尤其是红外相机的图像中经常伴随着椒盐噪声,对后期图像处理产生较大影响,本文主要研究如何消除图像中的椒盐噪声。

目前消除椒盐噪声主要采用中值滤波及中值滤波的改进形式,如自适应多窗口滤波法(MWA)。这些方法虽然对消除椒盐噪声取得了一定的效果,但这些方法在某些方面还存在着一定缺陷,当图像中噪声含量较大时,滤波效果不够理想。中值滤波及其改进形式都是通过不同方式寻找窗口内的中间排序值,窗口内所有像素点对中值滤波的权重分配系数相同。如果滤波位置是噪声点,噪声得到了抑制,如果该点是有效数据,该点仍然被中间排序数替代,造成图像失真。对此,本文研究一条新思路,通过计算图像中某点相对其邻域差分统计值来确定该点在滤波中分配的权重系数,从而实现滤波。

2 邻域绝对值差分法

图像中一点 $p(x,y)$,用 $q(i,j) = \{p(x+i,y+j) : -1 \leq i,j \leq 1, i \cup j \neq 0\}$ 表示点 $p(x,y)$ 3×3 邻域 Q 内像素集合,定义

$$A_{i,j} = |p(x,y) - q(i,j)|, \quad -1 \leq i,j \leq 1, i \cup j \neq 0, \quad (3)$$

$A_{i,j}$ 表示点 $p(x,y)$ 与邻域 Q 内某一像素点的绝对差值,将邻域 Q 内的 $A_{i,j}$ 值按升序排列得到 r_k ,

r_k 表示邻域 Q 内第 k 小的 $A_{i,j}$ 值。将 4 个最小的差值 r_k 累加,得到公式(4):

$$\text{ROAD}(x,y) = \sum_{k=1}^4 r_k, \quad (4)$$

$\text{ROAD}(x,y)$ 表示图像中点 (x,y) 与邻域最接近的 4 个像素的相似程度。图 1 演示了计算 ROAD 值的过程。图 1(a) 表示点 $p(x,y)$ 邻域像素,图 1(b) 将邻域 Q 相对 $p(x,y)$ 求差。最后得到 $\text{ROAD} = 2 + 4 + 6 + 7 = 19$ 。

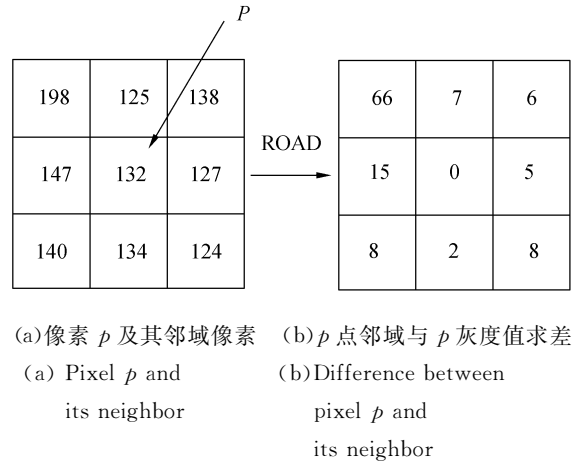


图 1 求取 p 点邻域内的 ROAD 统计值

Fig. 1 Calculation of the ROAD of pixel p 's neighbor

3 判据十权值滤波

在本节中,对图像进行具体平滑滤波,首先判别该点像素是否为有效数据,如果该点是有效数据,对该点不做处理;如果判别该点为椒盐噪声,对该点滤波。

3.1 像素点有效性判别

如果图像中某点 $p(x,y)$ 是椒盐噪声,那么该点 p 相对邻域 Q 属于奇异值,该点差分统计值 $\text{ROAD}(x,y)$ 很大;如果该点 p 非椒盐噪声,即使该点位于目标边缘附近,邻域 Q 内也有多个像素与该点的灰度值接近,所以统计邻域 $\text{ROAD}(x,y)$ 值不会很大。按公式(5)对图像噪声进行判别。

$$f(x,y) = \begin{cases} \varphi(p(x,y)), & \text{if } (\text{ROAD}(x,y) > \sigma_T) \\ p(x,y), & \text{if } (\text{ROAD}(x,y) \leq \sigma_T), \end{cases} \quad (5)$$

如果点 $p(x,y)$ 与邻域内统计值 $\text{ROAD}(x,y)$

$y)$ 大于阈值 σ_T ,表明该点相对邻域属于噪声,对该点做相应滤波处理;否则说明该点是图像的有用信息,不做任何变换。用该判断方法能将图像细节保留下来,避免中值滤波盲目将图像中所有像素都进行滤波变换,造成图像中细节信息大量丢失的后果。

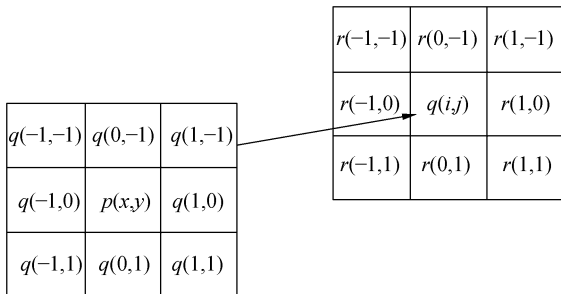
如果阈值 σ_T 取值越小,则对噪声判断越严格,容易将图像的微小细节丢失,阈值 σ_T 取值越大,对噪声判断越宽松。实验发现阈值 σ_T 取值通常应该在 $[55, 135]$ 之间,当阈值 $\sigma_T = 97$ 时,对图像综合恢复效果最为理想。

3.2 对噪声点自适应权值滤波

图 2(a)表示点 $p(x, y)$ 及其邻域像素 $q(i, j)$,中心点 $p(x, y)$ 对应着 $q(0, 0)$ 。当判定某点像素为椒盐噪声时,根据公式(6)利用邻域像素 $q(i, j)$ 对该点 $p(x, y)$ 进行数据恢复,分别对邻域内的像素赋予不同的权重系数。如果对邻域像素采用等同的权重系数,会出现均值滤波后图像变得模糊,细节丢失的后果。为此在对 $p(x, y)$ 点滤波时,根据邻域内数据点的有效性自动赋予不同的权重系数,对有效性高的像素点赋予较高的权重分配系数,随着像素有效性的下降对该点分配的权重系数相应降低。

$$f(x, y) = \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 \rho_{i,j} \times q(i, j), \quad (6)$$

如何判定图 2(a)中各个点 $q(i, j)$ 的有效性呢?可做以下假设:如果 $q(i, j)$ 点与其 3×3 邻域内像素越接近,则该点有效性越强,在公式(6)中



(a) p 点邻域像素 $q(i, j)$ (b) 确定 $q(i, j)$ 的权重系数
 (a) Neighbor pixel of pixel p (b) Weight coefficient of pixel $q(i, j)$

图 2 滤波模板内像素点 $p(x, y)$ 及其邻域像素分布
 Fig. 2 Distribution of pixel p and neighbor in filter template

对该点 $q(i, j)$ 分配的权重系数 $\rho_{i,j}$ 就越大;如果某点与邻域内的其它点差距越大,则该点为有效数据的可靠性下降,对该点分配的权重系数 $\rho_{i,j}$ 也相应降低。如图 2(b),现以 $q(i, j)$ 为中心,计算该点相对 3×3 邻域 R 的 $Road(i, j)$ 值可以判别该点 $q(i, j)$ 与其邻域最近似像素的统计情况,从而确定对各个点 $q(i, j)$ 分配的权重系数 $w_{i,j}$ 。权重系数 $w_{i,j}$ 的计算如公式(7)所示:

$$w_{i,j} = e^{-Road(i,j)^2 / 2 \times \sigma_w^2}, \quad (7)$$

实验发现,当 $\sigma_w = 59$ 时,对图像恢复效果最为理想。将公式(7)中权重系数进行归一化得到公式(6)中的权重系数,如公式(8)所示:

$$\rho_{i,j} = \frac{w_{i,j}}{\sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 w_{i,j}}, \quad (8)$$

4 实验结果分析

通过大量实验将本文提出的自适应权值滤波算法与几种常用的消除椒盐噪声方法比较,选用图片为 256×256 的 bird 图像。

图 3 表示利用本文提出的自适应权值滤波方法对加入方差 $\sigma = 10\%$ 椒盐噪声的 bird 图像进行复原的效果。滤波结果看出,图像中噪声得到抑制,原有图像信息得到保留。为了进一步验证自适应权值滤波效果,图 4 将该方法与几种常用的椒盐噪声滤波方法比较。可以看出,利用本文提出的自适应权值滤波方法在滤除椒盐噪声时,视觉效果明显优于其它几种方法。

接下来从数据恢复方面验证自适应权值滤波的性能,本文通过峰值信噪比(PSNR)对几种方法进行比较。在每次实验中,不同密度的椒盐噪声随机地添加到原始图像中, $[x_{i,j}]$ 表示利用不同滤波方法对含噪声图像滤波得到的图像, $[s_{i,j}]$ 表示未加入噪声的原始图像。则 PSNR 定义如公式(9)所示:

$$PSNR = 10 \times \lg \frac{\sum_{i,j} 255^2}{\sum_{i,j} (s_{i,j} - x_{i,j})^2}, \quad (9)$$

图 5 对滤波性能进行比较,横坐标表示噪声密度从 0.05 变化到 0.95,纵坐标表示图像的峰值信噪比。其中圆形为输入信号的 PSNR,十字形表示利用 WMA 滤波后图像的 PSNR,倒三角



(a)原图

(a)Original image



(b)加入椒盐噪声的图像($\sigma=10\%$)

(b)Image added by impulse noise

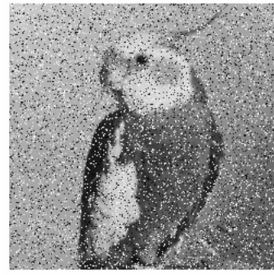


(c)对噪声图像自适应权值滤波后的效果

(c)After auto-adapted power filtering

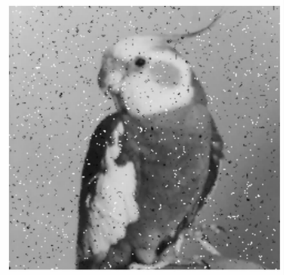
图 3 自适应权值滤波对椒盐噪声滤波效果

Fig. 3 Effect of auto-adapted power filtering on image corrupted by impulse noise



(a)加入 $\sigma=15\%$ 椒盐噪声的图像

(a)Impulse noise $\sigma=15\%$



(b)WMA 滤波

(b)WMA filtering



(c)3×3 中值滤波

(c)3×3 median filtering



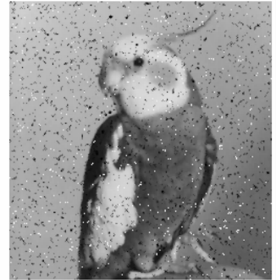
(d)自适应权值滤波

(d)Auto-adapted power filtering



(e)加入 $\sigma=25\%$ 椒盐噪声的图像

(e)Impulse noise $\sigma=25\%$



(f)WMA 滤波

(f)WMA filtering



(g)3×3 中值滤波

(g)3×3 median filtering



(h)自适应权值滤波

(h)Auto-adapted power filtering

图 4 比较不同算法对椒盐噪声的滤波效果

Fig. 4 Comparison of the effect of different methods on impulse noise

形表示 3×3 中值滤波的 PSNR, 方形为利用本文提出的自适应权值滤波后图像的 PSNR。实验数据发现: 利用本文提出的自适应权值滤波方法, 当图像中加入的椒盐噪声小于 10% 时, 从视觉效果上可以将图像完全恢复; 当加入的椒盐噪声小于

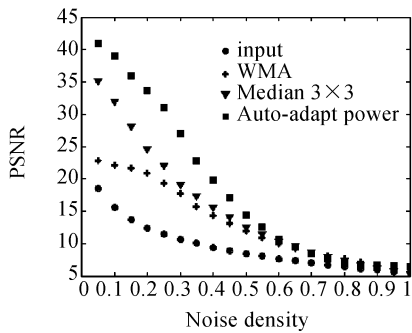


图5 几种滤波输出的峰值信噪比

Fig. 5 Comparison of PSNR

35%时,可以将图像轮廓清晰复原。该方法比中值滤波数据恢复结果高 10dB 左右,比 WMA 方法高 15~25 dB。

参考文献:

- [1] NILANJAN R, SCOTT T. Acton. Inclusion filters: a class of self-dual connected operators [C]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2005, 14(11): 1736-1746.
- [2] ROMAN G, TIMOTHY H, CHARLES C. A universal noise removal algorithm with an impulse detector [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2005, 14(11): 1747-1754.
- [3] EDUARDO A, MICHAEL L, SANJIT K. A new efficient approach for the removal of impulse noise from highly corrupted images [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 1996, 5(6): 1012-1025.
- [4] 付树军, 阮秋琦, 王文浴. 基于特征驱动的双向耦合扩散方程的图像去噪和边缘锐化[J]. *光学精密工程*, 2006, 14(2): 315-319.
FU SH J, RUAN Q Q, WANG W Q. Feature-oriented coupled bi-directional flow equation for image denoising and edge sharpening[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(2): 315-319. (in Chinese)
- [5] 邢藏菊, 曲延峰, 徐键, 等. 一种用于抑制椒盐噪声的多窗口中值滤波器[J]. *电子与信息学报*, 2002, 24(12): 1912-1916.
XING Z J, QU Y F, XU J, et al.. Multi-window adaptive filter for removal of impulse noise [J]. *Journal of Electronics and Information Technology*, 2002, 24(12): 1912-1916. (in Chinese)
- [6] 林玉池, 崔彦平, 黄银国. 复杂背景下边缘提取与目标识别方法研究[J]. *光学精密工程*, 2006, 14(3): 509-514.
LIN Y CH, CUI Y P, HUANG Y G. Study on edge detection and target recognition in complex background[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(3): 509-514. (in Chinese)
- [7] 关新平, 赵立兴, 唐英干. 图像去噪混合滤波方法[J]. *中国图象图形学报*, 2005, 10(3): 332-337.
GUAN X P, ZHAO L X, TANG Y G. Mixed filter for image denoising [J]. *J. Image and Graphics*, 2005, 10(3): 332-337. (in Chinese)
- [8] 周畅雄, 于盛林. 基于L-曲率流滤波器的图像降噪算法[J]. *光学精密工程*, 2005, 13(6): 759-765.
ZHOU CH X, YU SH L. Image denoising algorithm based on L-curvature flow filter[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2005, 13(6): 759-765. (in Chinese)

作者简介:王明佳(1976—),男,黑龙江人,博士,主要从事图像处理及目标跟踪研究。E-mail: wangmingjia2002@yahoo.com

5 结 论

本算法主要在以下几个方面进行改进:(1) 以被处理像素点为核心,通过对该点与邻域像素统计来检测该像素点的有效性;(2) 尽可能保留图像细节,当判定该点为有效数据时,不再用邻域统计值替代该点;(3) 能够自适应判断邻域像素点的有效程度,根据有效程度分配在数据恢复时的权重系数,从而实现图像复原。通过大量实验比较,发现本文提出的自适应权值滤波方法在滤除椒盐噪声时,无论从视觉效果,还是从数据恢复效果上比以往的滤波效果都有较大改善。