

# 图象中心加权中值滤波的改进与应用

梁 雯 刘松林

(安徽大学工商管理系、电子工程与信息科学系,合肥 230039)

摘 要 中心加权中值滤波具有较好的边缘保持特性及快速实现的特点,但滤噪能力低于其它中值滤波。此文探讨对中心加权中值滤波的改进方法,提出了中心加权分级实现的思想,使之同时具有边缘保持、快速滤波和噪声去除的理想效果。

关键词 中心加权,中值滤波,边缘保持,噪声滤除,快速算法

## 1 引 言

中值滤波是常用的非线性滤波方法,也是图像处理技术中最常用的预处理技术。它在平滑脉冲噪声方面非常有效,同时它可以保护图象尖锐的边缘。传统的标准窗中值滤波方法是以损失图象的边缘信息来实现对噪声的平滑滤波的。Justusson 首先于80年代初提出加权中值滤波,以改进中值滤波的边缘信号保持效果。后来也有讨论只对中心像素加权的中值滤波方法,虽然中心加权中值滤波的边缘保持特性比标准窗和一般加权窗的保持特性明显提高,但由于其噪声滤除能力降低,因此实际应用仍不及前两类中值滤波<sup>[1~2]</sup>。

其实,中心加权中值滤波不仅具有良好的边缘保持特性,还具有容易快速实现滤波的特点。本文通过对中心加权中值滤波的改进,实现了中心加权中值滤波效果的极大提高。并从保持边缘、噪声滤除和快速滤波三方面进一步改进了传统中值滤波方法。

## 2 中值滤波及中心加权中值滤波的统计特性

### 2.1 中值滤波概述

标准窗中值滤波是以窗口中  $N$  个像素的中值

置换中心像素。为改进标准中值滤波的效果,首先由 Justusson 提出加权中值滤波,对于输入  $(X_1, X_2, \dots, X_N)$  其加权中值滤波的输出是:

$$Y_c(i, j) = MED\{W_1 \square X_1, W_2 \square X_2, \dots, W_N \square X_N\} \quad (1)$$

这里  $MED\{\}$  表示取中值运算,  $\square$  表示加权。 $MED\{\}$  的运算过程是:对加权后的  $\{W_1 \square X_1, W_2 \square X_2, \dots, W_N \square X_N\}$  中的  $N'$  个数从小到大进行排序,选出第  $T$  个数就是窗口的中值输出。其中:

$$T = (1 + \sum_{i=1}^N W_i) / 2 \quad (W \text{ 为 } \geq 0 \text{ 整数}),$$

$$T = (\sum_{i=1}^N W_i) / 2 \quad (W \text{ 为 } \geq 0 \text{ 实数})$$

$$N' = \sum_{i=1}^N W_i (= 2T - 1) \quad (2)$$

若仅对中心像素加权,则为中心加权中值滤波。中心加权中值滤波可采用以下快速算法:利用中心像素灰度值将输入像素分成小于和大于中心像素灰度的两个单元(均不包含等于中心像素灰度),在像素个数大于等于  $T$  的单元中排序出中值,若两单元像素数均小于  $T$ ,则中值就是中心像素的灰度。

### 2.2 中心加权中值滤波的统计特性

按照传统中值滤波的定义与算法,对窗口  $N$  个像素的灰度进行从小到大排序后,第  $T$  个像素就是中值输出。对于中心加权  $W_c$  的滤波窗口(如 1111 $W_c$ 1111),设像素的灰度等级数为  $Q$ ,先考虑象

素的灰度是独立同分布的,可计算出中心像素灰度  $X_c$  的保持概率( $k=0,1,\dots,Q-1$ ):

$$P_{W_c}(k) = 1 - \sum_{i=T'}^{N-1} \binom{N-1}{i} \left(\frac{k}{Q}\right)^i \left(\frac{Q-k}{Q}\right)^{N-1-i} - \sum_{i=T'}^{N-1} \binom{N-1}{i} \left(\frac{Q-k-1}{Q}\right)^i \left(\frac{k+1}{Q}\right)^{N-1-i} \quad (3)$$

其均值:

$$p_{W_c} = \sum_{k=0}^N P_{W_c}(k)/Q \quad (4)$$

同样方法,如果窗口中心是噪声,则中值滤波的保持

能力就是噪声的保持能力,若噪声输出灰度等于像素灰度的上下限值(即  $k=0$  或  $Q-1$ ),则:

$$\rho = \sum_{i=T-1}^{N-1} \binom{N-1}{i} \left(\frac{1}{Q}\right)^i \left(\frac{Q-1}{Q}\right)^{N-1-i} \quad (5)$$

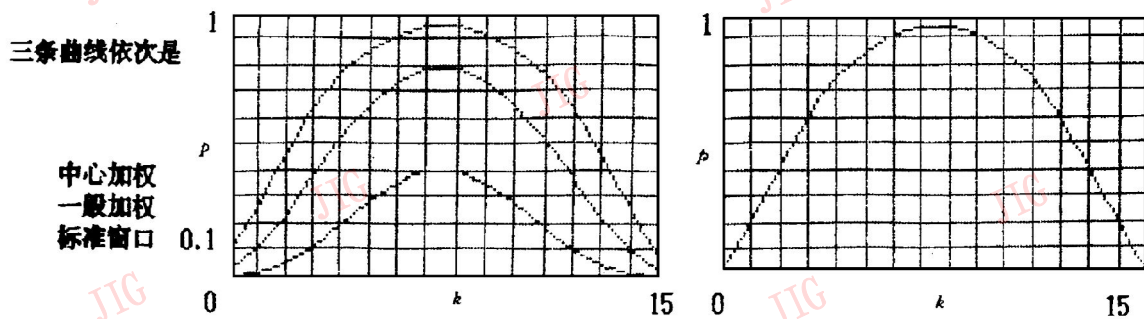
显然  $\rho = P_{W_c}(0)$ 。当  $W_c=1$  时,以上各值就是标准窗的中值滤波特性。

表1所列是窗中宽度为9时,不同中心权  $W_c$  和灰度等级  $Q$  下中心像素灰度保持概率  $P_{W_c}(k)$  ( $k=0, Q/2$ )及其均值  $p_{W_c}$ 。其中  $\rho = P_{W_c}(0)$ 。图1是  $N=9$  窗口、像素灰度级  $Q=16$  时不同加权中值滤波的保持特性曲线。

表1 不同中心加权  $W_c$  时的  $\rho, p_{W_c}$  值

Table 1 The values of  $\rho, p_{W_c}$  for different center weighted values of  $W_c$

$N=9$	$\rho=16$			$Q=64$			$Q=256$		
	$\rho$	$P(Q/2)$	$p$	$\rho$	$P(Q/2)$	$p$	$\rho$	$P(Q/2)$	$p$
$W_c=1$ (标准窗)	8.706-e4	0.4	0.174	3.968-e6	0.307	0.127	1.61-e8	0.282	0.115
$W_c=3$	0.011	0.778	0.396	2.014-e4	0.73	0.349	3.289-e6	0.716	0.337
$W_c=5$	0.085	0.95	0.618	0.006	0.936	0.571	4.206-e6	0.93	0.559
$W_c=7$	0.403	0.995	0.835	0.118	0.993	0.793	0.031	0.992	0.782



(a)改进前中心保持特性

(b)理想保持特性

Fig. 1 Property curves of center weighted medianfilter and improved center weighted medianfilter( $N=9, Q=16$ )

图1( $N=9, Q=16$ )中心加权改进前后特性曲线( $W_c=5$ )

由表1和图1(a)可知:随着中心像素权值( $W_c$ )的增大,显著地改进了中心点输出的保持能力。另一方面,  $W_c$  在窗口中权的比重愈大,消除噪声能力愈低。

另一问题是中心噪声去除后的像素恢复问题,实际图象中的像素之间有很大的连续相关性,即图象细节总是有若干相同或相近像素组成。而对于以脉冲形式出现的噪声却不具有这一特点。利用图象这一相关特点,采取中心紧邻像素次级加权,以进行中心像素去噪后的相关性修复,并且紧邻次级权愈大于外围权愈好。即:

$$W_c \geq W_i,$$

$$\sum W_{c-1} | \text{紧邻权} | \geq \sum W_{c-2} | \text{外围权} | \quad (6)$$

这样以保持恢复像素尽可能不取自于远离中心的像素。

### 3 中心加权中值滤波的改进

综上所述可知,传统的标准窗中值滤波,是以损失图象边缘细节为代价来实现平滑滤波。一般加权中值滤波虽改进对图象边缘细节的保持,但难以发挥中值滤波的最佳效果。下面讨论对中心加权中值

滤波的改进设计。

### 3.1 中心加权改进

采用滤波保持、去噪修复的分工方法。通过对中值滤波的统计特性分析可知:窗口像素的增多和中心像素以外的像素加权都降低中心像素的保持特性,而中心去噪后又必须通过提高紧邻像素的权值来保证像素恢复效果的提高,解决这个矛盾,我们采用多级分权,实现保持、恢复分工。如:

$$\begin{bmatrix} W_1 & W_2 & W_3 & W_4 & W_5 \\ W_6 & W_7 & W_8 & W_9 & W_{10} \\ W_{11} & W_{12} & W_{13} & W_{14} & W_{15} \\ W_{16} & W_{17} & W_{18} & W_{19} & W_{20} \\ W_{21} & W_{22} & W_{23} & W_{24} & W_{25} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & W_c & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & R_w & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

(7)式中包括一级权和二级权,二级权中包括调节权。其中:1. 一级权取中心加权方式,实现对噪声的滤除功能;2. 二级权取中心的紧邻像素,分担中心去噪后以近邻像素值对中心像素进行重新修复的功用。同时通过调节  $R_w$ , 实现进一步的噪声检查和细节保持等多重作用,3. 调节权  $R_w$ 。它可根据图象的噪声情况而自动调整取值(通常可用  $R_w=0$ )。在选择自动调节时,它可对噪声信号作出基本评判,如:通过计数开关  $S1 < S2$  ( $S1, S2$  分别为 2 个单元的像素个数)时,滤除高电平噪声,  $R_w=0$ ;  $S1 > S2$  时,滤除低电平噪声,  $R_w=1$  等等。另外,可根据处理对象的噪声情况或实际需要进行事先设置。可以看出,通过调节权  $R_w$  值的下调,二级权的权重相对提高。

实际应用中,我们可以精简一级权的像素数,即采集有利像素,根据图象的边缘细节线性特点,增减不同位置像素的权重,对无足轻重的像素取零权。实现对有利像素的保持,如纵、横、斜线的保持等。如:  $W_1, W_2, W_6, W_4, W_5, W_{10}, W_{16}, W_{21}, W_{22}, W_{20}, W_{24}, W_{25}, W_8, W_{12}, W_{14}, W_{18}$  选 0 权,这样一方面减少窗口像素个数,另一方面还增强对较大噪点的滤除能力。例如:

$$\begin{bmatrix} W_1 & W_2 & W_3 & W_4 & W_5 \\ W_6 & W_7 & W_8 & W_9 & W_{10} \\ W_{11} & W_{12} & W_{13} & W_{14} & W_{15} \\ W_{16} & W_{17} & W_{18} & W_{19} & W_{20} \\ W_{21} & W_{22} & W_{23} & W_{24} & W_{25} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 5 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

### 3.2 中心加权中值滤波快速算法

中心加权改进后,每级分权除中心权外,其它权值都是 1(或 0)。根据这一特点,可利用中心像素值将输入像素分成灰度小于和大于中心像素灰度的两个单元(均不包含等于中心像素),在像素个数大于等于  $T$  的单元中排序出中值;若两个单元像素个数均小于  $T$ ,则输入中值就是中心像素。具体步骤如下:

第一步:对于输入  $(X_1, X_2, \dots, X_c, \dots, X_N)$ ,以中心像素灰度  $X_c$  将  $WM1$  中的元素分成小于  $X_c$  的单元 1、大于  $X_c$  的单元 2 和等于  $X_c$  的单元 3。前两个单元的像素个数分别为  $S1, S2$ 。

第二步:如果  $S1$  和  $S2$  都小于  $T_1$ ,则  $Y_c = X_c$  (或  $R_w$  以同权再对  $WM2$  中的像素进行第一步操作,若结果仍为  $Y_c = X_c$ ),结束本窗口滤波,否则转第三步。

第三步:(1)如果  $S1 \geq T_1$  (表明  $X_c$  高,周边低),则  $R_w$  赋值 1,以中心像素  $X_c$  将  $WM2$  中的元素分成小于  $X_c$  的单元 1、大于  $X_c$  的单元 2 和等于  $X_c$  的单元 3。前两个单元的像素个数分别为  $S1, S2$ 。如果  $S1$  和  $S2$  都小于  $T_2$ ,则  $Y_c = X_c$ ,否则,在  $S1, S2$  较大中排序取中值;(2)如果  $S \geq T_1$  (表明  $X_c$  低,周边高),则  $R_w$  赋 0,执行(1)的同样操作。

第四步:结束本窗滤波,移至下一窗口。(注:上述各步,若在  $S1$  中排序,按从大到小次序;若在  $S2$  中排序则按从小到大的次序)

传统算法是对窗口像素进行排序,直到排出第  $T$  个像素,标准方窗产生一个中值需要  $T$  次循环,对整个  $m \times n$  图象数组进行中值滤波共需循环:  $m \times n \times T$  (次)

当中心像素保持作为中值输出时,中心加权中值滤波快速算法不需循环,只是在  $S1$  或  $S2$  出现最大值时,循环次数最多是  $(N-T)$  次。由表 1 可知,

当  $N=9, W_c=5, T=7, Q=16$  时  $p=0.618$ , 整个多级加权滤波产生一个中值的循环是:  $C' < 0.618 \times C + (N-T_2) \times (1-0.618)^2 \approx 1.2$  (次)。因此对整个  $m \times n$  图象数组的滤波共需循环小于  $m \times n \times 1.2$  (次)。

表 2 改进的中心加权中值运算  
与标准方窗传统算法运行速度对照表

Table 2 Comparison of computation rate between improved center weighted median filtering algorithm and the traditional median filtering algorithm

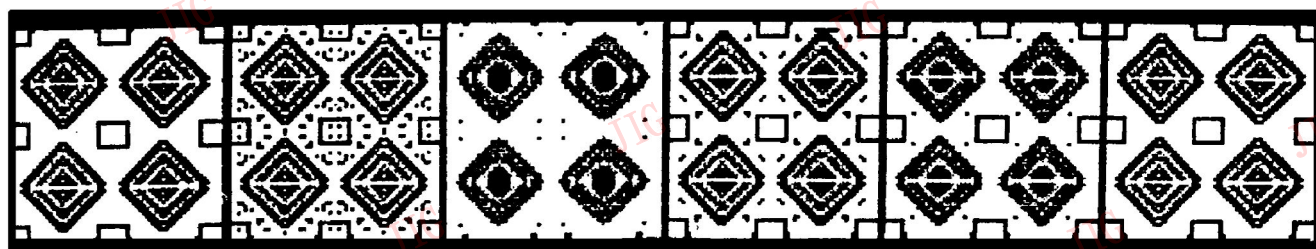
图象数组 ( $M * N$ )	$8 \times 8$	$16 \times 16$	$32 \times 32$	$64 \times 64$	$128 \times 128$
3×3 标准方窗 (秒)		0.06	0.11	0.44	0.92
5×5 改进中心加权 (秒)			0.06	0.11	0.44

(本算法采用 Turbo C 2.0 编程, 为比较运行速度, 表 2 结果在 386DX/40 兼容机上运行)

### 4 实验结果与总结

本文分别采用不同的中值滤波方法对加噪的模拟图象数组进行中值滤波处理, 其结果如图 2 所示。通过对滤波效果的比较, 可以看出: 经过标准方窗滤波后, 噪声滤除相当彻底, 但图象的边缘相当柔韧, 细节变得相当模糊; 采用中心加权中值滤波, 图象的边缘保持效果良好, 但对噪声滤除不彻底; 采用一般的加权中值滤波, 效果介于前两者之间; 而采用中心加权改进法, 再结合对窗口象素和窗口的形状的调整, 效果很好, 去噪处理后的图象焕然一新, 基本上看不到边缘损失。

在实际滤波过程中, 我们以中心加权改进法来进行中值滤波效果十分理想, 它既具有平滑滤波的效果, 又具有满意的边缘保持能力。在传统的中值滤波的基础上, 实现了本来只有采用特殊边缘保护处理才能实现的平滑滤波和边缘保持目标。另一个可贵之处是它在理想的滤波效果的基础上, 其滤波速度却大大超过传统的中值滤波。



a. 原始图象    b. 有噪图象    c. 标准中值滤波    d. 中心加权滤波    e. 一般加权    f. 中心加权改进  
(a)Original image    (b)image with noise    (c)standard filter median    (d)center median filter weighted  
(e)general weighted median filter    (f)improved center weighted median filter

图 2 中心加权改进后与其它方法中值滤波的效果比较

Fig. 2 Comparison of effects of improved center weighted median filters and other median filters

### 参考文献

1 S. -J Ko, Lee Y H. Center Weighted Median Filters and their Application to Image Enhancement, IEEE Trans. circ. Syst.,

1991, 38, 984~993.

2 Yang Ruikang. Optimal Weighed Median Filtering Under Structural Constraints. IEEE transactions on signal processing, 1995, 43(3):591~603.



梁雯, 女, 35 岁, 1983 年 7 月毕业于安徽大学电子工程与信息科学系。现任教于安徽大学工商管理系, 从事于计算机方面的教学与科研工作。

# Improvement of Center Weighted Median Filters for Image

Liang Wen, Liu Songlin

(Dept. of MBA, Anhui University, Dept. of Electronics Engineering and Information science, Anhui University, Hefei 230039)

**Abstract** Center weighted median filters has better characteristic on edge preservation and fast filtering, but fail in noise depression. This paper deals with a method of improvement if center weighted median filter, and the multilevel center weighted filtering method is presented which makes the filters efficient in edge preservation and noise depression, and faster filtering as well.

**Keywords** Median filters, Center weighted median filtering, Image processing edge preservation, Noise depression, Fast algorithm

(上接 622 页)

# Emulation of Electrical Capacitance Tomography System for Imaging of Two-Phase Flows

Chang Hongsen, Bao Zongti

(Dept. of physics, South China Normal University, Guangzhou 510631)

**Abstract** Electrical capacitance tomography (ECT) provides a new way for imaging the crosssection of process pipelines and vessels containing components with different permittivities. This paper describes an emulation method used for two component flow imaging. When the 1 dielectric distribution of the flow pattern is given, the capacitance between any two electrodes of the transducer can be calculated through a finite element method (FEM). Then the reconstructed imaging can be gained with the contribution of Application Visualization System and back project algorithm. Finally, three typical two-phase flow regimes, which encountered in practice, are reconstructed on a workstation SGI indigo 2.

**Keywords** Electrical capacitance tomography, Emulation, Finite element method, Model, AVS, Inverse