

文章编号: 1001-0920(2013)09-1372-05

## 自适应中心加权的彩色图像中值滤波方法

邓廷权<sup>1</sup>, 董天祯<sup>1,2</sup>, 谢巍<sup>1</sup>, 戴家树<sup>1</sup>

(1. 哈尔滨工程大学 模糊信息分析与智能识别实验室, 哈尔滨 150001; 2. 内蒙古通辽市奈曼旗农电局, 内蒙古 通辽 028300)

**摘要:** 提出一种彩色图像自适应中心加权的矢量中值滤波方法. 通过引入投影距离确定与待滤波点最接近的若干个像素的关系, 并考虑该点与由聚合距离所确定的中值的关系, 自适应地确定该点的权系数, 形成相应模板下的一个多重向量集合, 将该集合的中值作为滤波中值. 实验证明所提出方法能有效地去除彩色图像的椒盐噪声, 同时能够较好地保持其色调和细节信息.

**关键词:** 彩色图像; 中值滤波; 图像去噪; 矢量滤波

**中图分类号:** TP273

**文献标志码:** A

## Median filtering method based on adaptive central weighting for color images

DENG Ting-quan<sup>1</sup>, DONG Tian-zhen<sup>1,2</sup>, XIE Wei<sup>1</sup>, DAI Jia-shu<sup>1</sup>

(1. Laboratory of Fuzzy Information Analysis and Intelligent Recognition, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China; 2. Agricultural Electricity Bureau of Naiman District, Tongliao 028300, China.

Correspondent: DONG Tian-zhen, E-mail: dongtianzhen@hrbeu.edu.cn)

**Abstract:** An adaptive center weighted vector median filtering for color images is proposed. The relationship between the filtered pixel and its several nearest neighbor pixels is determined by introducing the projective distance. The link between the given pixel and the median value of template based on the aggregative distance is considered, and the weighting coefficient of the given pixel is adaptively obtained. A multi-set of vectors is formed and the median value of the multi-set is taken as the median of filtering. Experimental results show that the proposed method can effectively remove salt and pepper noises in a color images and preserve color information and local details.

**Key words:** color image; median filtering; image denoising; vector filtering

### 0 引言

随着模式识别和计算机视觉技术的不断发展,人们对图像质量的要求越来越高.但是图像在采集和传输过程中不可避免地受到外界诸多因素的干扰,致使获取图像的质量不佳.去噪是普遍采用的图像增强方法.图像的去噪方法很多<sup>[1-5]</sup>,其中,中值滤波因其算法简单,且能很好地保持原有图像的细节,在众多领域得到了广泛的应用.实现中值滤波的关键是对像素值赋予适当的序结构.由于彩色图像中每个像素值是由彩色空间中一个向量(颜色向量)确定的,而向量的序不像经典灰度图像中灰度值的序那样简单、直观.研究和实现彩色图像的中值滤波技术具有重要意义.经典矢量中值滤波方法(VMF)、模糊矢量中值滤波方

法(FVMF)、加权矢量滤波方法(WVF)、距离方向滤波方法(DDF)等都是比较典型并得以广泛应用的彩色图像中值滤波方法<sup>[6-13]</sup>,这些方法仍然会出现导致图像细节丢失或边界模糊的现象.不同于DDF,混合方向滤波方法(HDF)是分别赋予向量的长度和夹角一个阈值,确定向量间的序关系,这里的阈值选择具有很大的主观性.

本文借鉴DDF的优势,研究待滤波点(模板中心点)颜色向量与模板内准中值向量的差别,同时考虑与待滤波点颜色向量最接近的 $r$ (一般由滤波模板大小确定)个颜色向量的关系,自适应地确定模板中心颜色向量的权值,选取加权后模板内颜色向量的中值作为待滤波点的颜色向量.该方法在去除噪声的同时

收稿日期: 2012-05-18; 修回日期: 2012-07-18.

基金项目: 国家自然科学基金项目(10771043); 内蒙古自治区自然科学基金项目(2012MS0931).

作者简介: 邓廷权(1965—),男,教授,博士生导师,从事不确定性理论、模式识别、计算机视觉等研究;董天祯(1972—),男,工程师,博士生,从事计算机视觉、模式识别等研究.

能够更好地保持图像的色调和细节信息, 而且其计算复杂度不会增加。

## 1 现有彩色图像的中值滤波方法概述

### 1.1 经典彩色图像中值滤波方法

设彩色图像  $I$  的大小为  $m \times n$ , 像素点  $Q(i, j)$  的像素值(颜色向量)为  $C_Q$ . 经典彩色图像中值滤波的基本原理为<sup>[1,7]</sup>: 考虑大小为  $(2k+1) \times (2k+1)$  的滤波模板, 对模板内像素点的颜色向量进行向量排序, 选择居中的第  $(2k+1)^2/2+1$  个向量作为模板中心点的颜色向量. 目前常用的颜色向量排序方法有边缘序、条件序(字典序)、偏序、退化序、模糊序等.

在经典彩色图像中值滤波算法中, 因  $(2k+1)^2$  个向量排序的时间复杂度  $T_{\text{Sort}}((2k+1)^2)$  不大于  $O(k^4)$ , 故整个算法的时间复杂度不大于

$$T_{\text{VMF}}(I) = O(mnk^4). \quad (1)$$

彩色图像中值滤波选择滤波模板内颜色向量的中值作为输出结果, 因此它不会产生新的颜色信息, 较好地保持了图像的原有色调. 但是滤波过程中总是保守地取中值, 而向量中值没有统一、适用的定义方法, 所以会导致图像细节或边界丢失.

### 1.2 改进的彩色图像中值滤波方法

针对经典彩色图像中值滤波方法的不足, 人们采取了许多改进措施.

FVMF<sup>[7-8]</sup>是构建颜色向量的隶属函数, 剔除隶属值小于给定阈值的颜色向量, 选择剩余向量中隶属度最大的颜色向量作为滤波输出. 该方法的阈值由主观确定, 对去噪质量影响较大.

DDF<sup>[9]</sup>是从距离和夹角两个方面共同刻画颜色向量间的差别, 选择模板内与其他像素点颜色向量差别最小的颜色向量作为滤波输出. 该方法没有注意到模板内不同像素点颜色向量对滤波结果的影响程度, 以及待滤波点颜色向量与其邻域内像素点颜色向量的关系, 因此在去除噪声的同时会使有用信息丢失, 导致细节或边界模糊.

WVF<sup>[10]</sup>的基本原理是由模板内像素点的梯度值经过多次迭代确定各像素点的权值. 该方法要计算梯度并进行迭代, 计算量较大. 另外, 由于图像区域的边界梯度较大, 在去除噪声的同时会导致边界模糊.

CWVMF<sup>[11]</sup>和MCWVMF<sup>[12]</sup>是采用聚合距离(退化序)作为滤波模板内像素点建立颜色向量序列, 计算模板中心点颜色向量与该序列的中值颜色向量之间的聚合距离, 确定中心点颜色向量的加权系数, 选择更新后的颜色向量序列中值作为滤波输出. 该方法在保持图像细节方面有了一定程度的改进, 但是仍然存在问题, 例如一个像素宽的线条经过该方法滤波后

便会消失, 因此有必要对该中值滤波方法作进一步的研究.

## 2 自适应中心加权中值滤波(ACWVMF)方法

本文在DDF和CWVMF基础上, 将通过聚合距离确定的颜色向量作为待滤波点的准中值, 引入与待滤波点最近的  $r$  个颜色向量的差别度量, 自适应地确定中心点颜色向量的加权系数.

### 2.1 颜色空间中的向量序

设彩色图像  $I$  内任意两个像素点  $S(i_S, j_S)$  与  $T(i_T, j_T)$  的像素值的距离由向量范数

$$D_{ST} = \|C_S - C_T\| \quad (2)$$

确定, 其夹角  $\theta_{ST}$  规定在  $[1, \pi/2]$  之间, 由

$$\cos \theta_{ST} = \frac{\langle C_S, C_T \rangle}{\|C_S\| \cdot \|C_T\|} \quad (3)$$

确定.

为了更好地刻画颜色空间中两个颜色向量间的差别程度, 考虑到颜色空间中信息分布是各向异性的, 本文引入一种投影距离来刻画两个颜色向量的差别, 即

$$N_{ST} = D_{ST}^\alpha (1 + \sin \theta_{ST})^{1-\alpha}, \quad (4)$$

式中  $\alpha \in (0, 1)$  为加权指数.  $N_{ST}$  既考虑了两个向量间的欧式距离, 又兼顾了二者间的夹角对差别度量的影响. 在长度相等的情况下, 如果两个向量夹角较小, 则它们更接近. 加权指数  $\alpha$  取 0 时表示只由方向夹角确定两个颜色向量的差异;  $\alpha$  取 1 时表示只由距离确定两个颜色向量的差异; 一般  $\alpha$  取 0.65 ~ 0.85 之间, 能够较好地刻画两个颜色向量间的差异.

设  $P(i_p, j_p)$  为待滤波的像素点, 将大小为  $(2k+1) \times (2k+1)$  的模板中心与点  $P$  重合, 由式(4)计算  $P$  与模板内其他各像素点的投影距离, 并建立非递减序列  $\{N_p^m | m = 1, 2, \dots, (2k+1)^2 - 1\}$ .

由于图像信息在局部的某一个方向上是渐近变化的, 而噪声却是突变的野点, 将  $\{N_p^m | m = 1, 2, \dots, (2k+1)^2 - 1\}$  中前  $r$  个值对应的向量作为与点  $P$  最接近的  $r$  个颜色向量. 计算这  $r$  个颜色向量与  $P$  点颜色向量的平均投影距离

$$N_{P,r} = \frac{1}{r} \sum_{t \in \min D(P,r)} N_{Pt}, \quad (5)$$

其中  $\min D(P,r)$  为与  $P$  点颜色向量最接近的  $r$  个颜色向量对应像素点的集合.  $r$  取介于  $1 \sim (2k+1)^2$  间的整数, 当其取值较小时会将噪声点误认为是中值点, 其值取较大时又不能准确反映待滤波点颜色向量与其最接近颜色向量的差异性, 因此一般取  $2k$  较合理.  $N_{P,r}$  描述与  $P$  点颜色向量相近颜色向量的差别程度,

刻画待滤波点颜色向量在颜色空间中的分布是相对集中或孤立的,可以在一定程度上判定其是否为噪声点.

为了更好地描述模板内各像素点颜色向量的分布特性,由下式计算模板内任意像素点与其他所有像素点颜色向量的分布参数(聚合距离):

$$N^s = \left[ \sum_{t=1}^{(2k+1)^2} D_{st} \right]^\beta \cdot \left[ \sum_{t=1}^{(2k+1)^2} \cos \theta_{st} \right]^{1-\beta} \quad (6)$$

其中:  $s = 1, 2, \dots, (2k+1)^2$ ,  $\beta \in (0, 1)$  为权指数. 当  $\beta$  取 0 时由颜色向量间的方向夹角确定分布参数,  $\beta$  取 1 时由颜色向量间的空间距离确定分布参数, 一般  $\beta$  取 0.70 ~ 0.90 之间, 能够较好地表示颜色向量的分布. 根据式(6)计算模板内所有像素点的分布参数  $N^s$ , 并建立其非递减序列  $\{N^s | s = 1, 2, \dots, (2k+1)^2\}$ . 在该序列中  $N^s$  的值越小, 表明对应的像素点越接近或位于平滑区域, 其像素值属于稳定向量族(波动较小的向量族)的可能性更大. 本文将该序列最小值  $N^1$  作为模板内像素点的准中值向量, 记为  $C_{mP}$ ; 该序列最大值  $N^{(2k+1)(2k+1)}$  对应的颜色向量, 记为  $C_{MP}$ , 位于模板内像素点颜色向量的外围, 是与其他像素点颜色信息差别最大的颜色向量.

## 2.2 自适应中心加权中值滤波方法

待滤波像素点  $P$  的颜色向量  $C_P$  与准中值向量  $C_{mP}$  的投影距离

$$N_{m,P} = D_{mP,P}^\alpha (1 + \sin \theta_{mP,P})^{1-\alpha} \quad (7)$$

反映了  $C_P$  与  $C_{mP}$  的差异程度. 结合平均投影距离  $N_{p,r}$ , 引入点  $P$  的加权系数

$$\lambda_P = -1 + \frac{(2k+1)^2}{2} \cdot \left\{ 1 - \frac{\log_2 \left[ 1 + \frac{I_P}{(2k+1)^2} \sqrt{(N_{p,r})^2 + (N_{m,P})^2} \right]}{\log_2 [M_P]} \right\}, \quad (8)$$

其中  $I_P$  为  $C_P$  在原序列  $N^s$  中对应的位置序号.

考虑模板中  $(2k+1)^2$  个颜色向量, 将  $C_P$  重复  $\lambda_P$  次, 形成一个具有  $(2k+1)^2 + \lambda_P$  个向量的多重集合.

由式(6)得到更新序列  $\{N^s | s = 1, 2, \dots, (2k+1)^2 + \lambda_P\}$ , 其最小值对应的颜色向量作为点  $P$  的滤波输出颜色向量, 记为  $C_{ACWVMF}^P$ , 此即为自适应中心加权的颜色中值向量.

上述自适应中心加权中值滤波方法不仅考虑了待滤波点与滤波模板准中值的差异, 而且引入与待滤波点颜色向量最近的数个颜色向量的平均投影距离和待滤波点颜色向量在分布参数序列中的位置, 自适应地确定模板中心向量的加权系数, 建立新的颜色向量序列, 选择序列中值作为待滤波像素点的颜色信息.

## 2.3 算法实现

自适应中心加权的彩色图像中值滤波算法.

输入: 待滤波图像;

输出: 滤波结果图像.

Step 1: 算法初始化, 对各参数赋值;

Step 2: 确定待滤波的像素点  $P$  位置, 并将模板中心与点  $P$  重合;

Step 3: 利用式(4)计算点  $P$  与模板内其他各点的投影距离, 建立  $\{N_P^m | m = 1, 2, \dots, (2k+1)^2 - 1\}$  序列;

Step 4: 根据式(6)得到与  $P$  点颜色向量最接近的  $r$  个颜色向量, 并由式(5)计算  $P$  点颜色向量与这  $r$  个颜色向量的平均投影距离  $N_{p,r}$ ;

Step 5: 由式(7)计算模板内所有像素点的分布参数, 并建立其非递减序列  $\{N^s | s = 1, 2, \dots, (2k+1)^2\}$ , 选择序列最小值对应的颜色向量  $C_{mP}$  作为准中值颜色向量;

Step 6: 按照式(7)计算点  $P$  的颜色向量  $C_P$  与准中值向量  $C_{mP}$  的投影距离;

Step 7: 根据式(8)计算模板中心点颜色向量的加权系数  $\lambda_P$ ;

Step 8: 在模板内颜色向量集合中加入  $\lambda_P$  个颜色向量  $C_P$ , 由式(6)得到更新序列  $\{N^s | s = 1, 2, \dots, (2k+1)^2 + \lambda_P\}$ , 将该序列的最小值对应的颜色向量作为点  $P$  的颜色向量;

Step 9: 在整个图像内平移模板, 重复执行 Step 2 ~ Step 7, 直至完成整幅图像转 Step 9;

Step 10: 算法结束.

该算法的时间复杂度

$$\begin{aligned} T_{ACWVMF}(I) = \\ O(m \cdot n \cdot [T_{\text{Sort}}[(2k+1)^2] + T_\lambda[k]]) \leq \\ O(mnk^4). \end{aligned} \quad (9)$$

其中:  $T_{\text{Sort}}(\cdot)$  表示排序算法的时间复杂度,  $T_\lambda(\cdot)$  为计算加权系数时间复杂度. 因此, 新算法与经典中值滤波方法具有相同的时间复杂度.

## 3 实验对比与分析

为了验证所提出方法的去噪效果, 本文采用如下彩色图像添加椒盐噪声模型<sup>[13]</sup>.

$$C_n(i, j) = \begin{cases} C_s(i, j), & 1 - p_n; \\ (d, c_G, c_B), & p_n p_R; \\ (c_R, d, c_B), & p_n p_G; \\ (c_R, c_G, d), & p_n p_B; \\ (d, d, d), & p_n p_{\text{RGB}}. \end{cases} \quad (10)$$

将实验图像加入噪声, 式中:  $C_n(i, j)$  为受到噪声污染的图像  $(i, j)$  点的颜色向量,  $C_s(i, j)$  为原始图像在没有受到噪声污染时  $(i, j)$  处的颜色向量,  $p_n$  为添加的椒盐噪声概率,  $p_R, p_G, p_B$  分别为 R、G、B 各颜色分量单独一个分量受到噪声污染的概率,  $p_{RGB}$  为 R、G、B 各颜色分量同时受到噪声污染的概率, 且  $p_R + p_G + p_B + p_{RGB} = 1$ ,  $d$  为分量的噪声取值, 随机取最小值或最大值, 即 0 或 255.

选择经典的 Lenna (24 bit RGB, 512×512) 图像作为实验对象, 分别对其加入 3%~15% 的椒盐噪声 (随机脉冲噪声), 并假定各分量受噪声污染的强度相等, 均为 25%. 分别采用 VMF、CWVMF、MCWVMF、DDF 和本文方法进行滤波实验, 实验中选择  $3 \times 3$  的滤波模板. 在采用本文方法进行滤波时, 设置参数  $\alpha = 0.8$ ,  $\beta = 0.85$ ,  $r = 2$ . 实验结果如图 1~图 5 所示.

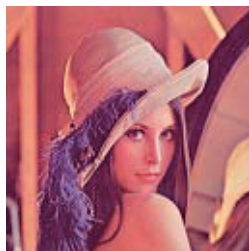


图 1 Lenna 原始图像 (24 bit RGB, 512 × 512)

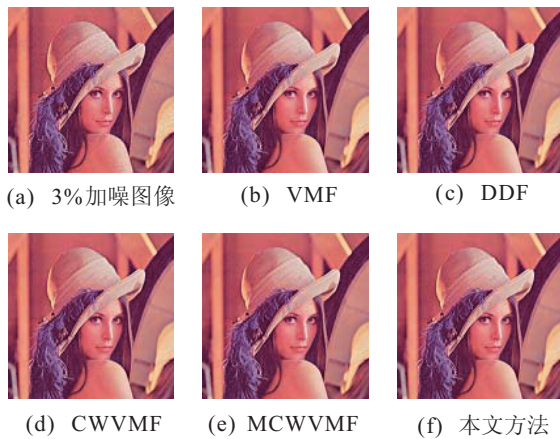


图 2 3% 噪声下各种滤波方法的去噪效果



图 3 5% 噪声下各种滤波方法的去噪效果



图 4 10% 噪声下各种滤波方法的去噪效果



图 5 15% 噪声下各种滤波方法的去噪效果

为了定量描述各方法的滤波效果, 采用常用的峰值信噪比 (PSNR) 和归一化色彩误差 (NCD) 作为评判标准<sup>[14]</sup>, 数值比较结果如表 1 和表 2 所示. 本文滤波方法采用不同大小的滤波模板, 实验结果如表 3 所示.

实验结果表明, 与现有矢量中值滤波方法相比, 本文滤波方法在色彩保持上具有较大优势, PSNR 和 NCD 指标均优于其他方法. 主要原因在于: 新滤波方

表 1 Lenna 采用不同滤波方法的 PSNR 结果

方法	噪声概率			
	3%	5%	10%	15%
VMF	32.7269	32.1706	31.8149	29.3606
DDF	32.8679	32.5734	31.2170	29.7770
CWVMF	35.0728	34.7362	32.3561	27.1049
MCWVMF	35.1629	34.8255	32.5049	27.1593
本文方法	36.2175	35.7661	33.8356	31.5190

表 2 Lenna 采用不同滤波方法的 NCD 结果  $10^{-3}$

方法	噪声概率			
	3%	5%	10%	15%
VMF	8.98	9.13	9.42	9.77
DDF	8.04	8.43	10.35	10.16
CWVMF	6.23	7.25	8.32	8.36
MCWVMF	6.09	6.24	7.63	8.30
本文方法	4.00	4.21	5.54	7.18

表 3 Lenna 采用本文方法不同滤波模板的 PSNR 结果

模板	噪声概率			
	3%	5%	10%	15%
3*3	36.2175	35.7661	33.8356	31.5190
5*5	36.0580	35.6232	34.2660	32.8939
7*7	34.0873	34.3340	33.0116	31.7495
9*9	33.7642	33.2521	31.9473	30.6748
11*11	32.8548	32.4481	31.0324	29.7576

法运用投影距离客观地刻画了待滤波点邻域内颜色向量之间的差别,并且引入分布参数描述模板内颜色向量的统计分布特性,特别考虑了与待滤波点最接近的  $r$  个颜色信息的关系,通过上述几个方面确定待滤波点颜色向量的重要程度(即加权系数),从而使图像的固有信息与噪声得到有效区分。另外,由表 3 可知,滤波模板大小  $k = 3, 5$  比较合理,能够较好地保持图像细节,当  $k$  取值较大时会导致色调变化和细节丢失。因此,本文滤波方法在去除噪声的同时能够较好地保持图像原有色调和细节信息。

#### 4 结 论

本文在研究现有彩色图像中值滤波方法的基础上,运用投影距离客观地反映两个颜色向量之间的差异,引入分布参数描述颜色向量的分布特性,根据待滤波点(模板中心点)颜色向量与模板内准中值颜色向量的投影距离,同时考虑模板内颜色向量与待滤波点颜色向量最接近的  $r$ (一般由滤波模板大小确定)个颜色向量的关系,自适应地对待滤波点颜色向量进行加权,并以加权后生成的多重序列中值颜色向量作为滤波后的颜色向量。该方法在去除噪声的同时能够更好地保持图像的色调和细节信息。

#### 参考文献(References)

- [1] Kasparis, Eichmann G. Vector median filters[J]. Signal Processing, 1987, 13(3): 287-299.
- [2] Lukac R, Smolka, Plataniotis K N, et al. Vector sigma filters for noise detection and removal in color images[J]. J of Visual Communication and Image Representation, 2006, 17(1): 1-26.
- [3] Liu C, Sxeliski R, Kang S B, et al. Automatic estimation and removal of noise from a single image[J]. IEEE Trans

- on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2008, 30(2): 299-314.
- [4] Lukac R. Adaptive vector median filtering[J]. Pattern Recognition Letters, 2003, 24(8): 1889-1899.
- [5] Gallegos-Funes F J, Rosales-Silva A J, Toledo-Lopez A. Multichannel image processing by using the Rank M-type L-filter[J]. J of Visual Communication and Image Representation, 2012, 23(2): 323-330.
- [6] Lukac R, Marchevsky S. Adaptive vector LUM smoother[C]. Proc of Int Conf on Image Processing. Thessaloniki, 2001: 878-881.
- [7] 邓廷权, 王肖晨. 新的模糊矢量中值滤波算法[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(1): 191-194.  
(Deng T Q, Wang X C. New fuzzy vector median filtering algorithm for color images[J]. Computer Engineering and Applications, 2009, 45(1): 191-194.
- [8] 杨延竹, 赵学增, 王伟杰, 等. 基于模糊神经网络的彩色图像滤波方法[J]. 控制与决策, 2004, 19(1): 69-72.  
(Yang Y Z, Zhao X Z, Wang W J, et al. Color image filtering method based on fuzzy neural network[J]. Control and Decision, 2004, 19(1): 69-72.)
- [9] Karakos D G, Trahanias P. Generalized multichannel image filtering structures[J]. IEEE Trans on Image Processing, 1997, 6(7): 1038-1045.
- [10] Lukac R, Smolka B, Plataniotis K N, et al. Selection weighted vector directional filters[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2004, 94(1/2/3): 140-167.
- [11] Lin T C. A new adaptive center weighted median filter for suppressing impulsive noise in images[J]. Information Sciences, 2007, 177(2): 1073-1087.
- [12] Setzer S, Steidl G, Teuber T. On vector and matrix median computation[J]. J of Computational and Applied Mathematics, 2012, 236(8): 2200-2222.
- [13] Plataniotis K N, Androutsos D, Venetsanopoulos A N. Adaptive fuzzy systems for multichannel signal processing[J]. Proc of the IEEE, 1999, 87(9): 1601-1622.
- [14] Jin L H, Li D H. A switching vector median filter based on the CIELAB color space for color image restoration[J]. Signal Processing, 2007, 87(6): 1345-1354.