

# 非局部均值的彩色图像去噪方法改进

张丽红, 焦韶波

(山西大学 物理工程学院, 山西 太原 030006)

**摘要:**快速非局部均值算法利用像素邻域内具有高相似度的像素块之间的高斯加权欧氏距离来估计当前像素值,对于低频图像部分可取得较好的效果,而对于图像的高频部分,因计算获得的高斯加权欧氏距离不能很好地反映图像块间的相似性,会导致图像部分边缘信息的丢失。为了保留图像中更多的高频信息,在快速非局部均值算法中高斯加权欧氏距离的基础上,引入由相位一致性、梯度及色度特征组成的彩色图像特征相似(FSIMC)指数,提出并构建了基于一种新权重函数的去噪算法。该算法利用新的权重函数计算图像块与图像块之间的相似性,分别对 RGB 三通道内图像中所有的像素点进行逐块滤波得到估计值,只要平均这些估计值就得到去噪后的整幅图像。实验结果表明,相对于快速非局部均值算法,所提出的算法在 PSNR 和 FSIMC 方面均有提高,同时也保留了图像更多的细节信息。

**关键词:**非局部均值算法;彩色图像去噪;彩色图像特征相似指数;权重函数

中图分类号:TP301

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2017)10-0039-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2017.10.009

## Modification on Color Image Denoising Algorithm with Non-local Means

ZHANG Li-hong, JIAO Shao-bo

(College of Physics and Electronic Engineering, Shanxi University, Taiyuan 030006, China)

**Abstract:** Gaussian weights Euclidean distance between pixel blocks with a high degree of similarity in the neighborhood is calculated to estimate current pixel value in fast non-local means algorithm, which achieves good results in the low-frequency part of the image, but loses partial edge information in the high-frequency part of the image because similarity between pixel blocks cannot be reflected by Gaussian weights Euclidean distance effectively. In order to retain more information in the high-frequency part of the image, a new weighting function is constructed, in which feature similarity color index composed of phase congruency, gradient and chrominance information is introduced into Gaussian weights Euclidean distance of fast non-local means algorithm and a denoising method is proposed based on it. Similarity between pixel blocks is computed by this new weighting function. Thus the estimated points are acquired with all pixels in three channels of color image filtering with block-by-block and averaged to obtain the entire filtered image. The experimental results show that compared with fast non-local means algorithm, it has improved the PSNR, FSIMC and retained more detail.

**Key words:** non-local means; color image denoising; color image feature similarity index; weighting function

### 0 引言

图像是人类获取信息、表达信息和传递信息的重要手段。彩色图像在获取、传输和应用过程中难免会受到噪声污染,严重影响图像的后续处理。因此在图像处理之前进行有效的图像去噪必不可少。图像去噪的目标,就是采用一定的算法去除图像中的噪声,以恢复图像本来的面貌。但噪声与图像的高频部分往往表现出相同的特性,在去噪过程中两者难以区分,不可避

免地造成信息的丢失,这就要求去噪算法尽可能保护图像的高频部分,保留图像本身的结构。

国内外学者针对彩色图像噪声的去除展开广泛研究,提出了许多算法。这些算法大致分为两类:空域算法和变换域算法<sup>[1-5]</sup>。但它们仅仅是基于图像局部的像素值的变化特性,而没有考虑整幅图像的信息。Buades 等提出了非局部均值算法<sup>[6-7]</sup>(Non-Local Mean, NLM),充分利用了图像的自相似信息,使得滤

收稿日期:2016-10-31

修回日期:2017-02-17

网络出版时间:2017-07-11

基金项目:山西省科技攻关计划(工业)资助项目(2015031003-1)

作者简介:张丽红(1968-),女,硕士,副教授,CCF 会员(200064789M),研究方向为图像处理;焦韶波(1990-),男,硕士,研究方向为图像处理。

网络出版地址: <http://cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20170711.1456.076.html>

波范围不再局限于局部,取得了不错的去噪效果,但仍存在不足。

Wang 等<sup>[8]</sup>在计算图像块之间的欧氏距离时,分别计算平方项和非平方项,提高了算法速度。郭全占等<sup>[9]</sup>基于 RGB 通道联合相似度,提出了一种新的彩色图像非局部均值去噪算法,利用彩色图像各通道之间的相关性计算权重,保留了更多的图像细节。Salmon 等<sup>[10]</sup>分两步对图像进行处理,首先对搜索区域内的点之间进行相似度估计,然后取部分相似性高的点对当前像素进行去噪。然而,这些方法没有充分利用图像的边缘和彩色信息。

为此,本次研究在高斯加权欧氏距离的基础上加入边缘和彩色信息共同计算权重,构建了基于一种新权重函数的去噪算法,对三通道进行逐块滤波。

## 1 非局部均值算法

非局部均值算法的基本思想<sup>[11]</sup>是:图像中任一像素点及其邻域所组成的像素块在图像中都存在着许多与其结构相同或相似的图像块,计算图像块之间的高斯加权欧氏距离,权值设为此距离的负指数函数值。目的是在估计图像中任意一点像素值时,相同或相似的像素块会得到较大的权值。最后,通过对这些权值进行加权得到当前估计像素值。

给定一幅离散的含有加性噪声的图像  $Y$ :

$$Y = X + V \quad (1)$$

其中,  $X$  为原始图像;  $V$  为加性的高斯白噪声。

在非局部均值算法中,对于图像中任意一个像素,其所对应的估计值为:

$$\hat{X}(i) = \frac{\sum_{j \in I} \omega(i, j) Y(j)}{\sum_{j \in I} \omega(i, j)} \quad (2)$$

$$d(i, j) = \|B(i) - B(j)\|_{2,a}^2 \quad (3)$$

$$\omega(i, j) = \exp\left(-\frac{d(i, j)}{h^2}\right) \quad (4)$$

其中,  $I$  为图像中所有像素的集合;  $\hat{X}(i)$  为图像中任一像素的估计值;  $\omega(i, j)$  为以像素  $i$  为中心的像素块与以像素  $j$  为中心的像素块之间的权重,其数值大小依赖于两个像素块的相似程度,并且满足条件:  $0 < \omega(i, j) < 1$  且  $\sum_{j \in I} \omega(i, j) = 1$ ;  $B(i)$ 、 $B(j)$  分别为以像素  $i$  与像素  $j$  为中心所对应的像素块;  $d(i, j)$  为像素块之间的高斯加权欧氏距离;  $a$  为高斯核的标准偏差,由选定像素邻域的窗口大小决定;  $h$  为滤波参数,控制指数函数的衰减速度,  $h^2$  的取值在  $10\sigma \sim 15\sigma$  之间,过大会造成图像的过度平滑,过小则会造成去除噪声不足<sup>[12]</sup>。万方数据

## 2 快速非局部均值算法

经典的非局部均值算法通过计算块与块之间的权重逐点估计像素值,从而估计整幅图像。对于一幅  $512 * 512$  的图像,这种滤波算法速度会很慢,大约在 25 min 左右。

由于这种计算方式效率低,提出了一种逐块计算的方法<sup>[13]</sup>,即直接利用块与块之间的权重对所对应图像块内所有的像素点进行滤波,那么每个像素点被估计的次数即包含该点的块的个数,最后平均这些被估计的点就得到整幅图像。

$$\hat{Z}(i) = (\hat{Z}(i)_1 + \hat{Z}(i)_2 + \cdots + \hat{Z}(i)_k) / m \quad (5)$$

$$\hat{Z}(i)_k = \frac{\sum_{j \in I} \omega(i, j) Y(j)}{\sum_{j \in I} \omega(i, j)} \quad (6)$$

$$d(i, j) = \|B(i) - B(j)\|_2^2 \quad (7)$$

$$\omega(i, j) = \exp\left(-\frac{d(i, j)}{h^2}\right) \quad (8)$$

其中,  $\hat{Z}(i)$  为图像块内任一像素的估计值;  $m$  为包含当前像素的块个数。

与逐点计算不同的是,这里计算块与块之间的距离采用的是未加高斯核的距离,因为逐块计算同时计算邻域全部像素点的值,这些像素点具有相同的地位。

## 3 改进的非局部均值算法

非局部均值滤波在图像的低频区域获得了较好的去噪效果,然而在图像的高频区域,欧氏距离不能很好地反映图像块间的相似性,导致图像部分边缘信息的丢失。而彩色图像相似特征作为一种图像质量评估指数,包含了图像高频信息和色度信息。基于此,在计算图像块的相似性中加入彩色图像相似特征<sup>[14]</sup>(Feature SIMilarity Color, FSIMC)指数,构建一种新的相似性度量函数来计算图像块之间的相似性。FSIMC 指数的计算由三部分组成,分别是相位一致性、梯度和色度。

相位一致性算法的基本思想是将图像傅里叶分量相位最一致的点作为特征点,在此利用 Peter Kovess<sup>[15]</sup>提出的相位一致性算法(Phase Congruency, PC)来提取图像的各种特征,如阶跃边缘、线边缘等。PC 的取值为  $[0, 1]$ , 1 表示显著特征,0 则表示无显著性。

假设输入的两幅图像分别为  $f_1(x)$  和  $f_2(x)$ , 那么两幅图像的相位一致相似性为:

$$S_{pc}(x) = \frac{2PC_1(x) * PC_2(x) + T_1}{PC_1^2(x) + PC_2^2(x) + T_1} \quad (9)$$

其中,  $PC_1$ 、 $PC_2$  分别为  $f_1(x)$  和  $f_2(x)$  的相位一致性特征;  $T_1$  为正常数,保证分母不为零,且考虑了人类

视觉系统。

把图像看成二维离散函数,图像梯度就是对这个二维离散函数求导。

两幅图像的梯度相似性为:

$$S_c(x)=\frac{2G_1(x)*G_2(x)+T_2}{G_1^2(x)+G_2^2(x)+T_2}$$

(10)

其中,  $G_1(x)$ 、 $G_2(x)$  分别为  $f_1(x)$  和  $f_2(x)$  的梯度;  $T_2$  作用同  $T_1$ 。

相位一致性和梯度联合表征了图像的灰度信息,而在彩色图像去噪方面,色度信息也尤为关键。基于此,把图像由 RGB 颜色空间转换到 YIQ 颜色空间,  $Y$  表示图像的亮度信息,  $I$  和  $Q$  表示图像的色度信息。类似相位一致相似性和梯度相似性的计算,两幅图像的色度相似性为:

$$S_c(x)=S_I(x)*S_Q(x)$$

(11)

$$S_I(x)=\frac{2I_1(x)*I_2(x)+T_3}{I_1^2(x)+I_2^2(x)+T_3}$$

(12)

$$S_Q(x)=\frac{2Q_1(x)*Q_2(x)+T_4}{Q_1^2(x)+Q_2^2(x)+T_4}$$

(13)

其中,  $I_1$ 、 $I_2$  分别为  $f_1(x)$  和  $f_2(x)$  的  $I$  通道色度信息;  $Q_1$ 、 $Q_2$  分别为  $f_1(x)$  和  $f_2(x)$  的  $Q$  通道色度信息;  $T_3$ 、 $T_4$  作用同  $T_1$ 。

最后,FSIMC 由相位一致相似、梯度相似、色度相似共同获得:

FSIMC =

$$\frac{\sum_{x \in \Omega} [S_{PC}(x)]^\alpha [S_c(x)]^\beta [S_c(x)]^\gamma PC_m(x)}{\sum_{x \in \Omega} PC_m(x)}$$

(14)

表 1 不同  $\sigma$  时快速 NLM 和改进算法滤波后 PSNR 和 FSIMC 的比较

图像	噪声水平	加噪图像	Fast NLM		新算法	
			PSNR	FSIMC	PSNR	FSIMC
Lena	10	28.133 9	33.570 4	0.969 8	34.007 8	0.979 7
	20	22.116 9	30.732 3	0.938 5	31.299 3	0.959 7
Pepper	10	28.120 0	32.493 3	0.975 6	32.962 5	0.983 4
	20	22.116 8	30.383 5	0.954 0	30.761 8	0.968 2
Airplane	10	28.120 0	33.540 0	0.961 3	33.912 1	0.977 1
	20	22.114 5	30.500 8	0.920 1	31.071 3	0.950 1
House	10	28.130 4	29.077 0	0.967 2	29.642 6	0.980 3
	20	22.113 8	26.244 1	0.927 4	27.029 6	0.957 9

## 5 结束语

快速非局部均值算法中高斯加权欧氏距离不能很好地反映图像高频部分像素块间的相似性,会导致图像部分边缘信息丢失。为了保留图像中更多的高频

信息,其中,  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  分别为调整相位一致相似性、梯度相似性、色度相似性的参数,取  $\alpha = \beta = \gamma = 1$ ;  $PC_m$  取  $PC_1$ 、 $PC_2$  中对应点的较大值。

将式(7)中的高斯加权欧氏距离与式(14)相乘可以得到一种新的权重函数,即为:

$$\omega(i,j)=\exp(-\frac{d(i,j)}{h^2})*FSIMC$$

(15)

利用新的权重函数获得块与块之间的权重,然后分别对 RGB 三通道内所对应图像块中所有的像素点进行滤波,最后平均被估计的点就得到整幅图像。

## 4 实验及分析

在进行算法的仿真时,匹配块和搜索区域的大小是影响算法复杂度和相似点相似度的主要因素,采用经验值  $7 * 7$  的匹配块和  $21 * 21$  的搜索区域,这样既能保证取得较为理想的去噪效果,又可以节省时间。分别对 4 幅彩色图片 Lena、Pepper、Airplane、House 进行滤波,然后对处理后的图片进行比较。在计算 PSNR 时,对三通道分别求 PSNR,然后取平均。FSIMC 采用相同的方法计算。

表 1 给出了  $\sigma$  分别为 10、20 时快速非局部均值算法和改进算法滤波后的 PSNR 和 FSIMC。由滤波结果可以看出,改进算法在 PSNR 和 FSIMC 方面优于快速非局部均值算法。

图 1 给出了  $\sigma$  为 20 时的去噪结果。对于 Lena 图像,比较两种方法的去噪结果以及它们的局部放大区域,改进算法在去除噪声的同时保留了更多的图像细节。

表 1 不同  $\sigma$  时快速 NLM 和改进算法滤波后 PSNR 和 FSIMC 的比较

图像	噪声水平	加噪图像	Fast NLM		新算法	
			PSNR	FSIMC	PSNR	FSIMC
Lena	10	28.133 9	33.570 4	0.969 8	34.007 8	0.979 7
	20	22.116 9	30.732 3	0.938 5	31.299 3	0.959 7
Pepper	10	28.120 0	32.493 3	0.975 6	32.962 5	0.983 4
	20	22.116 8	30.383 5	0.954 0	30.761 8	0.968 2
Airplane	10	28.120 0	33.540 0	0.961 3	33.912 1	0.977 1
	20	22.114 5	30.500 8	0.920 1	31.071 3	0.950 1
House	10	28.130 4	29.077 0	0.967 2	29.642 6	0.980 3
	20	22.113 8	26.244 1	0.927 4	27.029 6	0.957 9

信息,在快速非局部算法的高斯加权欧氏距离的基础上,引入 FSIMC 构建了一种新的权重函数算法,更好地利用彩色图像的边缘特征和色度信息。实验结果表明,该算法比快速非局部均值算法在 PSNR 和 FSIMC 方面均有提高,同时保留了更多的图像细节。




图 1 去噪结果

## 参考文献:

- [1] 沈德海,侯建,鄂旭,等.一种改进的加权均值滤波算法[J].现代电子技术,2015,38(10):1-3.
- [2] 陈乃金,周鸣争,潘冬冬.一种新的维纳滤波图像去高斯噪声算法[J].计算机系统应用,2010,19(3):111-114.
- [3] 杨居义.基于第2代 Curvelet 变换的彩色图像去噪[J].计算机工程,2010,36(5):207-209.
- [4] 张晓威,朱磊,刘军.多小波图像去噪算法的研究[J].哈尔滨工程大学学报,2007,28(5):594-598.
- [5] 张云强,张培林,王国德,等.基于曲波变换和色度模型的彩色图像去噪[J].中国图象图形学报,2012,17(12):1472-1477.
- [6] Buades A, Coll B, Morel J M. A non-local algorithm for image denoising [C]//IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition. [s. l.]: IEEE, 2005:60-65.
- [7] Buades A, Coll B, Morel J M. A review of image denoising algorithms, with a new one[J]. SIAM Journal on Multiscale Model Simulation, 2005, 4(2):490-530.
- [8] Wang J, Guo Y, Ying Y, et al. Fast non-local algorithm for image denoising [C]//International conference on image processing. [s. l.]: IEEE, 2006:1429-1432.
- [9] 郭全占,司丹丹,胡园园,等.基于非局部均值的彩色图像去噪[J].现代电子技术,2013,36(22):81-84.
- [10] Salmon J. On two parameters for denoising with non-local means[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2010, 17(3):269-272.
- [11] 蔡斌.非局部均值去噪算法研究[D].合肥:中国科学技术大学,2015.
- [12] 王志明,张丽.自适应的快速非局部图像去噪算法[J].中国图象图形学报,2009,14(4):669-675.
- [13] 王林.基于非局部均值的图像去噪方法研究[D].西安:西安电子科技大学,2014.
- [14] Zhang Lin, Zhang D, Mou X, et al. FSIM: a feature similarity index for image quality assessment[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2011, 20(8):2378-2386.
- [15] Kovess P. Image features from phase congruency[J]. Journal of Computer Vision Research, 1999, 1(3):2-27.

## 非局部均值的彩色图像去噪方法改进

作者: [张丽红](#), [焦韶波](#), [ZHANG Li-hong](#), [JIAO Shao-bo](#)  
作者单位: [山西大学 物理电子工程学院, 山西 太原, 030006](#)  
刊名: [计算机技术与发展](#)   
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)  
年, 卷(期): 2017, 27(10)

本文链接: [http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wjfz201710009.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201710009.aspx)