

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 **10**
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会主办
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年10月 第17卷 第10期(总第198期)

目次

综述

张量值图像插值方法综述 邵宇, 刘莹, 孙富春(1197)

图像处理和编码

利用模运算及其周期性特点的安全隐写算法 廖琪男(1206)

结合快速融合与颜色传递的双波段夜视图像染色 李郁峰, 冯晓云, 徐铭蔚, 黄文丽(1213)

Weber 定律下尺度空间的自适应构建 刘立, 张瑞军, 万亚平, 黄欣阳, 彭复员(1222)

改进权值函数的非局部均值去噪算法 单建华(1227)

图像分析和识别

非相相似度保持投影 陈才扣, 侯钰(1232)

非正交二值子空间模板表示的并行生成 杨培, 武港山, 杨扬, 任桐炜(1237)

Adaboost 和随机图划分的无监督图像分类 李巍, 杨素锦, 段晓华(1245)

aiNet 背景抑制的单帧红外弱小目标检测 陈炳文, 王文伟, 秦前清(1252)

韦伯-中心环绕结构的图像显著性检测模型 林丽莉, 周文晖(1261)

气象传真图信息提取 李存东, 肖传毅, 潘海朗, 陈日清, 杨劲松(1268)

图像理解和计算机视觉

多要素空间场景相似性匹配模型及应用 宋腾义, 汪闽(1274)

计算机图形学

Delaunay 三角网通用合并算子及分治算法的简化 刘永和, 冯锦明, 郭维栋, 田根, 金毅(1283)

基于 Laplace 谱嵌入和 Mean Shift 的三角网格一致性分割 马亚奇, 李忠科, 赵静(1292)
 断裂面匹配的破碎刚体复原 李群辉, 周明全, 耿国华(1298)

虚拟现实与增强现实

核爆炸外观景象实时模拟 郑涛, 徐晓刚, 邵承永(1305)

医学图像处理

全局脑白质纤维群智能跟踪算法 冯远静, 王哲进, 张贵军, 俞立(1312)

遥感图像处理

对偶四元数线阵遥感影像几何定位 盛庆红, 姬亭, 刘微微, 王惠南(1319)

修正安装矩阵提高 FY-3B/MERSI 的地理定位精度 吴荣华, 杨忠东, 关敏, 李翔翔(1327)

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健

月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 10 期

2012 年 10 月 16 日出版

主管单位 中国科学院
主 办 中国科学院遥感应用研究所
 中国图象图形学学会
 北京应用物理与计算数学研究所
主 编 李小文
编辑出版 《中国图象图形学报》编辑出版委员会
 北京 9718 信箱 邮编 100101
 电子信箱:jig@irsa.ac.cn
 电话:010-64807995 010-82614429
 网 址:www.cjig.cn
印刷装订 北京北林印刷厂
广告经营许可证 京朝工商广字第 0346 号
总 发 行 北京报刊发行局
订 购 全国各地邮局
国外发行 中国国际图书贸易总公司
 (中国国际书店)
 (北京 399 信箱 邮编 100044)

Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Institute of Remote Sensing Application,
 CAS China Society of Image and Graphics
 Institute of Applied Physics and Computational
 Mathematics
Chief editor LI Xiaowen
Editor, Publisher Editorial and Publishing Board
 of Journal of Image and Graphics
 (P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)
 E-mail:jig@irsa.ac.cn
Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers
 and Journals
Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading Corporation
 (P. O. Box 399, Beijing 100044, China)
Printed by Beijing Beilin Printing House

ISSN 1006-8961 CN11-3758/TB CODE ZTTFXZ 国内邮发代号: 82-831 国外发行代号: M1406 国内定价: 45.00 元

Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 10 October 2012

Contents

Review

Overview of tensor valued images interpolation technology Shao Yu, Liu Ying, Sun Fuchun (1197)

Image Processing and Coding

Secure steganography based on modulo and its cyclical characteristic Liao Qinan (1206)

Night vision dual-band images coloration using fast fusion and color transfer
..... Li Yufeng, Feng Xiaoyun, Xu Mingwei, Huang Wenli (1213)

Adaptive algorithm of scale-space construction method based on Weber's law
..... Liu Li, Zhang Ruijun, Wan Yaping, Huang Xinyang, Peng Fuyuan (1222)

Non-local means denoising algorithm with enhanced weight function Shan Jianhua (1227)

Image Analysis and Recognition

Dissimilarity preserving projection Chen Caikou, Hou Yu (1232)

Parallel algorithm for generating template representation based on non-orthogonal binary subspace
..... Yang Pei, Wu Gangshan, Yang Yang, Ren Tongwei (1237)

Unsupervised image categorization based on Adaboost and stochastic graph partition Li Wei, Yang Sujin, Duan Xiaohua (1245)

Infrared dim target detection in single image based on background suppression by aiNet
..... Chen Bingwen, Wang Wenwei, Qin Qianqing (1252)

Image saliency detection model with Weber's law based on center-surround structure Lin Lili, Zhou Wenhui (1261)

Information extraction from meteorological facsimile maps
..... Li Cundong, Xiao Chuanyi, Pan Hailang, Chen Riqing, Yang Jinsong (1268)

Image Understanding and Computer Vision

Multi-feature based spatial scene matching model and its application Song Tengyi, Wang Min (1274)

Computer Graphics

Merging planar Delaunay triangulations based on universal operators and the implementation of a divide-conquer algorithm
..... Liu Yonghe, Feng Jinming, Guo Weidong, Tian Gen, Jin Yi (1283)

Consistence segmentation of triangle mesh using Laplace spectral embedding and Mean Shift
..... Ma Yaqi, Li Zhongke, Zhao Jing (1292)

Reassembly of broken 3D solids based on fractured surfaces matching Li Qunhui, Zhou Mingquan, Geng Guohua (1298)

Virtual Reality and Augmented Reality

Real-time simulation of nuclear explosion scene Zheng Tao, Xu Xiaogang, Shao Chengyong (1305)

Medical Image Processing

Global white matter tractography using swarm optimization Feng Yuanjing, Wang Zhejin, Zhang Guijun, Yu Li (1312)

Remote Sensing Image Processing

Geo-positioning line-array CCD images with dual quaternion Sheng Qinghong, Ji Ting, Liu Weiwei, Wang Huinan (1319)

Improved FY-3B/MERSI geolocation accuracy using installation matrix
..... Wu Ronghua, Yang Zhongdong, Guan Min, Li Xiangxiang (1327)

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2012)10-1227-05

论文引用格式: 单建华. 改进权值函数的非局部均值去噪算法[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(10): 1227-1231.

改进权值函数的非局部均值去噪算法

单建华

安徽工业大学机械工程学院, 马鞍山 243032

摘要: 针对非局部均值图像去噪算法在边缘处权值的不合理性, 结合双边滤波算法, 改进了权值函数。分析了空域中各种去噪算法中权重计算方法, 指出非局部均值算法中权重计算方法不能区分边缘两边图像块对边缘处图像块的差异。为了度量这种差异, 本文算法借鉴双边滤波思想, 强调图像块中心像素地位, 改进了权重函数。大量去噪实验结果表明, 本文算法去噪后的 PSNR 值比经典 NLM 算法有较大改进, 比最新改进 NLM 算法也有一定提高。

关键词: 图像去噪; 非局部均值; 高斯白噪声; 双边滤波

Non-local means denoising algorithm with enhanced weight function

Shan Jianhua

Dept. mechanical engineering, Anhui University of Technology, Ma'anshan 243032, China

Abstract: The weight function of the non-local means denoising method has a certain degree of irrationality at edges, in which cannot distinguish between the denoising roles of the patches at the two sides of an edge. However, when the center pixel of the patch gets more attention, the different denoising roles can be measured. In the light of the bilateral filtering method, the weight function of the non-local means method is revised. Experimental results on several images show that our new method greatly outperforms the classical non-local means method, and it has certain advantages over the latest improved non-local means method.

Key words: image denoising; non-local means; gauss white noise; bilateral filtering

0 引言

数字图像在采集、转换及传输过程中会不可避免地受到噪声的污染, 造成图像质量的退化, 使得图像的后期处理如分割、特征提取和目标识别等变得困难, 因此图像去噪一直是图像处理领域的一个重要研究课题。许多实际噪声可以近似为高斯分布的白噪声, 去除图像中叠加的高斯白噪声成为图像去噪研究的一个重要方向。理想去噪算法需达到如下几个目标^[1]:

1) 图像平滑区需尽可能光滑, 噪声应该被完全

滤除;

2) 图像边缘和角点应该保留, 不能被模糊或强化;

3) 纹理细节不能丢失, 这是最难达到的标准之一;

4) 图像整体对比度不能改变;

5) 去噪图像不能引入人造特征, 如阶梯 (staircase) 和光环 (ringing)。

为了寻找理想去噪算法, 研究人员进行了长达几十年的研究, 提出许多算法。目前以基于小波变换^[2-3]和偏微分方程 (PDE)^[4-5]为两大类去噪算法。基于小波变换的去噪方法具有良好地保留纹理细节

收稿日期: 2012-02-07; 修回日期: 2012-03-29

基金项目: 高等学校省级优秀青年人才基金项目 (2010SQRL036ZD)

第一作者简介: 单建华 (1979—), 男, 副教授, 2007 年于中国科学技术大学获精密仪器专业博士学位, 从事数字图像研究。E-mail: saint-davidshan@gmail.com

能力,但易引入光环人造特征。基于 PDE 的去噪算法利用梯度算子进行各向异性扩散,迭代进行,达到去噪和保留细节,但易引入阶梯人造特征。

传统的空域去噪算法是基于单个像素的灰度相似性如双边滤波^[6]或单个像素的梯度信息如 PDE 方法,均不能很好地保留弱边缘和纹理细节。自从 2005 年 Buades 等人提出非局部均值(NLM)去噪算法^[7],邻域相似性被广泛的应用在图像去噪中。由于 NLM 算法利用局部图像块(patch)信息,能比单个像素更好地表达图像结构信息,故其性能优于其他经典去噪算法,如双边滤波、PDE、全变差滤波^[8]以及基于小波的方法等。

NLM 算法基本思想是:当前像素值由图像中所有与它结构相似的像素加权平均得到。对于每个像素的权值,采用以它为中心的图像块与以当前像素为中心的图像块之间的高斯加权欧氏距离来计算。其优势是在估计当前像素值时,局部结构上与其相似的像素权重较大,而结构相似像素上叠加的噪声是随机的,因而通过加权均值可有效去除噪声。

NLM 算法本质仍与空域经典去噪算法相似,即每个像素值通过加权得到。每种去噪算法的不同点在于权值确定的方法不同,权值函数一般都取高斯函数,不同点只是变量不同。如高斯滤波,变量为像素空间欧氏距离,离中心像素点近的像素权重大,距离远的像素权重小。如邻域滤波,变量为像素灰度距离,与中心像素点灰度差小的像素权重大,灰度差大的权重小。双边滤波算法综合考虑了空间距离和灰度距离,滤波效果优于高斯滤波和邻域滤波。基于 PDE 的方法,权值由中心像素与相邻像素的梯度获得,本质上与邻域滤波相似。他们都是利用单个像素信息进行去噪。NLM 算法则利用图像块信息进行权值计算,综合考虑了像素空间欧氏距离和灰度距离,故去噪效果优于上述方法。国内外众多学者对经典 NLM 算法进行了各种改进^[9-12]。

NLM 算法计算权值过程中,存在一定的不合理,即对图像块中心像素的关注度不高,造成边缘模糊。本文在分析 NLM 权值缺点的基础上,着重考虑了图像块中心像素作用,获得了性能较大的提高。

1 非局部均值去噪算法

给定一幅离散含噪图像 $z = \{z(i) \mid i \in I\}$, $z(i) = f(i) + n(i)$, 其中 f 为未受噪声污染的源图

像, n 为噪声, I 表示图像域。对于任何一个像素 i , 非局部均值的方法利用图像中所有像素值的加权平均来得到该点的估计值,即

$$NLM(i) = \sum \omega(i,j)z(j), j \in I \quad (1)$$

式中,权值 $\omega(i,j)$ 由像素 i 与 j 之间的相似性确定,并满足 $0 \leq \omega(i,j) \leq 1$ 且 $\sum \omega(i,j) = 1, j \in I$ 。两个像素 i 与 j 之间的相似性由灰度值向量 $z(N_i)$ 与 $z(N_j)$ 之间的相似性决定,其中 N_i 表示以像素 i 为中心的图像块。各图像块灰度值向量之间的相似性通过高斯加权的欧氏距离来衡量,即

$$d(i,j) = \|z(N_i) - z(N_j)\|_{2,a}^2 \quad (2)$$

式中, $a > 0$ 为高斯核函数的标准差。

由欧氏距离表示的权值定义为

$$\omega(i,j) = \frac{1}{C(i)} \exp(-d(i,j)/h^2) \quad (3)$$

式中,参数 h 控制指数函数的衰减速度,决定滤波程度,一般取固定值; $C(i) = \sum \exp(-d(i,j)/h^2)$, $j \in I$ 为归一化因子。权值函数采用指数形式,本质上也是高斯函数, h 可理解为标准差。式(3)中,当 $j=i$ 时,会发生过加权现象,为解决这个问题,计算

$$\omega(i,i) = \max(\omega(i,j)), \forall j \neq i \quad (4)$$

权值由 $d(i,j)$ 决定,由 2.1 节分析可知,式(2)中心像素 i 并未被特别突出,导致其在边缘处不合理,使边缘模糊。

实际计算过程中,为避免计算量太大,参与加权的并非图像中所有像素,而是中心像素周围一定大小的区域,如文献[7]中 21×21 像素区域来计算,称为搜索窗口。

2 改进的权值函数

2.1 经典权值函数的缺点

如图 1,考虑未受噪声污染的边缘图像,分别计算图像块 j 和图像块 k 与图像块 i 的相似度 $d(i,j)$ 和 $d(i,k)$ 。图像块 i 的中心像素 i 位于黑色区域,图像块 j 的中心像素 j 位于白色区域,图像块 k 的中心像素 k 位于黑色区域。

由图 1 可见,中心像素 j 与中心像素 i 完全不相似,中心像素 k 与中心像素 i 完全相似。理想情况下 $\omega(i,j) \ll \omega(i,k)$;但是根据式(2)计算有 $d(i,j) \approx d(i,k)$,从而 $\omega(i,j) \approx \omega(i,k)$,这样根据式(1)加权,会导致边缘模糊。这是因为图像块 j 与图像块 i

左边相似,右边不相似;而图像块 k 相反,左边不相似,右边相似;故总体上图像块 j 和 k 与图像块 i 相似度近似相等。以上分析可知,根据式(2)计算的相似度,不能度量边缘两边的图像块 j 和 k 对边缘处图像块 i 的差异。为了区分这样差异,可以考虑图像块中心像素的灰度差异。

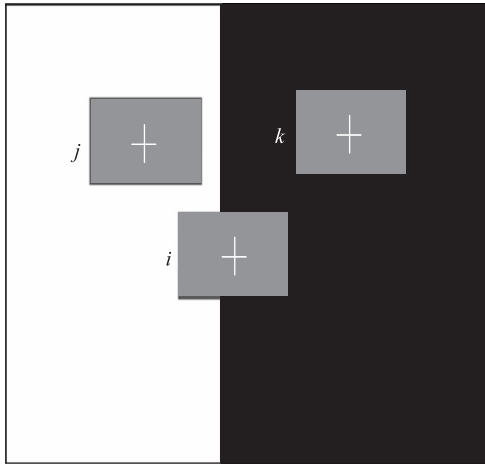


图 1 图像边缘处权值分析
Fig.1 Analysis of weight at edge

2.2 改进权值函数

为了度量图像块中心像素的灰度差异,可借鉴双边滤波^[6]的思想,任一像素 i 的估计值为

$$BF(i) = \frac{1}{C(i)} \sum [z(j) \exp(-D(i,j)^2/\rho^2) \times \exp(-|z(j) - z(i)|^2/g^2)], j \in I \quad (5)$$

式中, $C(i)$ 为归一化因子; $D(i,j)$ 为像素 i,j 的空间欧氏距离,度量像素位置差异对权值的影响; $|z(j) - z(i)|$ 为像素 i,j 的灰度距离,度量像素灰度差异对权值的影响,其值与 $|f(j) - f(i)|$ 越接近,去噪效果越好。在噪声方差较小时, $|z(j) - z(i)|$ 能较好估计 $|f(j) - f(i)|$; 噪声方差大时, $|z(j) - z(i)|$ 不能很好估计 $|f(j) - f(i)|$, 甚至会得到错误的结果。采用像素 i 的 3×3 邻域算术平均值 $Z(i)$ 代替 $z(i)$, 能更好地估计 $f(i)$ 。

故考虑图像块中心像素灰度差异的权值计算公式为

$$\omega(i,j) = \frac{1}{C(i)} \sum [\exp(-d(i,j)/h^2) \times \exp(-D(i,j)^2/\rho^2) \times \exp(-|Z(j) - Z(i)|^2/g^2)], j \in I \quad (6)$$

式中

$$C(i) = \sum [\exp(-d(i,j)/h^2) \times$$

$$\exp(-D(i,j)^2/\rho^2) \times \exp(-|Z(j) - Z(i)|^2/g^2)], j \in I \quad (7)$$

3 实验结果

对 5 幅典型图像 (Lena, peppers, barbara, boat, couple), 尺寸均为 512×512 , 叠加均值为 0、标准差 σ 不同的高斯白噪声, 去噪性能客观评价标准是去噪算法处理结果图像与原始未加噪声图像的峰值信噪比 (PSNR), 即

$$PSNR = 10 \lg(255^2/MSE)$$

$$MSE = \frac{1}{s(I)} \sum_{i \in I} (z'(i) - f(i))^2 \quad (8)$$

式中, $s(I)$ 为图像像素的个数, $z'(i)$ 表示去噪图像的灰度值。实验中参数均固定如下: 搜索窗口为 15×15 , 相似窗口为 7×7 ; 参数 ρ 取搜索窗口半径 8, $g^2 = 300 + \sigma^2$, $h^2 = \sigma^2$ 。

由于 NLM 算法去噪效果优于大部分算法, 故只比较了经典 NLM 算法 (cNLM)^[7] 和 NLM 算法提出者 Buades 最新改进结果 (nNLM)^[13]。为了公平比较, cNLM 算法使用参数与本文算法完全一致, nNLM 算法采用网上程序^[13], 结果如表 1, 表中第 4 行 IMR 数据为本文算法 PSNR 值相对于经典 NLM 算法的提高率 (%)。分析表中数据可知, 对所有的 5 幅图像, 本文算法比经典 NLM 算法效果均有较大

表 1 不同算法去噪后 PSNR 值比较

Table 1 Comparison for various methods in PSNR

σ	算法	Lena	peppers	boat	couple	barbara
10	cNLM	34.74	33.77	32.38	32.48	33.47
	nNLM	34.36	33.89	32.93	32.87	33.19
	NEW	35.01	33.96	32.75	32.82	33.63
	IMR/%	7.7	5.6	11.4	10.5	4.7
20	cNLM	31.53	31.30	29.27	28.87	29.90
	nNLM	31.60	31.36	29.69	29.54	30.17
	NEW	32.01	31.62	30.01	29.70	30.24
	IMR/%	15.2	10.2	25.3	28.7	11.4
30	cNLM	29.40	29.35	27.24	26.57	27.37
	nNLM	29.52	29.39	27.65	27.25	28.05
	NEW	29.90	29.68	28.09	27.59	27.80
	IMR/%	17.0	11.2	31.2	38.4	15.7

改进,这表明了本文算法提出的改进权值函数的有效性,随着噪声标准差的增加,改进的程度均有所提高,但增幅降低。

分析去噪效果与图像类型的关系,选取两种典型的图像类型:图像细节很少,以 peppers 和 Lena 为代表;图像细节很多,以 boat 和 couple 为代表。从表中数据可看出,细节少的图像类型的去噪提高率低于细节多的图像类型。原因如下:细节少的图像,边缘处像素所占比例少,出现本文前述的边缘处权值缺点的数目少,故改进权值函数发挥作用的机会少,提高率不高;而细节多的图像,情况相反,边缘像素增多,改进权值函数发挥作用的机会增多,提高率增加。这进一步验证了本文算法的改进权值函数的作用。随着噪声的增加,边缘像素在增加,故本文算法的提高率也会增加,这与实验数据一致。

barbara 图像有点另类,从去噪效果看,其细节丰富程度位于中间,但去噪提高率却和细节少的图

像类型一致。分析原因如下:barbara 图像中妇女衣服、窗帘和桌布含有细小纹理,占到整个图像面积的一半左右;剩下区域都是无细节的地面和皮肤等。这说明本文算法对细小纹理区域的去噪提高效果和无细节区域较一致,改进权值函数对于细小纹理区域达不到作用。

本文算法效果比最新改进结果也有一定的提高,只在 3 种情况有所下降。注意到,PSNR 数值的提高都是较小的,这说明经典 NLM 算法效果已相当好,要有进一步的提高是相当困难的。

图 2 和图 3 分别给出 Lena 图像和 pepper 图像部分在噪声标准差为 20 时去噪效果。对比本文算法和经典方法的去噪图像,头发纹理区域细节保留能力提高明显,辣椒均匀区域细节保留能力几乎一样,这样前面分析一致。本文算法和最新 NLM 细节保留能力不相上下,都达到了很好的效果。



(a) 原始图像 (b) 噪声图像 (c) 经典NLM (d) 最新NLM (e) 本文算法

图 2 Lena 假发纹理部分图像去噪效果($\sigma = 20$)

Fig. 2 Part of Lena image denoised results($\sigma = 20$)



(a) 原始图像 (b) 噪声图像 (c) 经典NLM (d) 最新NLM (e) 本文算法

图 3 pepper 部分图像去噪效果($\sigma = 20$)

Fig. 3 Part of pepper image denoised results($\sigma = 20$)

综上所述,本文改进权值函数方法不太适应于低噪声密度下,纹理特别少或纹理特别细腻的图像类型,因为此时去噪提高率低于 1%。

最后,本文算法和经典 NLM 算法流程完全一致,只是增加了求 3×3 邻域均值过程,和在计算权值时增加了两个指数函数的计算量,这些新增计算量相对于经典 NLM 算法计算量是较小的,故本文算法复杂度和经典 NLM 算法基本一致。

4 结 论

分析了空域中各种去噪算法中权重计算方法,指出非局部均值算法中权重计算方法在边缘处的不合理处,即不能区分边缘两边图像块对边缘处图像块的差异。为了度量这种差异,本文算法强调了图像块中心像素地位,借鉴双边滤波思想,改进了权重函数。大量去噪实验结果表明,本文算法比经典 NLM 算法有较大改进,比最新改进 NLM 算法也有一定提高。

参考文献 (References)

- [1] Liu C, Szeliski R, Kang S B, et al. Freeman, Automatic estimation and removal of noise from a single image [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2008, 30(2): 299-314.
- [2] Donoho D L, Johnstone I M. Ideal spatial adaptation via wavelet shrinkage [J]. Biometrika, 1994, 81(3): 425-455.
- [3] Luisier F, Blu T. SURE-LET multichannel image denoising: interscale orthonormal wavelet thresholding [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2008, 17(4): 482-492.
- [4] Perona P, Malik J. Scale-space and edge detection using an isotropic diffusion [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machines Intelligence, 1990, 12(7): 629-639.
- [5] Bai J, Feng X C. Fractional-order anisotropic diffusion for image denoising [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2007, 16(10): 2492-2502.
- [6] Tomasi C, Manduchi R. Bilateral filtering for gray and color images [C]. Proceedings of the International Conference on Computer Vision. Bombay, India: IEEE, 1998: 839-846.
- [7] Buades A, Coll B, Morel J M. A non-local algorithm for image denoising [C]// Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. San Diego, CA, USA: IEEE, 2005: 60-65.
- [8] Rudin L I, Osher S, Fatemi E. Nonlinear total variation based noise removal algorithms [J]. Physica D, 1992, 60: 259-268.
- [9] Chen Q, Sun Q S, Xia D S. Homogeneity similarity based image denoising [J]. Pattern Recognition, 2010, 43: 4089-4100.
- [10] Grewenig S, Zimmer S, Weickert J. Rotationally invariant similarity measures for nonlocal image denoising [J]. J. Vis. Commun. Image R, 2011, 22: 117-130.
- [11] Wang Z M, Zhang L. An adaptive fast non local image denoising algorithm [J]. Journal of Image and Graphics, 2009, 14(4): 669-675. [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.]
- [12] Sun W F, Peng Y H. An improved non-local means denoising approach [J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(4): 923-928. [孙伟峰, 彭玉华. 一种改进的非局部平均去噪方法 [J]. 电子学报, 2010, 38(4): 923-928.]
- [13] Buades A, Coll B, Morel J M. Non-local Means Denoising. [EB/OL]. (2011-09-13) [2012-01-23]. www.ipol.im/pub/algorithm/bcm_non_local_means-denoising/. DOI: 10.5201/ipol.2011.bcm_nlm.