

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 **2**
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2月 第17卷 第2期(总第190期)

目次

综述

内容感知图像缩放技术综述 施美玲,徐丹(157)

图像处理和编码

引入纹理相似性的纺织品图像增强 杨学志,田晓梅,方静,卢洁(169)

保持边缘特征和增强对比度的图像缩放算法 计忠平,方美娥,王毅刚,吴向阳(178)

以图像认证为目的的分形编码数字水印算法 黄晓晴,于盛林(183)

结合运动矢量和像素递归的全局运动估计方法 赵亚湘,刘少强,樊晓平(191)

无缝栅格数据小波金字塔构建 马伯宁,冷志光,汤晓安,匡纲要(197)

图像分析和识别

伪彩色空间完全非结构化道路检测方法 胡晓辉,孙苗强,苏晓许(203)

未知环境下机器人障碍物检测技术 王文格,武凯宾,朱江,段文彬,许重阳(209)

局部 GAC 模型在医学图像分割中的应用 张建伟,方林,陈允杰,詹天明,罗春燕(215)

判别割(Dcut)的图像分割及其快速分割算法 邹小林,陈伟福,冯国灿(222)

改进的遮挡条件下瞳孔检测方法 潘林,魏丽芳,郑炳锜,余轮(229)

木材显微图像的局部水平集分割方法 汪杭军,祁亨年(236)

关键点检测的线要素综合算法 黄志坚,张金芳,徐帆江(241)

GPU 加速的高分辨率 DEM 图像地形特征线提取算法 刘洲俊,胡包钢(249)

改进 GVF 的自动 Snakes 模型 周亚男,程熙,骆剑承,沈占锋,胡晓东(256)

曲波变换用于磨粒图像不变矩的提取 张云强,张培林,任国全,王国德,徐超,李兵(263)

图像理解和计算机视觉

深度图像中基于轮廓曲线和局部区域特征的 3 维物体识别 吴莉婷,张宇,杨一平,田原(269)

机载 LiDAR 数据的 LZD 航带平差 王丽英,宋伟东(279)

计算机图形学

基于 Z 曲线的瓦片地图服务空间索引 聂云峰,周文生,舒坚,许虎(286)

虚拟现实和增强现实

GPU 加速的台风可视化方法 秦绪佳,张勤锋,陈坚,郑红波,徐晓刚(293)

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健 月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 2 期

2012 年 2 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: 010-68407995 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

Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 2 February 2012

Contents

Review

Survey on content-aware image resizing techniques Shi Meiling, Xu Dan (157)

Image Processing and Coding

Enhancement of textile image with texture similarity Yang Xuezhi, Tian Xiaomei, Fang Jing, Lu Jie (169)

Edge-preserving and contrast-enhancement image scaling Ji Zhongping, Fang Mei'e, Wang Yigang, Wu Xiangyang (178)

Watermarking method on fractal coding for image authentication Huang Xiaoqing, Yu Shenglin (183)

Global motion estimation method with motion vectors and pixel recursion Zhao Yaxiang, Liu Shaoqiang, Fan Xiaoping (191)

Seamless wavelet pyramid construction for raster data Ma Boning, Leng Zhiguang, Tang Xiao'an, Kuang Gangyao (197)

Image Analysis and Recognition

Completely unstructured road detection for pseudo-color space Hu Xiaohui, Sun Miaoqiang, Su Xiaoxu (203)

Obstacle detection for robot in unknown environment
..... Wang Wenge, Wu Kaibin, Zhu Jiang, Duan Wenbin, Xu Chongyang (209)

Application of local GAC model for medical image segmentation
..... Zhang Jianwei, Fang Lin, Chen Yunjie, Zhan Tianming, Luo Chunyan (215)

Fast image segmentations of Deut Zou Xiaolin, Chen Weifu, Feng Guocan (222)

Improved method for the pupil measurement under occlusion Pan Lin, Wei Lifang, Zheng Bingkun, Yu Lun (229)

Segmentation method of wood microscopic image based on local level set Wang Hangjun, Qi Hengnian (236)

Algorithm of line generalization with key point detection Huang Zhijian, Zhang Jinfang, Xu Fanjiang (241)

High resolution DEM topographic feature line extraction algorithm using GPU Liu Zhoujun, Hu Baogang (249)

Automatic snakes model based on modified GVF Zhou Yanan, Cheng Xi, Luo Jiancheng, Shen Zhanfeng, Hu Xiaodong (256)

Invariant moment extraction by curvelet transform for wear particle images
..... Zhang Yunqiang, Zhang Peilin, Ren Guoquan, Wang Guode, Xu Chao, Li Bing (263)

Image Understanding and Computer Vision

Three-dimensional free-form object recognition based on contour curve and local surface patches in range images
..... Wu Liting, Zhang Yu, Yang Yiping, Tian Yuan (269)

Least Z-difference strip adjustment of airborne LiDAR data Wang Liying, Song Weidong (279)

Computer Graphics

Spatial index for tile map service based on Z curve Nie Yunfeng, Zhou Wensheng, Shu Jian, Xu Hu (286)

Virtual Reality and Augmented Reality

GPU accelerated typhoon visualization method Qin Xujia, Zhang Qinfeng, Chen Jian, Zheng Hongbo, Xu Xiaogang (293)

中图分类号: TP301.6 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2012)02-0169-09

论文引用格式: 杨学志, 田晓梅, 方静, 卢洁. 引入纹理相似性的纺织品图像增强 [J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(2): 169-177

引入纹理相似性的纺织品图像增强

杨学志, 田晓梅, 方静, 卢洁

合肥工业大学计算机与信息学院, 合肥 230009

摘要: 纺织品图像增强能够突出其纹理特性, 便于纺织品的人工检测和机器视觉检测。提出一种在非局部均值滤波(NLM)框架下的纺织品图像纹理增强方法。纺织品图像具有规则周期的纹理, 存在大量的冗余信息, NLM可利用这一特性来增强图像的纹理信息。但由于纺织品图像结构复杂且存在噪声, 导致在NLM中相似性的度量不够准确。为解决这一问题, 通过采用主分量分析(PCA)将纺织品图像分解为图像信息分量和噪声分量, 并去除各分量间的相关性, 来提高纺织品纹理间相似性度量的准确性。实验结果表明, 本文方法比现有的纺织品图像纹理增强方法的增强效果有显著提高。

关键词: 纺织品图像; 纹理增强; 非局部均值滤波; 主分量分析

Enhancement of textile image with texture similarity

Yang Xuezhi, Tian Xiaomei, Fang Jing, Lu Jie

School of Computer and Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China

Abstract: Textile image enhancement aims to extract textural features of textiles which facilitates manual testing and machine vision inspection of textile. In this paper, a method for textile image enhancement is proposed in the framework of non-local means (NLM) filtering. Due to the periodic nature of textiles, there exists a lot of redundant information in textile images which can be used to enhance the texture information. However, the complex structures of textile images as well as the presence of image noise tend to distort similarity measures of the NLM algorithm. To solve this problem, principal component analysis (PCA) is used to decompose textile images into information components and noise components, and remove the correlation between the components for improving the accuracy of the similarity measure between textile textures. The experimental results demonstrate that the proposed method has substantially improved the performance of texture enhancement relative to the existing texture enhancement methods.

Key words: textile image; texture enhancement; non-local means; principal component analysis

0 引言

质量检测是工业纺织品生产的重要环节, 然而, 人工方式的检测结果受到检测者的主观经验、判断力和注意力的严重影响, 所以, 纺织品的自动检测受

到越来越多的关注^[1-2]。由于成像系统中获取的纺织品图像受到噪声、织物材质以及细小绒线等的干扰, 严重影响了检测结果, 因此, 有必要对纺织品图像的纹理进行增强。纺织品图像增强的目的是去除图像中由噪声、材质以及细小绒线等引起的干扰, 恢复纺织品固有的组织纹理信息, 同时突显其织物结

收稿日期: 2011-04-17; 修回日期: 2011-06-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(60672120, 41076120, 61005007); 安徽省优秀青年科技基金项目(10040606Y09); 合肥工业大学计算机与信息学院人才培养计划项目(2010HGXI0017); 安徽省人才开发基金项目(2008Z054); 教育部留学回国人员科研启动基金项目

第一作者简介: 杨学志(1970—), 男, 教授, 2003年于香港大学电机与电子工程学系获信号与信息处理专业博士学位, 研究方向为数字图像处理、模式识别及合成孔径雷达图像解译。E-mail: hfut.cv@gmail.com

构的变化,利于纺织品图像纹理特征的正确提取,从而提高检测正确率。

近十年里,纹理图像增强受到了广泛关注,可分为图像对比度增强和图像结构增强。图像对比度增强主要是扩展图像的直方图分布。常用的方法有直方图均衡化^[3]、梯度算法^[4]、基于提升小波的纹理增强方法^[5]等。这些方法拉伸了图像的灰度直方图分布,增强了图像的亮度,但对噪声的抑制能力弱,适合因亮度分布不均而导致模糊的图像的增强。图像结构的增强主要是突显图像的纹理和边缘。最新的方法有基于微分的纹理增强方法^[6-7],该方法突出了边缘的纹理信息,但对噪声敏感,适合没有噪声的图像。基于多尺度形态学重构^[8]的增强方法不仅增强了对比度,还保持了相连区域的灰度级的相关性,该方法适合一些亮度分布不均的图像,不适合噪声图像。基于知觉的纹理细节增强^[9]包括三部分:Clipped Median Filter、Sober 滤波和边缘对比度增强,该方法克服了梯度增强中的过增强和弱增强的缺陷。以上的增强方法是对一般纹理图像的增强,不适用于具有丰富、规则周期纹理结构的纺织品图像的增强。对这种特殊图像的增强方法有多尺度纹理增强^[10]和基于离散高斯滤波器的纺织品图像增强方法^[11]。前者是由 Weickert 于 1995 年提出的,主要是把各向异性扩散的方法进行了改进,然后运用到纺织品图像中,该方法保持了图像纹理的连续性。后者是包晓敏于 2005 年提出的,该方法在去除噪声的同时平滑了图像的纹理。

纺织品图像的纹理结构复杂,以上两种方法都很难保持纺织品图像的纹理信息,而非局部均值滤波^[12-13](NLM)可利用纺织品图像中的冗余信息来达到这一目的。NLM 最先由 Buades 和 Coll 提出,主要用于图像去噪。NLM 运用图像的冗余信息来恢复局部信息,即用相似的邻域像素块的线性组合来表示局部信息。与传统的去噪方法相比,该方法更适合纹理图像,在去除噪声的同时能很好的保留图像的纹理信息。纺织品图像具有规则周期的纹理,存在大量的冗余信息,用 NLM 对纺织品图像进行增强能够充分运用纺织品图像的纹理特性。

NLM 是一个基于邻域像素块的相似性的加权平均的过程。由于纺织品图像受到噪声及其结构复杂性的影响,NLM 运用于纺织品图像增强存在以下两点缺陷:1)不能精确度量邻域像素块的相似性;2)相似度的抗噪声能力弱。PCA 是一种典型的统

计分析方法,把噪声图像分解为图像信息分量和噪声分量,并去除了各分量间的相关性。因此,将原空间图像变换到 PCA 空间,在 PCA 空间计算相似性可以解决以上问题。进一步提出 PCA 和 NLM 相结合(PCA-NLM)的纺织品图像增强方法。

1 基于纹理相似性的纺织品图像增强

1.1 NLM 模型

设离散图像用 $g(i) = k(i) + n(i)$ 表示, $g(i)$ 是像素点 i 的观察值, $k(i)$ 是像素点 i 的真实值, $n(i)$ 是像素点 i 的噪声,增强后的图像表示为

$$\mu(i) = \sum_{j \in S_i} w(i,j)g(j) \quad (1)$$

式中, $w(i,j)$ 为权值,大小由像素点 i 和 j 的像素邻域的纹理相似程度决定,并满足条件 $0 \leq w(i,j) \leq 1$ 和 $\sum_j w(i,j) = 1$ 。 S_i 是以像素点 i 为中心的方形搜索窗。

设 N_i 表示以像素点 i 为中心的,大小为 $M \times M$ 的方形像素邻域(相似窗),对应的邻域特征向量 $\nu(N_i)$ 的维数为 $p = M \times M$,两像素邻域的相似程度用欧氏距离来度量,可以表示为 $\|\nu(N_i) - \nu(N_j)\|$ 。

两像素点的像素邻域越相似,欧氏距离越小,权值越大,根据此特点,像素的权值定义如下:

$$w(i,j) = \frac{1}{M(i)} e^{-\frac{\|\nu(N_i) - \nu(N_j)\|^2}{h^2}} \quad (2)$$

$M(i)$ 为标准常量:

$$M(i) = \sum_{j \in S_i} e^{-\frac{\|\nu(N_i) - \nu(N_j)\|^2}{h^2}} \quad (3)$$

式中 h 为衰减指数,控制指数函数的衰减情况,因此,权值是欧氏距离的衰减指数函数。

NLM 中像素点加权模型有两种。第 1 种模型是在文献[14]中定义的不同邻加权的模型,由于中心像素点的欧氏距离为 0,所以中心点的权值最大,近似于 1。在这种模型中,中心像素点的权值占主导地位,其他与中心像素点具有相同或非常相似的邻域像素块的像素点参与到滤波过程,但那些权值相对较小的像素点被忽略。所以在这种模型中,丢弃了一些有用信息的像素点,特别是在纹理图像中。另一种加权模型是最近邻加权模型^[15-16],即把搜索窗中所有像素点的最大权值赋给中心像素点的权值。这样就相当于减小了当前像素点和相似点的平均权值,权值较小的像素点也可以参与滤波。与第 1 种加权模型相比,在第 2 种加权模型中,具有相

似邻域像素块和具有不同邻域像素块的像素间的区别变得模糊。纺织品图像结构复杂,纹理规则,受噪声干扰,几乎很难找到具有相同的邻域像素块的像素点,但每个像素点都带有不同程度的有用信息。所以最近邻加权模型适用于纺织品图像。

1.2 实现细节

1) 搜索窗和相似窗大小 NLM 最早被定义为在整幅图像中搜索每个像素点的相似邻域点,显然这种定义的计算量大,并且对局部滤波有一定的限制。因此,本文选择带窗 NLM,其中搜索窗取 21×21 ,相似窗取 7×7 ^[12-13]。

2) 平滑衰减指数 h 参数 h 的值决定着 NLM 的平滑程度。若 h 的值太小,NLM 对噪声的抑制能力弱;若 h 的值太大,又会产生过平滑。因此选择了经验值 $0.5\delta^2$ 。其中 δ^2 为噪声方差。

1.3 NLM 运用于纺织品图像存在的问题

由于纺织品图像受到噪声及其结构复杂性的影响,将 NLM 运用于纺织品图像增强存在以下两点缺陷:1) 运用欧氏距离计算相似程度的假设条件是各邻域特征向量相互独立,但对于结构复杂的纺织品图像,各特征向量之间是不独立的,不能满足欧氏距离成立的条件,因此,不能精确度量邻域像素块的相似性;2) 在原空间定义的相似度的抗噪声能力弱。

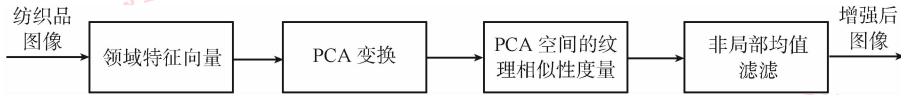


图1 PCA-NLM 的增强方法流程图

Fig. 1 Process of PCA-NLM image enhancement

2.1 基于 PCA 的纹理相似性度量

设向量 $\nu(N_i)$ 为观测到的邻域特征向量,则邻域特征向量的集合为

$$\mathbf{Z} = [\nu(N_1), \nu(N_2), \dots, \nu(N_T)] \quad (4)$$

T 为图像的像素点个数。经 PCA 变换后得到的正交空间为相关系数矩阵的特征向量空间,

$$Cr(i, j) = \text{corr}(\mathbf{Z}_i, \mathbf{Z}_j) \quad (5)$$

$$\mathbf{Z}_i = [\nu(N_1)(i), \nu(N_2)(i), \dots, \nu(N_T)(i)] \quad 1 \leq i \leq p \quad (6)$$

\mathbf{Z} 的相关系数矩阵的特征值按从大到小的顺序排列, $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_d > \lambda_{d+1} = \lambda_{d+2} = \dots = \lambda_M = \delta^2$, 对应的特征向量用 $\boldsymbol{\varepsilon}_1, \boldsymbol{\varepsilon}_2, \dots, \boldsymbol{\varepsilon}_M$ 表示。前 d 个特征向

为了克服以上缺陷,必须找到一种变换方法,把 NLM 的邻域特征向量投影到低维空间,使得变换域中各特征向量间相互独立,并在这低维空间度量相似性。图像的变换有多种方法,如:小波变换、傅里叶变换等,这些变换可以降低图像的维数。采用主分量分析(PCA)。PCA 不仅可以把图像分解为图像信息分量和噪声分量,而且各分量间互不相关。因此,用 PCA 把邻域特征向量投影到低维空间的同时去掉噪声分量,保留图像的主要特征分量,不仅减小了图像噪声,而且互不相关的特征分量能够更加准确的用欧氏距离来表示纹理间的相似程度。

2 PCA-NLM 的纺织品图像纹理增强

PCA-NLM 是在改进块间相似性度量方法后提出的纺织品图像纹理增强方法,其流程框架如图 1 所示。首先得到纺织品图像的邻域特征向量,再将邻域特征向量投射到 PCA 空间,得到新的互不相关的特征向量,然后在该 PCA 空间度量纹理的相似性,最后在 NLM 框架下计算增强后的图像。2.1 节将详细介绍如何将邻域特征向量投射到 PCA 空间,并在 PCA 空间度量纹理的相似性。

量为图像信息,其余的特征向量为噪声信息。取前 d 个主要特征成分作为图像的特征信息,此时的低维特征空间为 $\{\boldsymbol{\varepsilon}_q\}_{q=1}^d$ 。图 2 的 4 幅图显示了邻域特征向量映射到 PCA 空间不同特征向量后的信息,从图 2 可见,在第 1 个特征向量上的映射图提取了图像的平坦区域的信息,在其他特征向量上的映射提取了图像的纹理和细节信息,随着特征值的变小,对应的特征向量上的映射信息所提取的纹理和细节信息越来越弱,噪声信息越来越强。将观察到的邻域特征向量映射到低维特征空间后的特征向量为

$$\nu[d](N_i) = \{\langle \nu(N_i), \boldsymbol{\varepsilon}_1 \rangle, \langle \nu(N_i), \boldsymbol{\varepsilon}_2 \rangle, \dots, \langle \nu(N_i), \boldsymbol{\varepsilon}_d \rangle\} \quad (7)$$

式中 $\langle \rangle$ 是向量内积符号。两像素邻域的相似程度用欧氏距离表示为

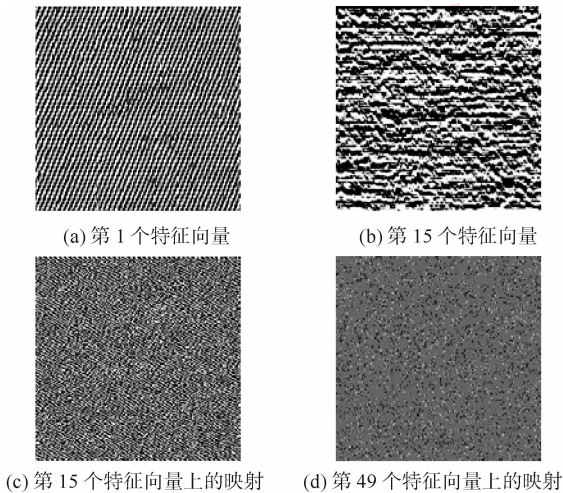


图 2 纺织品图像的邻域特征向量在不同特征向量上的映射图像

Fig. 2 Projection of the observations set on the different eigenvector of textile

$$\| \nu[d](N_i) - \nu[d](N_j) \| \quad (8)$$

2.2 基于 PCA 的相似性度量的准确性评价

以上介绍的方法的纹理相似性度量的准确性可由以下两个例子证明。

1) 噪声图像中相似块的准确定位 欧氏距离的计算公式是在两个向量间相互独立的条件下提出的,但是由于纺织品图像的结构复杂性和噪声的影响,各图像的邻域向量间是不相互独立的,所以在像素空间用欧氏距离不能准确计算两像素间的相似性。PCA 空间的各向量之间是相互独立的,满足欧氏距离的条件,因此,可以准确度量纹理的相似性。

图 3 显示了含噪声方差为 25 的纺织品图像分别在像素空间和 PCA 空间度量相似性的准确性。图 3(a) 是合成原图像,白色矩形是确定的像素。在整个图像上寻找 50 个与该像素最相似的像素点,并用白色点标示。从图 3(a) 可知该点的相似点应该在 3 条竖着的纹理上。为了能够清楚的观察,相似点在原图像上标注,如图 3(b)(c)。图 3(b) 是含噪纺织品图像在像素空间上的相似性度量结果。从图中可以看出,大部分的相似点落在了图像的平坦区域,而不是 3 条竖着的纹理上。这是因为在噪声的干扰下,原像素空间已经不能准确的度量纹理的相似性了。图 3(c) 是含噪纺织品图像在 PCA 空间上的相似性度量结果。从图中可知,相似点像我们分析的那样,几乎部分落在了 3 条竖着的纹理上。可见在 PCA 空间,欧氏距离能和期望的那样,准确地

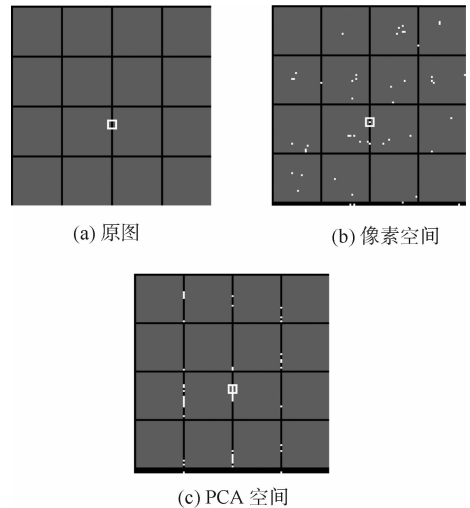


图 3 不同空间的相似性度量

Fig. 3 Similarity measure of different space

度量纹理的相似性。

2) 基于 PCA 的相似性度量的抗噪声能力 PCA 将噪声图像分解为图像信息分量和噪声分量。因此,在度量相似性时,我们去除了图像的噪声分量,也就减弱了噪声对相似性度量的干扰。

图 4 的 4 副图像显示了有噪和无噪的纺织品图像分别在像素空间和 PCA 空间的欧氏距离直方图。图中第 1 列的两幅图像分别是无噪和有噪纺织品图像在像素空间的欧氏距离直方图。在无噪的情况下,欧氏距离呈离散分布,并且分布在 $0 \sim 3000$ 。在高斯噪声情况下,欧氏距离完全噪声化,呈高斯分布,分布在 $1000 \sim 8000$ 。不论是分布区间还是分布形状,有噪和无噪图像的欧氏距离直方图都存在很大的差异。图中第 2 列的两幅图像分别是无噪和有噪纺织品图像在 PCA 空间的欧氏距离直方图。无噪情况下,欧氏距离呈离散分布,并且分布在 $0 \sim 3$ 。在噪声干扰下,虽然直方图的分布受到了影响,不再是离散分布。但是欧氏距离的分布范围只有微小变化,并且峰值位置和无噪的情况下相同。与像素空间的欧氏距离直方图相比,PCA 空间的欧氏距离直方图在有噪和无噪情况下的差异比较小。因此,在 PCA 空间,噪声对相似性的度量的影响比像素空间的小,在 PCA 空间度量的相似性更准确。

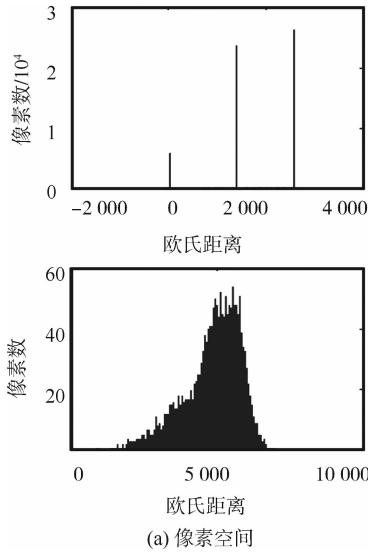
2.3 基于改进的块相似性度量的纺织品纹理增强

PCA-NLM 是在 NLM 框架下,改进块间相似性度量提出的。由式(2)(8)可以得到改进的像素权重,定义如下:

$$W(i, j) = \frac{1}{M(i)} e^{-\frac{\|v[d](N_i) - v[d](N_j)\|}{h^2}} \quad (9)$$

式中 $M(i)$ 为标准常量,由式(3)(8)得到,定义为

$$M(i) = \sum_{j \in S_i} e^{-\frac{\|v[d](N_i) - v[d](N_j)\|}{h^2}} \quad (10)$$



h 为衰减指数,控制指数函数的衰减情况。经 PCA-NLM 增强后的图像为

$$\mu(i) = \sum_{j \in S_i} W(i, j) g(j) \quad (11)$$

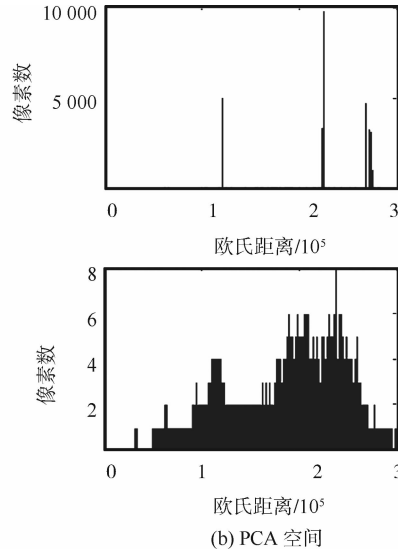


图4 含噪和不含噪纺织品图像分别在像素空间和 PCA 空间的欧氏距离直方图

Fig. 4 Euclidean difference histogram of noise and non-noise textile images in pixel and PCA space

PCA-NLM 纺织品纹理算法流程如下:

- 1) 计算所有像素点的邻域特征向量矩阵;
- 2) 对步骤 1) 中的矩阵做 PCA 变化,并降维到 d ,得到低维空间;
- 3) 把步骤 1) 的邻域特征向量映射到低维空间,得到新的特征向量;
- 4) 用新的特征向量代替 NLM 中的邻域特征向量;
- 5) 对图像做非局部均值滤波。

3 实验评价及讨论

3.1 评价标准

采用的客观评价标准有 3 个:

1) 均方误差 (MSE) 衡量图像灰度的增强效果,强调增强后图像与原图像的差异。MSE 越小,表示增强后的图像与原图的差异越小,失真度越小,所以 MSE 越小越好。MSE 定义为

$$MSE = \frac{1}{\|I\|} \sum_{x \in I} (\kappa(x) - \mu(x))^2 \quad (12)$$

$\|I\|$ 为整幅图像的像素个数, I 为图像域。

2) 峰值信噪比 (PSNR) 衡量对整幅图像噪声的抑制能力, PSNR 越大,表示抑制噪声的能力越强,所以 PSNR 越大越好。PSNR 定义为

$$PSNR = 10 \lg \frac{255^2}{MSE} \quad (13)$$

3) 方法噪声 (MN) MN 是噪声图像与增强后图像的差值,理想的情况下 MN 只包含噪声,不包含任何的图像信息和纹理信息。定义如下:

$$MN = v - \mu \quad (14)$$

3.2 实验数据说明

用纺织品图像的合成图像来测试本文的算法。首先给合成图像添加均值为 0,标准方差为 50 的高斯噪声,搜索窗和相似窗取经验值^[17-20],分别为 21×21 和 7×7 。经实验验证 h 取 $0.5\delta^2$, d 取 12。

3.3 参数选择

涉及的参数有搜索窗、相似窗、 h 和 d 。搜索窗和相似窗取经验值,以下是对 h 和 d 得选取。图 5 是对 h 和 d 的选取过程,图 5(a) 是对 h 的选择过程,图中 3 条曲线显示了在 h 取不同值时,PSNR 随 d 的变换情况。从图 5 中可知在 $h = 0.5\delta^2$, $d = 9, 10, 11$ 和 12 时的 PSNR 的值最大,所以可以确定 $h = 0.5\delta^2$, d 的可能取值为 10、11、12。图 5(b) 是对 d 的选择过程,3 条线显示了在 $h = 0.5\delta^2$, d 取 3 个可能值时,PSNR 随噪声方差的变换情况。由图可知,他们在图像噪声不同时的 PSNR 差异不大,但在图像噪声标准差大于 30 时, $d = 12$ 的 PSNR 保持最大值,所以取 $d = 12$ 。

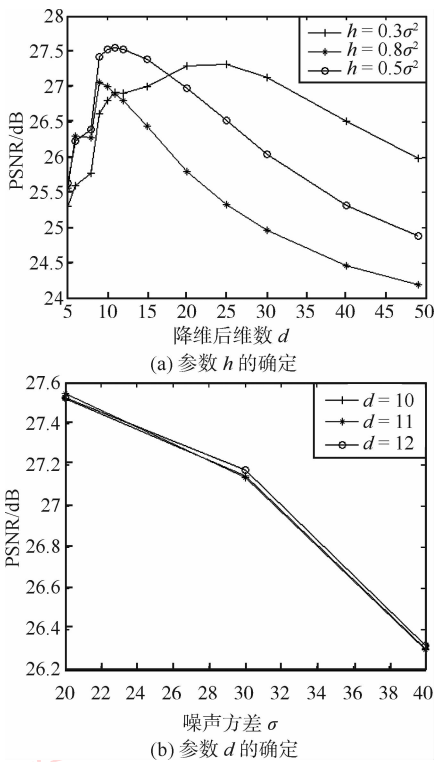


图 5 参数 h 和 d 的确定过程

Fig. 5 The determination of parameter h and d

3.4 实验结果及评价

3.4.1 合成图像的增强

本文的增强方法首先评价图 6(a) 所示的合成图像。该图像大小为 256×256 ，由经向和纬向的纹理组成。对该图添加均值为 0，标准差为 50 的高斯噪声来模拟成像系统获得的纺织品图像，如图 6(b)。图 6(c)(d) 分别是 NLM 和 PCA-NLM 增强的实验结果，从直观看，图 6(d) 比图 6(c) 的纹理清楚，没有断纹现象，而且图 6(d) 比图 6(c) 的对比度强。

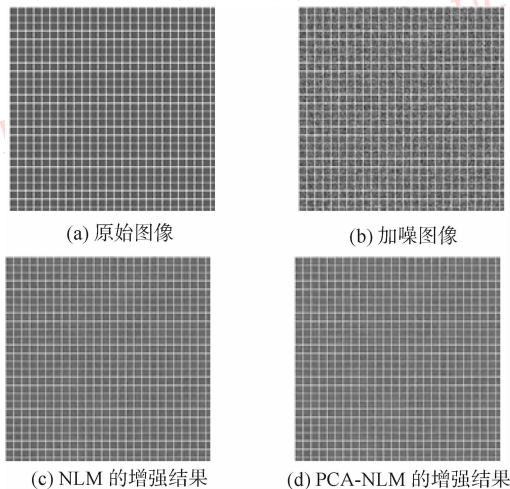


图 6 不同方法的增强效果

Fig. 6 Results of different method

图 7 是 NLM 和 PCA-NLM 的 Method Noise，图 7(a) 中不仅有噪声信息，同时也含有大量的纹理结构信息，也就是说，经 NLM 增强后的图像损失了一部分纹理信息，图 7(b) 中除了噪声信息，只存在少量的纹理信息。与 NLM 增强结果相比，PCA-NLM 的增强方法能更好的保留原图像的纹理结构信息。

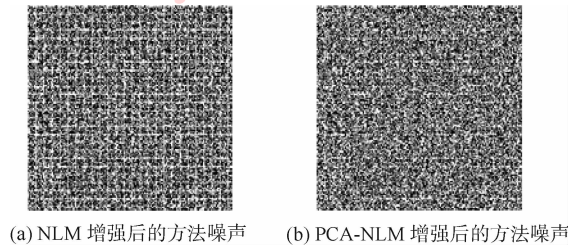


图 7 图 5(c)(d) 的方法噪声

Fig. 7 The method noise of Fig. 5(c)(d)

以上是对增强效果的视觉上的比较，以下是量化比较。对图 6(a) 添加均值为 0，标准差分别为 10、15、20、25、30、35、40、50 的高斯噪声，得到 1 组模拟纺织品图像。图 8 显示了对不同的噪声图像，采用 NLM 和 PCA-NLM 增强后的 PSNR 和 MSE。从图 8 可以看出，在图像噪声从小到大的变化过程中，PSNR 逐渐减小，MSE 逐渐增大。但在每个噪声点，

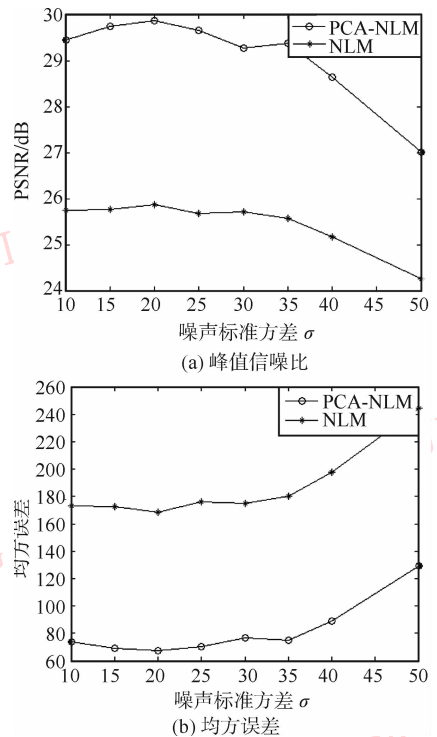


图 8 NLM 和 PCA-NLM 对各种噪声图像的增强效果比较

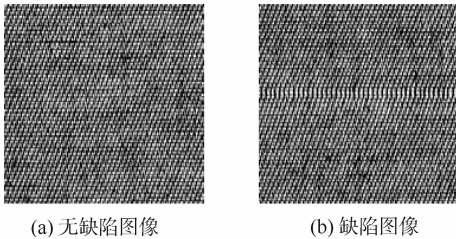
Fig. 8 Result of different noise image enhancement by NLM and PCA-NLM

PCA-NLM 方法比 NLM 方法的 PSNR 大, MSE 小。NLM 的最大的 PSNR 为 25.8 dB, 最小的 MSE 为 169, PCA-NLM 方法的最小 PSNR 为 27 dB, 最大 MSE 为 130。不论图像噪声如何变化, PCA-NLM 方法都比 NLM 方法的 PSNR 大、MSE 小。

由此可见, 不管是从视觉上, 还是量化上比较, PCA-NLM 方法都比 NLM 方法的增强效果好。

3.4.2 纺织品图像的增强

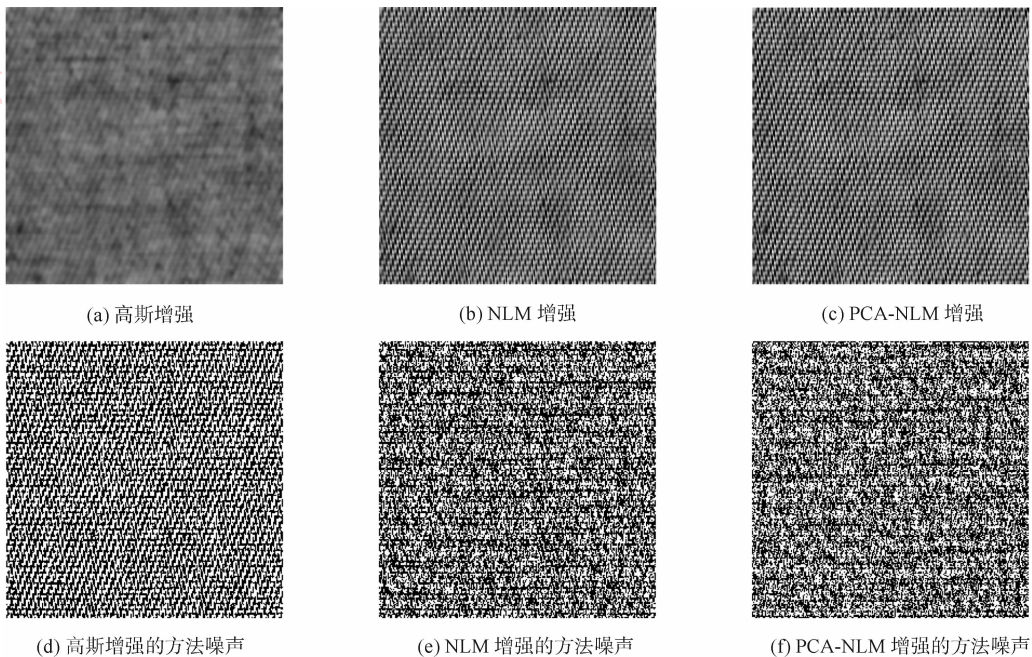
将提出的方法分别用于缺陷和非缺陷纺织品图像的纹理增强中, 并与基于高斯滤波的纺织品图像增强效果进行了比较。图 9 显示了两幅纺织品图像, 图 9(a) 是一副无缺陷的纺织品图像, 由于噪声的干扰, 图像纹理模糊; 图 9(b) 是一副有缺陷的纺织品图像。这两幅图像均为 256×256 。



(a) 无缺陷图像 (b) 缺陷图像

图 9 纺织品图像

Fig. 9 Original images of textile



(a) 高斯增强 (b) NLM 增强 (c) PCA-NLM 增强
(d) 高斯增强的方法噪声 (e) NLM 增强的方法噪声 (f) PCA-NLM 增强的方法噪声

图 10 无缺陷纺织品图像的增强结果比较

Fig. 10 The results of image enhancement of nondefect textile

图 10 是对图 9(a) 的非缺陷图像的不同方法增强效果的比较。图 10(a) 可知, 经高斯滤波增强后的图像只是一片平坦的区域, 虽然去除了噪声, 但同时, 纹理也变得模糊, 纹理信息严重丢失。图 10(b) 中没有噪声的干扰, 但是纹理不够突出。相反, 如图 10(c) 所示, PCA-NLM 方法增强后的图像, 背景与纹理的对比度增强, 显著地突出了纹理。图 10(d) 中含有大量的纹理结构信息, 图 10(e) 含有少量的纹理信息, 特别是左上角的横纹信息, 图 10(f) 中基本不含有纹理信息。PCA-NLM 方法的增强结果比 NLM 方法更好。

图 11 是对图 9(b) 的缺陷图像的不同方法增强效果的比较。图 11(a) (d) 增强后的图像, 边缘模糊, 丢失了纹理信息, 图 11(b) 和 (e) 是 NLM 方法的增强结果和 Method Noise, 虽然图 11(b) 的纹理清晰, 缺陷部分得到了增强, 但背景与纹理的对比度较弱, 疵点纹理不够突出, 与此同时, 它的 Method Noise 图像含有缺陷部分的纹理信息。从图 11(c) (f) 可以看出 PCA-NLM 方法的增强结果纹理突出, 并且 Method Noise 图像含有少量的缺陷纹理信息。与图 11(b) 相比, 图 11(c) 的背景与纹理的对比度增强, 纹理突出, 并且疵点信息也得到了突显。所以 PCA-NLM 方法能够更好地保持并突显图像的纹理结构。

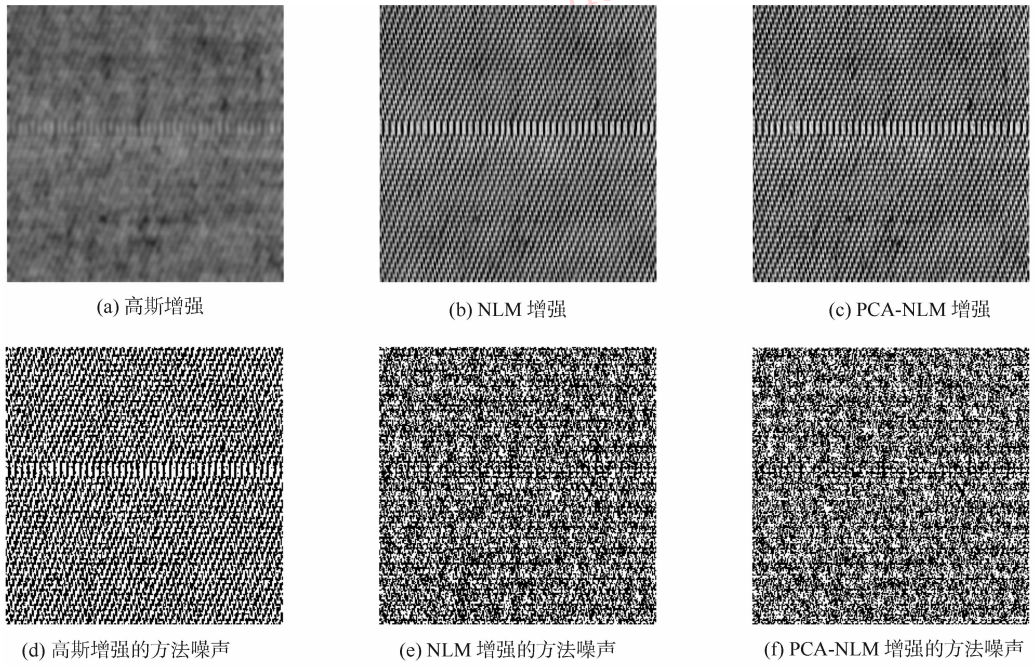


图 11 缺陷纺织品图像的增强结果比较

Fig. 11 The results of image enhancement of defect textile

纺织品图像有 7 种缺陷,分别为 BrokenEnd、DirtyYarn、Mispick、NetMultiple、SlackEnd、ThickBar、WrongDraw。图 12 显示了其中的两种缺陷图像经本文提出的方法增强后的图像,由图中可以看出,增强后的图像的纹理更清晰,并且突出了缺陷部分的纹理。DirtyYarn 和 WrongDraw 是两种不易通过视

觉检测到的缺陷,经纹理增强后,缺陷部分得到了增强,更加清晰,直接可以通过视觉检测到。与原图相比,经过增强后的图像突出了纹理信息,可以直接人工检测。所以,本文的增强方法在纺织品图像增强中很有实用性,增强后的图像便于人工的检测,从而提高了人工检测的正确率。

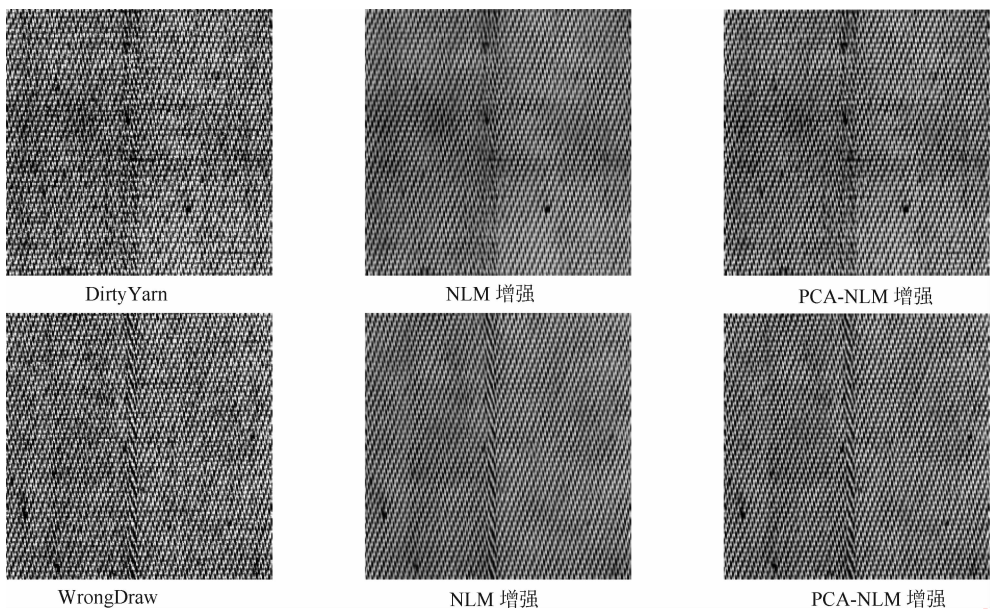


图 12 4 种纺织品缺陷图像的增强效果

Fig. 12 The results of image enhancement of four defect textile

4 结 论

提出一种在非局部均值滤波框架下的纺织品图像纹理增强方法。贡献是针对纺织品图像的纹理特征,提出一种基于纺织品图像的纹理相似性的增强方法,从图像自身的信息出发,充分利用了图像自身的信息。并介绍了如何将该方法运用到纺织品图像中,通过实验确定了各个参数的取值。实验结果显示,方法不仅抑制噪声的能力强,而且使得图像的结构纹理信息得到了增强,与原图像的失真度小。本文方法不仅利于机器视觉检测中纺织品图像纹理特征的正确提取,从而提高检测正确率,而且使一些人工不易检测到得缺陷更加突出,便于人工检测。所以,本文方法可以提高纺织品的人工检测和机器视觉检测的正确率,在纺织品的质量检测中有一定的实用价值。

参考文献 (References)

- [1] Yang X Z. Discriminative Fabric Defect Detection and Classification Using Adaptive Wavelets [D]. Hong Kong: The University of Hong Kong, 2003.
- [2] Yang X Z, Pang G K H, Yung N H C. Discriminative training approaches to fabric defect classification based on wavelet transform [J]. Pattern Recognition, 2004, 37(5): 889-899.
- [3] Hsieh C H, Chen B C, Lin C M, et al. Detail Aware Contrast Enhancement with Linear Image Fusion [EB/OL]. (2010-11-04) [2011-04-03]. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5670510.
- [4] Subr K, Majumder A, Irani S. Greedy algorithm for local contrast enhancement of images [C]// Proceedings of the International Conference on image Analysis and Processing. Genoa: Springer Press, 2005, 171-179.
- [5] Wang X B. Image enhancement based on lifting wavelet transform [C]// Proceedings of the 4th International Conference on Computer Science & Education. Washington, DC, USA: IEEE Press, 2009, 739-741.
- [6] Gan Z F, Yang H Y. Texture enhancement through multiscale mask based on RL fractional differential [C]// Proceedings of the International Conference on Information Networking and Automation. Washington, DC, USA: IEEE Press, 2010, 333-337.
- [7] Pu Y F, Zhou J L. Fractional differential mask: a fractional differential-based approach for multiscale texture enhancement [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2010, 19(2): 491-511.
- [8] Shu Y, Wang C R, Deng L G. A new approach of image enhancement based on multi-scale morphological reconstruction [C]// Proceedings of the 9th International Conference on Hybrid Intelligent Systems. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society Press, 2009, 113-116.
- [9] Tai S C, Chang Y Y. Texture detail enhancement algorithm based on perceptual approach [C]// Proceedings of the 4th International Conference on New Trends in Information Science and Service Science (NISS). Washington, DC, USA: IEEE Press, 2010, 735-741.
- [10] Weickert J. Multiscale texture enhancement [C]// Proceedings of the International Conference on Computer Analysis of Images and Patterns. Prague: Springer Press, 1995.
- [11] Bao X M, Zhang Y H. Enhancement of textile images based on discrete gaussian filter [J]. Journal of Textile Research, 2005, 26(4): 121-123. [包晓敏, 张云华. 基于离散高斯滤波器的纺织品图像增强 [J]. 纺织学报, 2005, 26(4): 121-123.]
- [12] Buades A, Coll B, Morel J M. A non-local algorithm for image denoising [C]// Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. San Diego: IEEE Computer Society Press, 2005, 60-65.
- [13] Buades A, Coll B, Morel J M. Image denoising by non-local average [C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. Philadelphia: IEEE Signal Processing Society Press, 2005, 25-28.
- [14] Aja-Fernandez S, Alberola-Lopez C. On the estimation of the coefficient of variation for anisotropic diffusion speckle filtering [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(9): 2694-2701.
- [15] Kinderman S, Osher S, Jones P W. Deblurring and denoising of images by nonlocal functionals [J]. Multiscale Modeling and Simulation, 2005, 4: 1091-1115.
- [16] Kervrann C, Boulanger J, Coupe P. Bayesian Non-Local Means Filter, Image Redundancy and Adaptive Dictionaries for Noise Removal [M]// Sgallari F, Murli A, Paragios N. Scale Space and Variational Methods in Computer Vision: Volume 4485 of LNCS. Ischia: Springer, 2007, 4485: 520-532.
- [17] Azzabou N, Paragios N, Guichard F. Image denoising based on adapted dictionary computation [C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing. San Antonio: IEEE Press, 2007, 109-112.
- [18] Tasdizen T. Principal components for non-local means denoising [C]// Proceedings of the 15th IEEE International Conference on Image Processing. San Diego: IEEE Press, 2008, 1728-1731.
- [19] Tasdizen T. Principal neighborhood dictionaries for nonlocal means image denoising [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2009, 18(12): 2649-2660.
- [20] Muresan D D, Parks T W. Adaptive principal components and image denoising [C]// Proceedings of the International Conference on Image Processing. Barcelona: IEEE Press, 2003, 101-104.