

Journal of Image  
and Graphics

# 中国图象图形学报



ISSN1006-8961  
CN11-3758/TB

2012 8  
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8月 第17卷 第8期(总第196期)

## 目次

### 综述

可计算图像美学研究进展 ..... 王伟凝, 蚁静斌, 贺前华(893)

### 图像处理和编码

利用混沌 PSO 或分解的 2 维 Tsallis 灰度熵阈值分割 ..... 吴一全, 吴诗嫻, 张晓杰(902)

H. 264 并行编码中负载均衡方法 ..... 侯兴松, 刘大齐, 盛凯, 赖玉洁(911)

提升细节捕捉能力的非下采样轮廓波变换 ..... 郭洪, 李雪军(919)

SVD 域的图像高斯噪声强度估计 ..... 柳薇(923)

图像扩散去噪模型的分析与改进 ..... 傅绪加, 刘峰, 王信松(934)

小波域最小嵌入失真函数设计及其在隐写中的应用 ..... 李军, 潘峰, 杨晓元, 刘镇(946)

### 图像分析和识别

抗压缩的照片图像与真实感计算机图形识别 ..... 张荣, 王让定(953)

云的自适应阈值检测方法 ..... 黄茜, 王少龙, 徐道磊, 廖婷婷(960)

煤矸区分中的间隔灰度压缩扩阶共生矩阵 ..... 于国防(966)

离群样本划分的半监督模糊学习策略 ..... 宋晓宁, 杨静宇, 杨习贝(971)

多相 Chan-Vese 模型的直接对偶方法 ..... 刘存良, 潘振宽, 郑永果, 王国栋, 丁洁玉(979)

利用梯度信息快速提取直线边缘特征 ..... 夏军营, 徐小泉, 熊九龙(987)

2 维双树复小波不确定度加权融合的人脸识别 ..... 王仕民,叶继华,邓涛,王明文(995)

### 图像理解和计算机视觉

流形学习与非线性回归结合的头部姿态估计 ..... 范进富,陈锻生(1002)

### 计算机图形学

角点距离矩阵和同心圆划分的曲线描述与匹配 ..... 曾接贤,刘秀朋,符祥(1011)

弹性二次曲面模型下的 3 维形状表现与平滑 ..... 郝世杰,蒋建国,郭艳蓉,詹曙(1021)

### 医学图像处理

主动学习的白细胞图像自动分割 ..... 崔凤,潘晨,吴向平,徐军(1029)

### 遥感图像处理

Bregman 交替迭代遥感图像复原方法 ..... 徐焕宇,孙权森,罗楠,夏德深(1035)

基于各向异性 Markov 随机场的遥感影像亚像元尺度建筑物提取 ..... 李晓冬,凌峰,杜耘(1042)

## 中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健

月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 8 期

2012 年 8 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. 8 August 2012

## Contents

### Review

Review for computational image aesthetics ..... Wang Weining, Yi Jingjian, He Qianhua (893)

### Image Processing and Coding

Two-dimensional Tsallis gray entropy image thresholding using chaotic particle swarm optimization or decomposition  
..... Wu Yiquan, Wu Shihua, Zhang Xiaojie (902)

Load balancing for H. 264 parallel encoding ..... Hou Xingsong, Liu Daqi, Sheng Kai, Dun Yujie (911)

Non-subsampled contourlet transform algorithm to promote detail information capturing ability ..... Guo Hong, Li Xuejun (919)

Gaussian noise level estimation in SVD domain for images ..... Liu Wei (923)

Analysis and improvement of image diffusion denoising models ..... Fu Xujia, Liu Feng, Wang Xinsong (934)

Design of minimizing embedding impact function in DWT domain and its applications in steganography  
..... Li Jun, Pan Feng, Yang Xiaoyuan, Liu Zhen (946)

### Image Analysis and Recognition

Anti-compression approach to distinguishing photographic images and photorealistic computer graphics  
..... Zhang Rong, Wang Rangding (953)

Adaptive threshold approach for night-sky cloud inspection ..... Huang Qian, Wang Shaolong, Xu Daolei, Liao Tingting (960)

Expanded order co-occurrence matrix to differentiate between coal and gangue based on interval grayscale compression  
..... Yu Guofang (966)

Semi-supervised fuzzy learning strategy by using a way of partitioning the outlier instances  
..... Song Xiaoning, Yang Jingyu, Yang Xibei (971)

Direct dual method of Chan-Vese model for multiphase segmentation  
..... Liu Cunliang, Pan Zhenkuan, Zheng Yongguo, Wang Guodong, Ding Jieyu (979)

Fast line edge feature extraction using image gradients ..... Xia Junying, Xu Xiaoquan, Xiong Jiulong (987)

Two-dimensional dual-tree complex wavelet transform uncertainty weighted fusion in face recognition  
..... Wang Shimin, Ye Jihua, Deng Tao, Wang Mingwen (995)

### Image Understanding and Computer Vision

Combining manifold learning and nonlinear regression for head pose estimation ..... Fan Jinfu, Chen Duansheng (1002)

### Computer Graphics

Representation and matching for planar curve based on corner distance matrix and concentric circles  
..... Zeng Jiexian, Liu Xiupeng, Fu Xiang (1011)

Three-dimensional shape representation and smoothing with elastic quadratic patch model  
..... Hao Shijie, Jiang Jianguo, Guo Yanrong, Zhan Shu (1021)

### Medical Image Processing

White blood cell image segmentation based on active learning ..... Cui Feng, Pan Chen, Wu Xiangping, Xu Jun (1029)

### Remote Sensing Image Processing

Bregman alternating iterative method for remote sensing image restoration ..... Xu Huanyu, Sun Quansen, Luo Nan, Xia Deshen (1035)

Building extraction at the sub-pixel scale from remotely sensed images based on anisotropic Markov random field  
..... Li Xiaodong, Ling Feng, Du Yun (1042)

中图分类号: TP182 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2012)08-0919-04

论文引用格式: 郭洪, 李雪军. 提升细节捕捉能力的非下采样轮廓波变换[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(8): 919-922.

## 提升细节捕捉能力的非下采样轮廓波变换

郭洪, 李雪军

福州大学数学与计算机科学学院, 福州 350108

**摘要:** 针对传统 NSCT(非下采样轮廓波变换)算法中 NSP(多尺度分解方法)对细节信息捕捉能力较差及利用其进行图像融合得到的融合图像出现细节丢失问题, 提出改进的 NSCT 算法。不同于传统 NSCT 算法, 该算法首先采用细节捕捉能力较强的非下采样形态学小波分解替代 NSP 分解, 实现对源图像的多尺度分解, 将源图像分解成水平高频、垂直高频、对角高频和低频 4 部分; 然后利用 NDFB(非下采样的方向性滤波器)对高频部分进行多方向分解得到一系列高频信息, 实现改进型 NSCT 分解。实验结果表明, 该算法的细节捕捉能力较传统算法好, 在相同融合规则下其图像融合效果更好, 各项融合指标值均有所提高, 其中平均梯度提高了 10%, 且易于实现, 可广泛用于多分辨率图像融合, 是一种有效的融合图像算法。

**关键词:** 非下采样轮廓波变换; 形态学小波分解; 图像融合; 边缘检测

### Non-subsampled contourlet transform algorithm to promote detail information capturing ability

Guo Hong, Li Xuejun

College of Mathematics and Computer Science, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China

**Abstract:** The NSP (multi-scale decomposition method) of the traditional NSCT (non-subsampled contourlet transform) algorithm has a poor detail information capturing ability and when applied to image fusion it causes a loss of image details. In this paper, we present an improved NSCT algorithm. Different from the traditional NSCT algorithm, we adopt the non-subsampled morphological wavelet decomposition, which has a better detail capture capability, to realize a multi-scale decomposition of the source image and replacing the NSP decomposition. The source images are decomposed into four parts: low-frequency, horizontal high-frequency, vertical high-frequency, and diagonal high-frequency. Afterwards, the improved NSCT decomposition on high frequencies using the NDFB (non-subsampled directional filter) for multiple directions of decomposition is realized. Our experiments show that, compared with traditional algorithms, this algorithm has a better detail capturing ability, its image fusion effect is better under the same fusion rules, and all fusion indexes are improved. Among them, the average gradient is increased by 10%. This effective image fusion algorithm can be easily realized and widely used in multi-resolution image fusion.

**Key words:** non-subsampled contourlet transform; morphological wavelet decomposition; image fusion; edge detection

## 0 引言

基于多分辨率分析的方法在图像融合领域得到越

来越广泛的应用,其中对小波变换的研究最多,取得的成就也最大<sup>[1]</sup>。小波变换有良好的时频局部性,高频子带多方向性等优点<sup>[2]</sup>,但是,其实现需要卷积运算来完成、计算比较复杂、不具有平移不变性、容易导致重

收稿日期:2011-11-03;修回日期:2012-03-27

基金项目:国家自然科学基金项目(61075022)

第一作者简介:郭洪(1957—),男,副教授,1987年于厦门大学获运筹学与控制论专业硕士学位,主要研究方向为图像处理和模式识别。

E-mail: guohong1226@163.com

构图像出现明显的 Gibbs 现象<sup>[3]</sup>。对此, Cunha 等学者在 2006 年提出了非下采样轮廓波变换(NSCT), NSCT 通过非下采样的金字塔尺度分解(NSP)和基于非下采样方向性滤波器组(NDFB)的方向分解来实现<sup>[4]</sup>, 其具有多分辨率特性、时频局部性、多方向性、平移不变性, 能很好地避免重构图像出现 Gibbs 现象<sup>[5-7]</sup>, 然而在多尺度分解环节上, 传统 NSCT 变换采用非下采样金字塔(NSP)分解, 由于金字塔分解的方向限制性, 该方式对边缘、细节信息的捕捉能力较差。针对该问题, 文献[8]提出一种改进的 NSCT 算法, 将其中的多尺度分解环节改为冗余提升小波变换, 实验结果证明该方法在细节捕捉能力上确实较传统 NSCT 算法有所提高, 但是该算法得到的融合图像整体视觉效果一般。2006 年 De 和 Chanda 提出了一种多分辨率形态学小波分解<sup>[9]</sup>, 简称 MMWF, 该分解较冗余提升小波分解有更强的细节捕捉能力, 但由于其不具有平移不变性, 不适合直接应用于 NSCT 中的尺度分解。

为提高算法的综合性能, 在上述方法的基础上提出一种改进的 NCST 算法(MNCST), 先对形态学小波进行修改, 取消其下采样操作, 使其具有平移不变性, 然后将其应用于 NSCT 中的多尺度分解, 进一步提高算法的细节捕捉能力和边缘、细节信息保持能力。

## 1 改进的 NSCT 算法

### 1.1 形态学小波分解

2006 年在期刊 Signal Processing 上 De 和 Chanda 提出形态学小波分解<sup>[10-11]</sup>。它采用形态学的膨胀操作和下二采样构造的非线性小波对源图像进行  $N$  层分解, 得到  $(3N + 1)$  个不同的频带, 其中包含  $3N$  个高频带和 1 个低频带。

考虑输入图像  $X$  以及信号空间  $V$ , 并且可用一个  $M \times N$  的矩阵表示 ( $M, N \in \mathbf{Z}$ ) 输入图像的灰度值矩阵。假设  $M$  和  $N$  都是偶数, 那么  $X$  可以被连续地分解为  $2 \times 2$  的子矩阵或块。这样的块的 4 个位置可以表示为  $(r, c)$ 、 $(r, c+1)$ 、 $(r+1, c)$ 、 $(r+1, c+1)$ 。如图 1 所示,

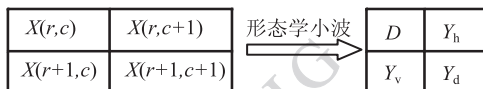


图 1  $2 \times 2$  小块的形态学小波变换

Fig. 1  $2 \times 2$  block Morphological wavelet transform

利用形态学膨胀操作进行下二采样, 分解为低频  $D$  和垂直高频  $Y_v$ , 水平高频  $Y_h$ , 对角高频  $Y_d$ , 即

$$D(i, j) = \max\{X(r, c), X(r, c+1), X(r+1, c), X(r+1, c+1)\} \quad (1)$$

$$Y_h(i, j) = \begin{cases} D(i, j) - X(r, c+1) & D(i, j) - X(r, c+1) > 0 \\ X(r, c) - D(i, j) & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

$$Y_v(i, j) = \begin{cases} D(i, j) - X(r+1, c) & D(i, j) - X(r+1, c) > 0 \\ X(r, c) - D(i, j) & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

$$Y_d(i, j) = \begin{cases} D(i, j) - X(r+1, c+1) & D(i, j) - X(r+1, c+1) > 0 \\ X(r, c) - D(i, j) & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

式中,  $1 \leq r \leq M, 1 \leq c \leq N$  且  $r, c$  为奇数,  $i = \frac{r+1}{2}, j = \frac{c+1}{2}$ 。经过 MMWF 分解, 4 个信号的尺度大小都变为  $(\frac{1}{2} \times M) \times (\frac{1}{2} \times N)$ 。

原始信号可以通过上二采样进行重构。

尺度信号为

$$\begin{aligned} \hat{X}(r, c) &= \hat{X}(r, c+1) = \hat{X}(r+1, c) = \\ &\hat{X}(r+1, c+1) = D(i, j) \end{aligned} \quad (5)$$

细节信号为

$$\hat{Y}(r, c) = \min(Y_v(i, j), Y_h(i, j), Y_d(i, j), 0) \quad (6)$$

$$\hat{Y}(r, c+1) = \min(-Y_v(i, j), 0) \quad (7)$$

$$\hat{Y}(r+1, c) = \min(-Y_h(i, j), 0) \quad (8)$$

$$\hat{Y}(r+1, c+1) = \min(-Y_d(i, j), 0) \quad (9)$$

式中,  $1 \leq i \leq \frac{M+1}{2}, 1 \leq j \leq \frac{N+1}{2}, r = i, c = j$  在任意点  $(u, v) \in \{(r, c), (r, c+1), (r+1, c), (r+1, c+1)\}$  处重构的信号为

$$X'(u, v) = \hat{X}(u, v) + \hat{Y}(u, v) \quad (10)$$

每一次形态学小波分解后得到低频信号  $D$  和 3 个高频信号  $Y_v, Y_h, Y_d$ , 且 4 个信号的尺度大小都为  $(\frac{1}{2} \times M) \times (\frac{1}{2} \times N)$ , 不具有平移不变性, 若将形态学小波直接应用于图像融合, 则融合图像同样会出

现 Gibbs 现象。

### 1.2 算法描述

首先对形态学小波进行修改,取消其下采样操作,使其具有平移不变性(经过修改的形态学小波简称非下采样形态学小波);然后用细节捕捉能力较强的非下采样形态学小波分解替代 NSP 分解对源图像进行多尺度分解,分解成低频、水平高频、垂直高频、对角高频;最后用非下采样的方向性滤波器(NDFB)对高频部分进行多方向分解得到一系列高频信息,完成改进型 NSCT 分解过程。

构建非下采样形态学小波是算法最关键的环节,采用对每一点取  $2 \times 2$  的邻域(而不是子块)进行滑动操作,这使得图像在每个像素点位置都可以获得一个低频值、水平高频值、垂直高频值和对角高频值,分解得到的各个频带图像具有平移不变性。算法实现过程如下:

#### 1) 多尺度分解

对源图像进行非下采样形态学小波分解(NMMWF),得到低频  $D$ 、垂直高频  $Y_v$ 、水平高频  $Y_h$ 、和对角高频  $Y_d$ ,用于图像分解,即

$$D(r, c) = \max \{ X(r, c), X(r, c + 1), X(r + 1, c), X(r + 1, c + 1) \} \quad (11)$$

$$Y_h(r, c) = \begin{cases} D(r, c) - X(r, c + 1) & D(r, c) - X(r, c + 1) > 0 \\ X(r, c) - D(r, c) & \text{其他} \end{cases} \quad (12)$$

$$Y_v(r, c) = \begin{cases} D(r, c) - X(r + 1, c) & D(r, c) - X(r + 1, c) > 0 \\ X(r, c) - D(r, c) & \text{其他} \end{cases} \quad (13)$$

$$Y_d(r, c) = \begin{cases} D(r, c) - X(r + 1, c + 1) & D(r, c) - X(r + 1, c + 1) > 0 \\ X(r, c) - D(r, c) & \text{其他} \end{cases} \quad (14)$$

式中,  $1 \leq r \leq M, 1 \leq c \leq N$ 。式(11)~(14)取消了下采样操作,经过该分解所得到的 4 个信号的尺度大小仍为  $M \times N$ 。图像分解示意如图 2 所示。

原始信号重构公式为

$$X'(r, c) = D(r, c) + \min(Y_v(r, c), Y_h(r, c), Y_d(r, c), 0) \quad (15)$$

#### 2) 多方向分解

利用非下采样的方向性滤波器对高频部分进行多方向分解得到一系列高频信息。

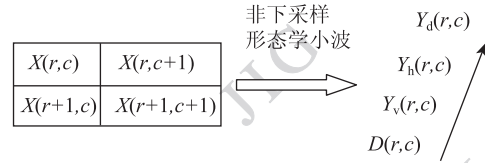


图 2 NMMWF 算法点  $(r, c)$  处高频、低频信号值  
Fig. 2 NMMWF algorithm high frequency, low frequency signal value at the point  $(r, c)$

## 2 实验及性能分析

### 2.1 非下采样形态学小波边缘细节捕捉能力的实验

为证明本文算法边缘细节捕捉能力较强,对经典的房屋图像进行边缘检测,并与传统 NSCT 和文献[8]算法进行比较,结果如图 3 所示。

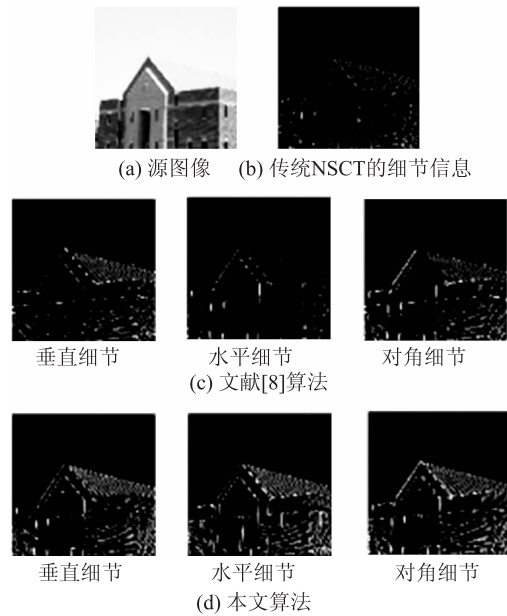


图 3 不同算法边缘细节捕捉能力对比  
Fig. 3 Comparison of Different algorithms edge detail capture capability

从图 3 可以看出,传统 NSCT 中的 NSP 细节捕捉能力较差,只能捕捉到一些比较明显的边缘信息,丢失较多的边缘细节信息。从图 3(c)(d)可以看出文献[8]算法的冗余提升小波提取边缘细节能力明显比 NSP 强,但是也会丢失较多的细节信息,如屋顶的瓦片细节信息丢失比较严重,细节总体捕捉能力一般;本文算法能捕获较细致的边缘细节信息,较传统 NSCT 和文献[8]算法的细节捕捉能力都强。

### 2.2 改进 NSCT 的图像融合效果实验

为证明本文算法进行图像融合的效果较好,对

经典的 clock 左聚焦图像和 clock 右聚焦图像进行融合,并与传统 NSCT 的融合结果和文献[8]算法的融合结果进行比较。

图像融合的融合规则有很多种,但本文主要研究的不是融合规则而是图像融合工具即 NSCT 算法本身的改进,所以应在相同融合规则下比较几种算法的融合效果。不失一般性,采用较易计算的融合规则:低频加权平均,高频取大值。实验结果如图 4 所示。

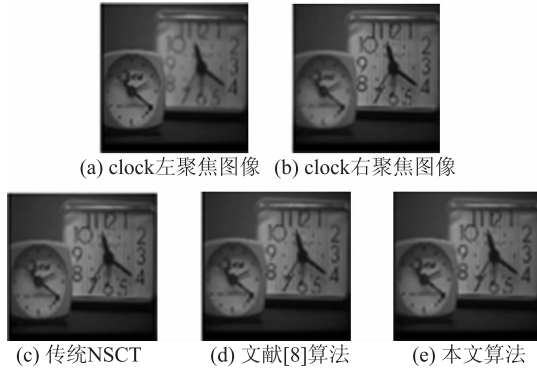


图 4 不同算法融合结果对比

Fig. 4 Comparison the results of different fusion algorithm

从视觉效果看,图 4(c)(d)效果差不多,图 4(e)图像较清晰,对比度高,整体视觉效果较好。

由以上 3 种算法得到的融合图像的客观指标如表 1 所示。

表 1 不同融合方法评价指标比较

Table 1 Comparison the evaluation index of different fusion methods

融合方法	评价指标			
	信息熵	平均梯度	空间频率	标准差
传统 NSCT	4.830 9	2.836 0	5.172 7	39.360 5
文献[8]算法	4.836 9	2.950 2	5.682 6	39.677 1
本文算法	4.839 8	3.115 8	6.260 0	40.993 3

由表 1 看出,本文算法在多项客观指标上都获得较大值,其中平均梯度提高近 10%。说明本文算法相对于其他两种算法在综合性能上取得了最优效果,能较好地捕捉边缘及细节信息,是一种有效的图像融合算法。

### 3 结 论

提出一种改进的 NCST 算法(MNCST),通过对

形态学小波进行修改,取消其下采样操作,使其具有平移不变性,然后将其代替 NSP 用于 NSCT 中的多尺度分解部分,保证了图像融合的有效性。实验结果表明,该算法相对具有更好的视觉效果和保持边缘、捕捉细节信息的能力,且原理简单,易于实现,可广泛应用于多分辨率的图像融合。

### 参考文献(References)

- [1] Chen S H, Zhang R H, Su H B, et al. SAR and Multispectral image fusion using generalized IHS transform based on à trous wavelet and EMD decompositions [J]. IEEE Sensors Journal, 2010, 10(2):737-745.
- [2] Kim Y, Lee C, Han D, et al. Improved additive-wavelet image fusion [J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2011, 9(8):263-267.
- [3] Zhang Y F, De Backer S, Scheunders P. Noise-resistant wavelet-based bayesian fusion of multispectral and hyper-spectral images [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2009, 47(10):3834-3843.
- [4] Da Cunha A L, Zhou J, Do M N. Nonsubsampled contourlet transform: filter design and applications in denoising [C]//Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing. Genova, Italy: University of Michigan, 2005, 1(11): 1-749-752.
- [5] Kong W, Lei Y, Ni X, et al. Fusion technique for grey-scale visible light and infrared images based on non-subsampled contourlet transform and intensity-hue-saturation transform [J]. IET Image Processing, 2011, 5(2): 75-80.
- [6] Cheng Y, Hou Y K, Zhao C X, et al. Cailing wangrobust face recognition based on illumination invariant in nonsubsampled contourlet transform domain [J]. Neurocomputing, 2010, 73(10-12): 2217-2224.
- [7] Li T J, Wang Y Y. Biological image fusion using a NSCT based variable-weight method [J]. Information Fusion, 2011, 12(2):85-92.
- [8] Li J J, An Z Y, Fan H, et al. Multifocus image fusion algorithms using dyadic nonsubsampled contourlet transform [J]. International Journal of Digital Content Technology and its Applications, 2010, 4(11):36-47.
- [9] De I, Chanda B. A simple and efficient algorithm for multi-focus image fusion using morphological wavelets [J]. Signal Processing, 2006, 85(5):924-936.
- [10] Heijmans H J A M, Goutsias J. Nonlinear multiresolution signal decomposition schemes. II. Morphological wavelets [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(8):1897-1913.
- [11] Wakin M B. Sparse image and signal processing: wavelets, curvelets, morphological diversity [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2011, 28(8):144-146.