

中图法分类号: TN911.73 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2011)05-0865-06

论文索引信息: 陈焕平, 何明一, 李旭. 基于 SWT 区域对比度像素提取的多聚焦图像融合 [J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(5): 865-870

# 基于 SWT 区域对比度像素提取的多聚焦图像融合

陈焕平, 何明一, 李旭

(陕西省信息获取与处理重点实验室, 西北工业大学电子信息学院, 西安 710129)

**摘要:** 在多聚焦图像融合算法中, 针对多分辨率系数融合算法无法提取源图像清晰像素点和分块法存在的块效应的现象, 从多聚焦图像清晰像素点和人眼视觉对比度的特征出发, 利用平稳小波变换 (SWT) 的非下采样性和平移不变性, 定义基于 SWT 的图像像素点区域对比度作为提取像素点的依据, 在研究区域对比度邻域大小对像素点提取影响的基础上, 设定适合的阈值建立提取模板, 对多聚焦源图像中清楚区域的像素点进行提取, 并对小部分未能提取的像素位置采用基于局部能量策略进行融合。仿真实验结果表明, 新算法既有效地提取源图像的清晰像素点, 又改善了块效应现象, 融合效果有了很大提升。

**关键词:** 多聚焦; 图像融合; 平稳小波变换; 区域对比度; 像素提取

## Multi-focus image fusion using pixel extraction based on SWT regional contrast

Chen Huanping, He Mingyi, Li Xu

(Shanxi Key Laboratory of Information Acquisition and Processing, School of Electronics and Information, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129 China)

**Abstract:** In the area of multi-focus images fusion, the multi-resolution coefficients fusion algorithms can not extract the clear pixels from source images, and the block extract algorithms always cause block effects. Therefore, the authors define the image pixels' regional contrast based on stationary wavelet transform (SWT), which is non-sampled and translation invariant, considering the characteristics of the clear pixels in multi-focus images and the contrast features of human visual system. On the basis of studying how different neighborhood sizes of regional contrast can affect the correctness of extracted pixels, a proper threshold is set to build extraction templates, which are used to extract pixels in the clear region in source images. Then, the method of image fusion based on local energy mechanism is applied to those un-extracted pixels. The experimental results illustrate the novel algorithm in the paper can not only effectively extract the clear pixels from source images, but also reduce the block effects greatly, and the quality of the fused image is improved sharply.

**Keywords:** multi-focus; image fusion; SWT; regional contrast; extract pixel

## 0 引言

拍摄照片时, 当拍摄目标位于景深范围内, 则能

够被清晰地成像, 反之, 则成像模糊。若所拍摄场景内多个重要目标前后最大距离大于此刻的拍摄景深, 为了将所有目标拍摄清楚, 需要调整聚焦点的位置, 分多次在多幅图像中将目标分别拍摄清楚, 这一

收稿日期: 2010-02-08; 修回日期: 2010-03-14

基金项目: 国家自然科学基金项目 (60736007); 航空基金项目 (2009ZD53047)。

第一作者简介: 陈焕平 (1975—), 男, 工程师。现为西北工业大学电子信息学院信号与信息处理专业博士研究生, 主要研究方向: 智能信息处理、图像融合。E-mail: leo.chen1222@mail.nwpu.edu.cn。

组图像即为多聚焦图像。在两幅同一场景的多聚焦图像中,同一位置的像素点存在 4 种对应关系,分别是清晰对清晰,清晰对模糊,模糊对清晰和模糊对模糊。如何在一幅融合图像中最大化地显示清晰区域,最有效地包含清晰的轮廓、边缘和纹理信息,是多聚焦图像融合所研究的内容。

多聚焦图像融合是图像融合的一个重要分支,常用方法有传统的多分辨率系数融合法和图像分块提取融合法。前者如拉普拉斯金字塔法<sup>[1]</sup>、低通率金字塔法<sup>[2]</sup>、梯度金字塔法<sup>[3]</sup>和小波变换法<sup>[4]</sup>等,此类方法先对源图像进行多分辨率分解,在不同分辨率层次上对源图像分解系数利用不同策略进行融合,然后再重构融合图像。其实质是在某一源图像较清晰像素点和与其对应位置的另一源图像较模糊像素点之间作一均衡,以尽可能少地牺牲较清晰像素点的清晰度来提升较模糊像素点的清晰度,因此此类方法在多聚焦图像融合中的表现往往差强人意。为更好地提升多聚焦图像的融合效果,使源图像中的清晰区域能在融合图像中被保留,图像分块提取融合法被提出,如基于对比度的分块融合法<sup>[5]</sup>、基于视觉特性的分块融合法<sup>[6]</sup>和自适应分块搜索的融合法<sup>[7]</sup>等。基于分块提取的多聚焦图像融合法可有效地提取源图像中大部分清晰区域,特别是位于大面积清晰区域中部,且边缘、纹理丰富的区域。但由于分块为规则的形状(常为矩形)和大小,融合后块中所有像素均来源于同一源图像,对于实际图像而言,无论如何分块,不可避免地会存在某些图像块中部分像素点提取正确,而其余部分像素点提取错误的情况。若遇到分块不合理、源图像变化不规则、块中像素点之间差异很小等情况,则可能会出现整块图像提取错误,从而产生较大的块效应现象。即使采用设定阈值,加强对清晰图像块的检测,对不能判断的图像块利用其他方式进行融合等措施,也由于提取均按块的方式操作,不能有效地针对每个像素点,因此融合效果仍不令人满意。

从提取源图像像素点的角度出发,分析人眼视觉和 SWT(平稳小波变换)的特性,利用区域特征在图像融合中的优势,提出一种新的基于 SWT 区域对比度像素提取的多聚焦图像融合算法。该算法先对源图像进行 SWT 分解并计算单像素点的区域对比度,以不同源图像对应相同位置的像素点区域对比度的差为条件,利用设定的阈值建立提取模板,对清晰区域的像素点进行提取。在提取大部分像素点

后,针对小部分平滑区域和源图像共同模糊区域中未被提取的像素位置,采用基于 SWT 局部能量的策略进行融合。实验结果表明,本文算法不但能有效地改善块效应现象,而且融合图像的质量明显优于多分辨率系数融合法。

## 1 基于 SWT 区域对比度像素提取法

### 1.1 平稳小波变换

平稳小波变换与小波变换的不同点在于:平稳小波变换不对低通和高通滤波器的输出系数进行下采样,因此它具有小波变换所不具备的平移不变性,能克服小波变换在图像融合中存在的方块效应和光谱失真,有利于图像的后续处理。另外,经它分解的图像在每个分辨率层上具有相同的大小,为后续各层分辨率图像对比度的计算也带来了方便。

图像  $I$  经  $N$  层 SWT 分解,产生 1 个低频分量和  $3N$  个高频分量,表达如下:

$$\{Ih_1, Ih_2, \dots, Ih_N, Iv_1, Iv_2, \dots, Iv_N, Id_1, Id_2, \dots, Id_N, Ia_N\}$$

其中  $Ia_n$ 、 $Ih_n$ 、 $Iv_n$ 、 $Id_n$  分别表示第  $n$  层的低频分量和水平、垂直、对角线方向的高频分量。

### 1.2 视觉对比度

在不同的亮度背景下,人眼所能觉察到的最小亮度变化也不相同。图像处理中,所有变化的图像均可认为是由许多个在均匀背景上迭加一个变化信号的图像块集合而成。根据视觉特性和图像的关系,图像的对比度  $C$  定义为<sup>[8]</sup>

$$C = (L - L_B) / L_B = L_H / L_B \quad (1)$$

式中,  $L$  表示图像局部亮度(即局部灰度),  $L_B$  表示图像的局部背景亮度,相当于局部低频分量,  $L_H$  表示图像的变化情况,相当于局部高频分量。SWT 变换对应的方向对比度可分别表示为

$$\text{SWT 水平方向对比度: } Ch_n = Ih_n / Ia_n$$

$$\text{SWT 垂直方向对比度: } Cv_n = Iv_n / Ia_n \quad (2)$$

$$\text{SWT 对角方向对比度: } Cd_n = Id_n / Ia_n$$

### 1.3 源图像清晰块和清晰像素点分析

在多聚焦图像中,可把某一源图像清晰区域(其他源图像对应为模糊区域),分为以下 3 种情况,如图 1(对应源图像 1)所示。图 1 区域 1 有丰富的边缘或纹理信息,且周边也是清晰区域,利用分块法提取正确率很高。图 1 区域 2 也为有丰富边缘或纹理的区域,但其左侧为模糊区域(对应源图像 2 中有丰富边缘或纹理的清晰区域),若此时分块不

合理,得到的图像块包含两幅源图像此类清晰区域,分块法按块提取会导致块中有一部分区域将被错误提取。图 1 区域 3 虽然为清晰区域,但该区域为平滑区域,基本无边缘或纹理信息,像素点之间灰度差异很小,而源图像 2 中对应为模糊区域,像素点之间灰度存在一定的差异,此时用基于对比度或清晰度的分块法进行提取,很可能出现整块错误提取的情况。

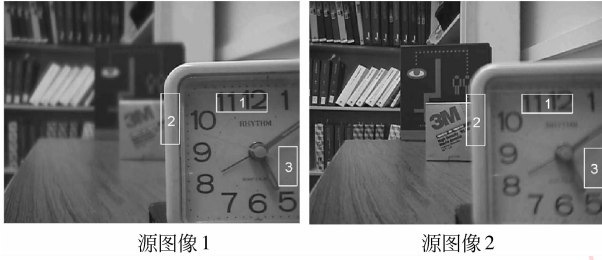


图 1 源图像清晰区域分类  
Fig. 1 Classification of clear regions

再对清晰区域的单一像素点进行分析,将像素点分为两类:一是表征图像边缘或纹理信息的像素点,对于此类像素点,无论是用其本身特征,还是用其邻域的区域特征均能将其正确提取(对于区域 2 中的像素点要控制其邻域大小);二是不表征边缘或纹理信息的像素点,对于此类像素点,虽然无法以其本身特征将其正确提取,但其周边存在着清晰的边缘或纹理,利用一定大小邻域的区域特征就可将大部分此类像素点正确提取。

### 1.4 单像素点区域对比度

基于以上分析,并充分考虑到区域特征在图像融合中的优势,以单像素点的 SWT 区域对比度作为其提取的依据,单像素点的 SWT 区域对比度计算如下式

$$CR^l(i, j) = \sum_{m=-M}^M \sum_{n=-N}^N (|Ch_1^l(i+m, j+n)| + |Cv_1^l(i+m, j+n)| + |Cd_1^l(i+m, j+n)|) \quad (3)$$

式中  $M, N$  分别为像素点到邻域边界水平和垂直方向的像素距离(邻域大小为  $(2M+1) \times (2N+1)$ ),取两者相等,下标 1 表示对应第 1 层分辨率图像,上标  $l$  表示源图像序列,本文中融合两幅源图像,因此  $l=1, 2$ 。

### 1.5 阈值分析与提取模板

以两幅源图像对应像素点区域对比度的差值作为提取条件,为防止噪声、平滑区域和共同模糊区域

中的像素点被错误提取,需设定适合的阈值。阈值的大小与像素点提取的数量和正确率密切相关,阈值小,提取数量大,但正确率低;阈值大,正确率高,但提取数量小。由式(3)可知,区域对比度随邻域的增大而增大,因此不同邻域大小应对应不同的阈值。经多次实验验证,阈值  $T$  按下式设定比较合理,式中  $I$  为图像的行数,  $J$  为图像的列数。

$$T = \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J |CR^1(i, j) - CR^2(i, j)|}{(I \times J) \times (M \times N)} \quad (4)$$

设置两个提取模板,模板 1 提取源图像 1 中的清晰像素点,模板 2 提取源图像 2 中的清晰像素点,设置如下:

模板 1

$$a(i, j) = \begin{cases} 1 & CR^1(i, j) - CR^2(i, j) > T \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

模板 2

$$b(i, j) = \begin{cases} 1 & CR^2(i, j) - CR^1(i, j) > T \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

不同邻域大小对应的平均区域对比度、阈值、提取率(提取像素点数与图像像素点总数之比)和未提取像素点的均方差 MSE 值如表 1 所示,提取模板对源图像清晰区域像素点的提取情况如图 2 所示。

表 1 不同邻域对应的参数  
Tab. 1 Parameters with different neighbors

邻域大小	平均区域对比度值	$T$	提取率	未提取点的均方差值
1 × 1	0.050 2	0.050 2	0.196 7	131.145 9
3 × 3	0.437 9	0.219 0	0.329 0	57.076 8
5 × 5	1.202 7	0.400 9	0.404 1	39.460 3
7 × 7	2.338 1	0.584 5	0.464 2	31.820 1
9 × 9	3.840 5	0.768 1	0.518 9	28.044 6
11 × 11	5.709 0	0.951 5	0.568 3	26.961 6
13 × 13	7.943 6	1.134 8	0.614 1	27.519 9
15 × 15	10.544 6	1.318 1	0.656 1	28.390 7
17 × 17	13.510 7	1.501 2	0.694 6	28.657 8
37 × 37	63.168 3	3.324 6	0.879 8	46.729 1

从表 1 可以看出,随着邻域由小到大,平均区域对比度值按邻域大小呈线性增长,所设的阈值也应相应提高,但阈值与邻域大小平方根基本呈线性关系,以保证有更多清晰区域的像素点能被提取,提取率随之提高。与表中前 3 项参数增长趋势不同的是,未提取像素点的均方差 MSE 值呈现先降后升的情况,原因是:当邻域初始增大时,表征轮廓、边缘和

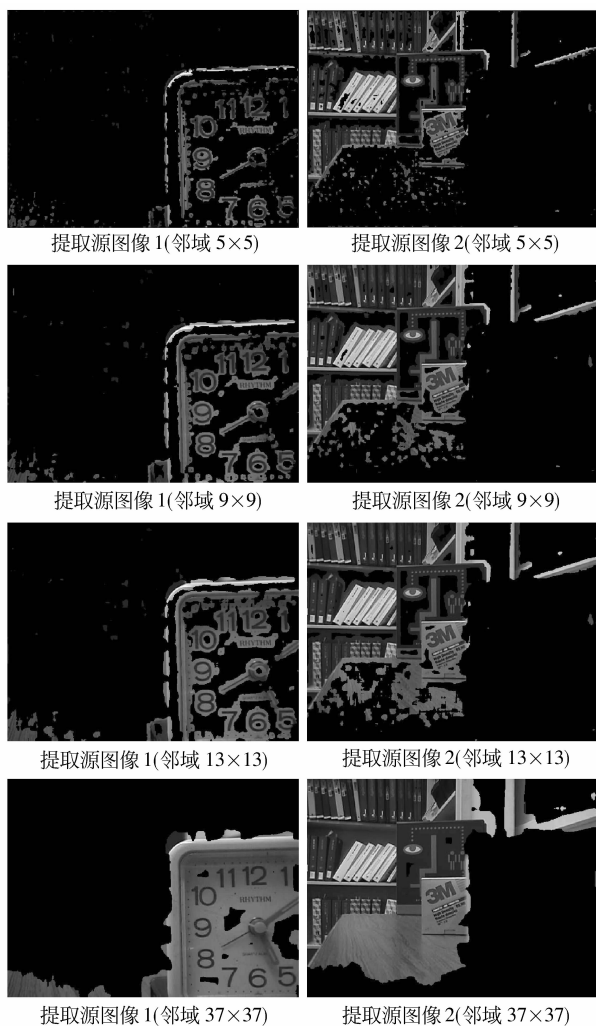


图 2 对源图像的提取

Fig. 2 Extraction of source images

纹理的像素点,被逐步提取,它们与图像的平均像素值相差较大,而未提取的大部分是源图像平滑区域或共同模糊区域的像素点,它们与图像的平均像素值接近,因此未提取像素点的 MSE 值逐步减小。当邻域增大到一定数值时,大部分清晰区域的像素点被提取,此时未提取像素点的 MSE 值达到最小。邻域继续增大,虽然提取率在不断提高,但这主要是由于源图像中清晰平滑区域的像素点被提取,它们与图像平均像素值最为接近,而剩余未提取的像素点主要是一些源图像共同模糊区域的像素点,它们与图像平均像素值差异处于中间水平,造成未提取像素点的 MSE 值增大,但增大速度远远小于邻域初始增大时未提取像素点的 MSE 值降低的速度。

在图 2 中,像素值为 0(即呈现纯黑色)的像素位置为未被提取的位置。可以看出,当邻域较小时,

清晰像素点的提取数量较少,基本位于源图像中清晰的边缘和纹理上,随着邻域的不断增大,提取像素点数量也随之增加,清晰的边缘和纹理周边的像素点被逐步提取出来。当邻域增大到一定程度时,不同源图像清晰区域相邻处(如图 1 区域 2)的像素位置出现错误提取,且随着邻域增大,错误提取的位置数缓慢增多,面积虽然小于分块法错误提取的面积,但也影响到融合的整体质量,因此邻域设定不应过大。

### 1.6 未提取位置的融合

提取的正确率和提取数量是一对相互制约的矛盾,通过实验发现:当提取率在 50%~70% 时,融合效果较好。这是因为:1)此时清晰像素点的提取率已超过 50%,清晰轮廓、边缘和纹理信息基本已被提取;2)此时错误提取位置数量较少,不太影响融合质量;3)虽然有小部分位置未被提取,主要位于一些平滑区域或共同模糊区域,在这些位置上源图像的灰度值非常接近,第 1 组实验中均方差由整幅图像的 341.772 1 降至 27.519 9(邻域大小为 13×13),对这些位置采用多分辨率系数法可得到很好的融合效果。考虑到局部特征在图像融合中的良好表现,采用基于局部能量的融合策略<sup>[9]</sup>对剩余未被提取位置进行融合。

### 1.7 算法流程

基于两幅多聚焦图像的融合,本文算法的流程为:

- 1)对源图像进行 SWT 分解,分别得到低频和高频分量,按式(2)计算方向对比度;
- 2)按式(3)计算源图像像素点的 SWT 区域对比度;
- 3)按式(4)设定清晰像素点提取阈值;
- 4)按式(5)(6)得到提取模板,将源图像清晰区域的像素点提取到融合图像中;
- 5)对融合图像中未能提取的像素位置利用基于 SWT 局部能量的策略进行融合。

## 2 实验结果与评价

将本文算法用于两组多聚焦图像融合实验,并同自适应分块算法<sup>[7]</sup>、对比度算法<sup>[8]</sup>和局部能量算法<sup>[9]</sup>进行比较,实验中选用“sym4”小波进行分解。客观评价指标选取均方根误差、偏差度、峰值信噪比、相似性度量 and 信息熵,它们的物理意义及计算公

式如下:

1) 均方根误差 RMSE 衡量融合图像相对于标准参考图像的差异,其值越小,说明融合图像  $F$  与标准图像  $R$  差异越小,融合效果越好。

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J [r(i,j) - f(i,j)]^2}{I \times J}} \quad (7)$$

2) 偏差度  $D^{[10]}$  衡量融合图像与标准图像在光谱信息上的匹配程度,偏差度越小,说明融合图像在提高空间分辨率的同时,较好地保留了图像的光谱信息。

$$D = \frac{1}{I \times J} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \frac{|r(i,j) - f(i,j)|}{r(i,j)} \quad (8)$$

3) 峰值信噪比 PSNR 使用最普遍、最广泛评鉴画质的客观指标,峰值信噪比越大,说明融合图像质量和效果越好。

$$PSNR = 10 \lg \frac{255^2 \times I \times J}{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J [r(i,j) - f(i,j)]^2} \quad (9)$$

4) 相似性度量  $S$  衡量融合图像与标准图像相关程度,最大值为 1,  $S$  越接近 1,说明融合图像与标准图像越接近,融合效果越好。

$$S = 2 \times \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J [r(i,j) \times f(i,j)]}{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J [r(i,j)^2 + f(i,j)^2]} \quad (10)$$

5) 信息熵  $EN$  衡量图像信息量的大小,熵值越大,图像所含信息量越大,信息越丰富。

$$EN = - \sum_{g=0}^{l-1} p(g) \log_2 p(g) \quad (11)$$

图 3 为各种算法对第 1 组多聚焦图像融合的结果。源图像 1 为前聚焦图像,源图像 2 为后聚焦图像,均为 256 级灰度,尺寸大小为  $480 \times 640$ 。图 3(c) 采用分块法,此时的分块大小为  $32 \times 64$ ,虽然大部分的清晰区域能被正确提取,但图中产生了明显的块效应现象,如在区域 2 位置和表指针位置。图 3(d)(e) 为多分辨率系数融合算法结果,其中图 3(d) 采用对比度大的高频系数和加权平均的低频系数策略的对比度算法,图 3(e) 采用高频、低频均为  $3 \times 3$  区域能量决策的算法。这两种算法均产生了较大的虚轮廓现象(如白色书的轮廓),图像的清晰程度介于两幅源图像之间,且图 3(d) 在钟左上角边框和整个表盘上的清晰平滑区域产生了虚纹理现象。图 3(f) 为本文算法结果,此时的邻域大小为  $13 \times 13$ ,图中的轮廓、边缘和纹理细节清晰,整幅图像干净、

流畅,无虚轮廓、虚纹理和明显的块效应现象。



图 3 第 1 组源图像和融合图像

Fig. 3 Source images and fused images of the first group

图 4 为各种算法对第 2 组多聚焦图像融合的结果。第 2 组源图像画面简洁,有更多的平滑区域,尺寸大小为  $512 \times 512$ 。实验中分块法的分块大小为  $32 \times 32$ ,本文算法的邻域大小为  $15 \times 15$ ,像素提取率为 0.5354,相对第 1 组而言有所降低,主要是受平滑区域比例增大的影响。在主观评价方面,本文算法仍为所有算法中最优的。

表 2 为融合实验客观指标比较。在与标准图像相关的前 4 个客观指标上,本文算法均优于其他算法,且有较大的提升,充分说明运用本文算法得到的融合图像与标准图像非常接近,差异更小,且保持了源图像的光谱信息。由于多聚焦源图像间一般非常相近(本文两组源图像间相似性度量分别为 0.9854 和 0.9905),各种算法在信息熵指标上差异不大,基于对比度算法的数值略高,这是因为源图像中存在模糊区域和虚轮廓,对比度算法将它们按有效信息处理,融合到结果中,提高了融合图像的信息熵值,不符合融合要求。而本文算法融合结果的信息熵值真实地反映了清晰的轮廓、边缘和纹理信息。



图 4 第 2 组源图像和融合图像

Fig. 4 Source images and fused images of the second group

表 2 融合实验客观指标比较

Tab. 2 Compare objective evaluations of fused images

	实验组别	文献[7]	文献[8]	文献[9]	本文
均方根误差	第 1 组	4.255 3	5.840 5	6.184 3	2.420 5
	第 2 组	5.203 4	8.412	13.929 0	4.437 4
偏差度	第 1 组	0.102 1	0.229 7	0.250 5	0.098 4
	第 2 组	0.133 9	0.238 0	0.267 2	0.132 2
峰值信噪比	第 1 组	36.429 1	32.801 9	28.252 6	40.452 6
	第 2 组	33.805 0	29.633	25.253 0	35.188 0
相似性度量	第 1 组	0.999 4	0.998 6	0.995 9	0.999 8
	第 2 组	0.999 4	0.998 5	0.995 9	0.999 6
熵值	第 1 组	7.290 7	7.316 5	7.293 1	7.304 2
	第 2 组	7.379 0	7.734 4	7.722 0	7.570 5

### 3 结 论

针对目前多聚焦图像融合算法存在的融合质量不高和块效应现象,提出一种基于 SWT 区域对比度像素提取的多聚焦图像融合算法。该算法能有效地提取源图像清晰的像素点,当提取率达到 50% ~

70% 时,在保证较高正确率的前提下,可将绝大部分清晰区域提取到融合图像中。对剩余小部分在同一位置源图像灰度值相近的像素位置,本文算法采用基于局部能量的策略进行融合。仿真实验结果表明,本文算法能有效地保留源图像中清晰的轮廓、边缘和纹理信息,融合图像整体清晰、流畅,细节分明,客观评价指标高于其他算法,既克服多分辨率系数融合法无法直接提取源图像中清晰像素点的缺陷,又改善了分块法存在的块效应现象。

### 参考文献 (References)

- [1] Burt P J, Adelson E H. The Laplacian pyramid as a compact image code[J]. IEEE Transactions on Communications, 1983, 31(4): 532-540.
- [2] Toet A. Image fusion by a ratio of low-pass pyramid[J]. Pattern Recognition Letters, 1989, 9(4): 245-253.
- [3] Burt P J, Kolczynski R J. Enhanced image capture through fusion[C]//Proceedings of Fourth International Conference on Computer Vision. Washington DC, USA: IEEE Computer Society, 1993: 173-182.
- [4] Malviya A, Bhirud S G. Multi-focus image fusion of digital images [C]// Proceedings of the International Conference on Advances in Recent Technologies in Communication and Computing. Washington DC, USA: IEEE Computer Society, 2009: 887-889.
- [5] Wang Hong, Jing Zhongliang, Li Jianxun. Multi-Focus image fusion using image block segment[J]. Journal of Shanghai Jiao Tong University, 2003, 37(11): 1743-1750. [王宏, 敬忠良, 李建勋. 一种基于图像块分割的多聚焦图像融合方法[J]. 上海交通大学学报, 2003, 37(11): 1743-1750.]
- [6] Li Shutao, Wang Yaonan, Zhang Changfan. Feature of human vision system based multi-focus image fusion [J]. Acta Electronica Sinica, 2001, 29(12): 1699-1701. [李树涛, 王耀南, 张昌凡. 基于视觉特性的多聚焦图像融合[J]. 电子学报, 2001, 29(12): 1699-1701.]
- [7] Zhang Xinman, Han Jiuqiang. Reconstruction analysis of multifocus fused images using quantitative criteria[J]. Journal on Communications, 2005, 26(5): 128-131. [张新曼, 韩九强. 利用量化判据进行多聚焦融合图像的重构分析[J]. 通信学报, 2005, 26(5): 128-131.]
- [8] Toet A. Multiscale contrast enhancement with application to image fusion[J]. Optical Engineering, 1992, 31(5): 1026-1031.
- [9] Liu Guixi, Yang Wanhai. Image fusion scheme of pixel-level and multi-operator for infrared and visible light images [J]. J. Infrared Millim. Waves, 2001, 20(3): 207-210. [刘贵喜, 杨万海. 一种像素级多算子红外与可见光图像融合方法[J]. 红外与毫米波学报, 2001, 20(3): 207-210.]
- [10] Di Hongwei, Han Yaodong, Chen Musheng. An adaptive fusion method of multi-focus images [J]. Journal of Image and Graphics, 2006, 11(3): 353-356. [狄红卫, 韩耀东, 陈木生. 一种自适应的多聚焦图像融合方法[J]. 中国图象图形学报, 2006, 11(3): 353-356.]