

基于多级分块迭代法的不同聚焦图像融合

高雪妮¹, 玉振明^{2,3}, 张 军³, 李陶深¹

(1. 广西大学计算机与电子信息学院, 广西南宁 530004; 2. 梧州学院信号处理实验室, 广西梧州 543002;
3. 北京航空航天大学电子信息工程学院, 北京 100083)

摘要: 提出了一种基于多级分块迭代法的不同聚焦图像融合方法. 首先, 通过采用高斯函数对图像进行多次卷积以模拟图像的再次成像系统, 对原始图像和再次成像采用不同的块大小进行多级划分, 在不同的级别上比较原始图像和再次成像的灰度差平均值判断子块清晰与否. 接着, 根据一致性检验原则对图像块进行隶属情况判断. 然后, 采用迭代法将图像划分成三个区域: 清晰区域、模糊区域、交界区域. 最后, 选择其中的清晰区域形成融合图像. 文中给出了融合实验结果, 结果表明该方法与传统融合方法相比性能优越, 能够大幅度提高融合图像的质量.

关键词: 图像融合; 多级分块; 迭代法; 不同聚焦图像

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2011) 03-0690-05

Multi-Focus Image Fusion Based on Multi-Level and Iterative Method

GAO Xue-ni¹, YU Zhen-ming^{2,3}, ZHANG Jun³, LI Tao-shen¹

(1. School of Computer, Electronics and Information, Guangxi University, Nanning, Guangxi 530004, China;
2. Signal Processing Laboratory, Wuzhou University, Wuzhou, Guangxi 543002, China;
3. School of Electronics and Information Engineering, Beihang University, Beijing 100083, China)

Abstract: A new image fusion method for multi-focus image is presented based on multi-level sub-block and iterative method. In order to simulate the system of re-imaging, multi-focus images are convolved with Gaussian functions. Source images and re-imaging images are partitioned into multi-level sub-blocks by different sizes. The gray deviation of the average between source images and re-images is used to judge whether the block is focused. The subjection of image blocks are judged by the principle of consistency. Images are divided into three regions: clear region, fuzzy region and border region, based on iteration method. Finally, the clear regions are merged into the fused image. Experimental results show that the proposed method provides superior performance over conventional fusion methods in improving the quality of fused images.

Key words: image fusion; multi-level sub-block; iteration method; multi-focus image

1 引言

由于光学成像系统的景深范围有限, 很难获得对同一场景内所有目标都清晰的成像, 使得成像在聚焦区域清晰, 离焦区域模糊. 通过采用图像融合技术, 对同一场景的多幅不同聚焦图像按照一定的融合准则进行融合处理, 提取各自的清晰区域组合成场景中所有目标都清晰的信息更全面更准确的新图像, 便于人眼观察或计算机的进一步处理.

目前, 不同聚焦图像融合方法主要有两类. 一类基于空间域, 常用的方法是把图像划分成特定尺寸的子块, 然后根据某种清晰度指标提取清晰的子块组合成清晰区域, 然后将这些清晰区域合并起来构成融合图

像^[1]. 这类方法简单, 实时性好, 但会产生块效应, 且图像块尺寸难以选择, 尺寸过大将导致清晰区域和模糊区域位于同一子块, 尺寸过小则不能充分反映子块特征, 容易造成子块的误选. 另一类方法是基于变换域^[2,3], 该方法要将图像进行某种变换, 如小波变换或轮廓波变换, 在变换与反变换的过程中有可能会丢失图像的信息, 而且运算复杂.

目前, 基于分块的融合方法关键是, 找到能够有效地区分图像块是来自清晰部分还是模糊部分的清晰度度量指标. 常用的清晰度度量指标有, 基于局部方差、梯度向量模方和、空间频率测度等. 但无论选择哪种指标, 都可能因为块尺寸的选择不当而产生清晰区域选择不完全或选择错误等问题.

针对这一问题,本文提出了一种基于多级分块迭代法的融合方法.该方法能够有效地提取图像清晰区域进行融合处理,较好地克服了传统方法清晰区域提取不完全、边界融合性能差等缺陷.

2 基于多级分块迭代法的融合方法

本文首先对图像进行再次成像,将源图像和再次成像进行多级分块,在不同的级别上根据清晰度量指标判断图像块的清晰度,利用一致性原则判断清晰图像块的隶属情况,采用多级分块迭代法获得图像的清晰区域,最后合并各源图像的清晰区域得到融合图像.

2.1 基于点扩散函数的区域决策图

假设输入的目标函数为 $f(x, y)$, 输出的图像函数为 $g(x, y)$, 光学成像系统可以表示为^[4]:

$$g(x, y) = h(x, y) * f(x, y) + n(x, y) \quad (1)$$

式(1)中 h 为成像系统的脉冲响应,又称为点扩散函数, n 为随机噪声. 本文将利用点扩散函数产生模糊这一性质,将图像与一个方差为 α 的高斯函数进行卷积运算,模拟成像系统的再次成像,使得原本清晰部分变得模糊,原本模糊部分变得更加模糊. 假设,经过配准的对同一场景成像的两幅源图像为 f_1 和 f_2 , 尺寸为 $M \times N$, $f_1(x, y)$ 、 $f_2(x, y)$ 分别表示图像 f_1 和 f_2 在位置 (x, y) 处的灰度值,假设 $f_1(x, y)$ 为清晰, $f_2(x, y)$ 为模糊,那么,模糊图像 $f_2(x, y)$ 相当于清晰图像 $f_1(x, y)$ 经过了一次高斯模糊而得,假设该模糊函数的方差为 α_0 , 则有:

$$f_2(x, y) = f_1(x, y) * g_{\alpha_0}(x, y) \quad (2)$$

经过再与一个方差为 α_1 的高斯函数进行卷积运算后, f_1 变成 f_{11} , f_2 变成 f_{22} , 即:

$$f_{11}(x, y) = f_1(x, y) * g_{\alpha_0}(x, y)$$

$$f_{22}(x, y) = f_2(x, y) * g_{\alpha_0}(x, y) * g_{\alpha_1}(x, y) \quad (3)$$

经过再次成像后,清晰部分的高频信息被削弱,图像块灰度特征变化大;模糊部分的中频或低频信息较多,图像块灰度特征变化小. 文献[5]提出一种无参考图像清晰度评估方法,将原始图像与其模糊图像进行特征比较,若差异很大,则原始图像是清晰的;若有轻微差异,则原始图像是模糊的. 基于此思想,本文通过计算原始图像与再次成像的灰度差平均值的差异来判断图像块清晰与否.

假设图像 f_1 、 f_2 、 f_{11} 、 f_{22} 被划分成尺寸大小为 $K \times K$ 的子块,分别计算 f_1 与 f_{11} 的平均灰度差、 f_2 与 f_{22} 的平均灰度差,两个平均灰度差值的差异作为度量图像清晰度的指标 R 如下:

$$R_1 = \frac{1}{K \times K} \sum_{i=1}^K (f_1 - f_{11}) \quad (4)$$

$$R_2 = \frac{1}{K \times K} \sum_{i=1}^K (f_2 - f_{22})$$

$$R = R_1 - R_2 \quad (5)$$

用决策图 C 记录图像块的清晰情况,若 f_1 清晰,则 C 为 1(白色);若 f_2 清晰,则 C 为 0(黑色). 根据差异值 R 来判断清晰与否,其思想如下所示:

(1) 如果 $R > 0$, 则图像块 f_1 为清晰块, 图像块 f_2 为模糊块, 置 $C = 1$.

(2) 如果 $R < 0$, 则图像块 f_2 为清晰块, 图像块 f_1 为模糊块, 置 $C = 0$.

(3) 如果 $R = 0$, 取平均灰度值大的块为清晰块, 若 f_1 的平均灰度值大, 置 $C = 1$, 否则置 $C = 0$.

2.2 基于一致性原则的区域隶属图

如果仅通过单一尺寸块来判断图像是否清晰, 会因为子块尺寸的选择不当而影响到子块的隶属情况, 进而影响融合结果的性能. 目前, 绝大多数的文献都是采用 3×3 或 5×5 或 7×7 尺寸, 由于图像的多样性与复杂性, 单一尺寸的划分会对融合性能产生影响. 当子块尺寸选择较大, 部分清晰区域有可能归并到模糊区域中, 使得属于模糊的块包含了清晰部分; 或者部分模糊区域有可能归并到清晰区域中, 使得属于清晰的块包含模糊部分; 当子块尺寸选择较小, 那么清晰区域有可能被划分为模糊区域, 使得实际是清晰的块被当作模糊块; 或模糊区域被划分为清晰区域, 使得实际是模糊的块被当作清晰块. 考虑到这些情况的存在, 为了减弱误差的产生, 本文对根据点扩散函数得到的清晰度差异图进行隶属情况确定, 采用一致性检验原则进行判断. 假设根据灰度差差异得到了图像的区域决策图, 根据此图进行隶属情况判断, 得到区域隶属图. 若区域隶属图为白色(值为 1)代表图像 f_1 为清晰, 若区域隶属图为黑色(值为 0)代表图像 f_2 为清晰, 若区域隶属图为灰色(值为 0.5)代表该图像块的隶属情况尚未确定. 假设有一邻域为 3×3 的区域决策图如图 1 所示.

C_2	C_3	C_4
C_5	C_1	C_6
C_7	C_8	C_9

图1 3×3 的区域决策图

用区域隶属图 S 记录图像块的隶属情况, 下面分两种情况考虑中间子块:

(1) 若 C_1 与其八邻域 $C_2 \sim C_9$ 的隶属情况一致, 即都为 0 或为 1, 则说明子块 C_1 的隶属情况是确定的, 置 $S = C_1$.

(2) 若 C_1 与其八邻域 $C_2 \sim C_9$ 其中之一的隶属情况不一致, 说明子块 C_1 的隶属情况尚不能确定, 置 $S =$

0.5.

基于一致性原则的块隶属情况确定方法,将隶属情况有可能被判断错误的区域归为不确定区域,确保了其余的区域的隶属情况是确定的,并且尽可能是正确的.如果子块的隶属情况确定,用该子块的区域决策值作为该子块的隶属情况值;如果未确定,则用 0.5(灰色)替代.如图 2 所示.

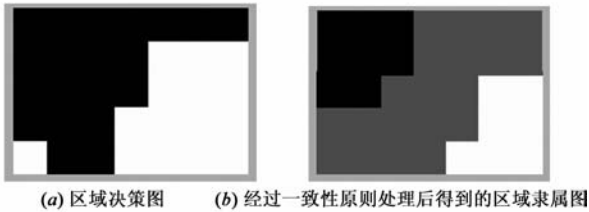


图 2 区域决策图与一致性原则处理结果比较

2.3 基于多级分块迭代法的区域划分图

根据概率论^[6],样本数目越小概率越不稳定,样本数目越大概率越趋向于一个稳定值,尺寸选择小了,子块包含的图像的像素个数少,子块的隶属情况在清晰与模糊之间波动,不够稳定;随着尺寸增大,子块包含的图像的像素个数增多,子块的隶属情况将趋于稳定.因此,当子块尺寸选择较大时,可以断定根据上面的基于一致性原则得到的子块的隶属情况是正确的.随着子块尺寸逐渐变小,子块的隶属情况逐渐不稳定,因此有可能会产生误差,但这些误差一般出现在清晰和模糊的交界处,个数相对较少.

迭代法是一种不断用变量的旧值递推新值的过程,本文将迭代法和多级分块法结合,用于图像的清晰区域划分.假设将源图像 $f_1(x, y)$ 、 $f_2(x, y)$ 和再次成像 $f_{11}(x, y)$ 、 $f_{22}(x, y)$ 分别划分成尺寸大小为 $K_i \times K_i$ ($i = 1 \sim t$) 的子块,其中: $K_1 > K_2 > K_3 > \dots > K_t$,即将图像分别按从大尺寸到小尺寸进行分块,将图像划分到 t 种级别.分别计算每种级别下的区域决策图 C 、区域隶属图 S ,而区域划分图 A 按照下面步骤得到:

(1) 对于第 1 级,第 1 级区域划分图等于第 1 级区域隶属图,即 $A_1(x, y) = S_1(x, y)$.

(2) 对于第 2 级到第 t 级,区域划分图采用如下的方法判断:

i 若第 $(i-1)$ 级区域划分图和第 i 级区域隶属图所对应的块同为白色或其中之一为白色,则第 i 级区域划分图对应的块为白色,则 $A_i(x, y) = 1$,其中 $i = 2 \sim t$.

ii 若第 $(i-1)$ 级区域划分图和第 i 级区域隶属图对应的块同为黑色或其中之一为黑色,则第 i 级区域划分图所对应的块为黑色,则 $A_i(x, y) = 0$.

iii 若第 $(i-1)$ 级区域划分图和第 i 级区域隶属图对应的块同为灰色,则第 i 级区域划分图所对应的块为灰色,则 $A_i(x, y) = 0.5$.

根据上面可知,第 i 级的区域划分图是由第 i 级的区域隶属图和第 $(i-1)$ 级的区域划分图比较产生,逐级迭代计算使得区域划分图中灰色区域越来越少.灰色区域对应的是边界区域或者判断错误的区域,因此随着分级数的增多、尺寸的变小,边界区或者误判就减少到了一定程度.

2.4 融合规则

由于已经对图像进行了区域划分,因此只要提取图像的清晰区域进行融合就得到融合图像.根据上面得到的区域划分图,采用加权法的融合规则.设 $f_1(x, y)$ 为图像 f_1 中 (x, y) 处的像素点, $f_2(x, y)$ 为图像 f_2 中 (x, y) 处的像素点,假设融合得到的图像为 $R(x, y)$,区域划分图为 $A(x, y)$,则融合图像中的像素点可以通过下式得到:

$$R(x, y) = \omega_{f_1}(x, y)f_1(x, y) + \omega_{f_2}(x, y)f_2(x, y)$$

$$\omega_{f_1}(x, y) + \omega_{f_2}(x, y) = 1 \quad (6)$$

式(6)中 $\omega_{f_1}(x, y)$ 和 $\omega_{f_2}(x, y)$ 分别为图像 $f_1(x, y)$ 和图像 $f_2(x, y)$ 的权值,权值的选择可以通过下述方法确定:

(1) 若 $A(x, y) = 1$,说明图像 $f_1(x, y)$ 为清晰,图像 $f_2(x, y)$ 为模糊,则 $\omega_{f_1}(x, y) = 1, \omega_{f_2}(x, y) = 0$;

(2) 若 $A(x, y) = 0$,说明图像 $f_1(x, y)$ 为模糊,图像 $f_2(x, y)$ 为清晰,则 $\omega_{f_1}(x, y) = 0, \omega_{f_2}(x, y) = 1$;

(3) 若 $A(x, y) = 0.5$,说明图像 $f_1(x, y)$ 和 $f_2(x, y)$ 都处于清晰与模糊交界处,或者图像 f_1 和 f_2 的灰度值差异不大,则 $\omega_{f_1}(x, y) = \omega_{f_2}(x, y) = 0.5$.

3 融合实验和性能评价

本文采用美国 Lehigh 大学提供的一组不同聚焦图像和标准图像进行实验,图像大小为 640×480 ,像素为 256 级灰度.为了验证提出方法的有效性,将方法与一些传统方法进行比较.加权平均法是一种简单、快速的方法,是许多复杂方法的基础.区域能量法根据区域特征进行融合,对区域特征描述的准确性要求较高.小波变换法具有良好的时频分析特性、多尺度特性和方向特性,变换域反变换过程易造成信息的丢失.

图 3(a)~(i)中,(a)为标准图像;(b)聚焦在前景时钟;(c)聚焦在背景书架;(d)是采用加权平均法得到的图像,整体效果模糊,图像的边缘等高频信息被平均亮度所淹没;(e)是采用区域能量法得到的图像,出现严重的块效应;(f)、(g)、(h)是采用不同小波基进行融合得到的结果;(i)是本文方法融合得到的图像,采用 8 级划分,图(i)很好地保留了原始图像的清晰区域,同时克服了两幅图像融合时边界模糊或出现块效应的现象.

图 4 是 disk 图像融合结果局部放大图,该位置在源图像 1 中是完全模糊,在源图像 2 中是完全清晰.综合比较几种方法,本文方法的融合结果与标准图像相比几乎一致.

图 5 是 disk 图像融合结果在交界处局部放大图,加权平均法整体效果模糊,区域能量法在灰度值有突变的地方产生块效应,小波变换法产生重影现象,本文方法得到的融合图像中,边缘清晰,没有块现象也没有模

糊现象,与标准图像最接近.

图 6 是对 disk 图像采用 8 级分块迭代法计算图像区域划分图的过程,子块尺寸分别为:100,60,40,30,20,10,7,5,其中 $C_i (i=1\sim 8)$ 代表区域决策图, S_i 代表区域隶属图, A_i 代表区域划分图.如图(a)所示, S_1 等于 A_1 ; A_2 由 S_2 和 A_1 决定; A_3 由 S_3 和 A_2 决定;以此类推,经过 8 级迭代后,最后一级的区域划分图就是最终得到的区域划分图,即 A_8 .

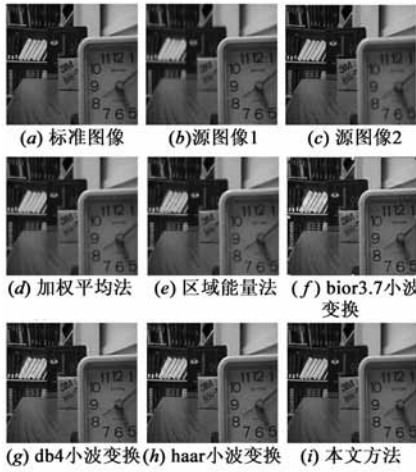


图3 不同聚焦图像融合的结果

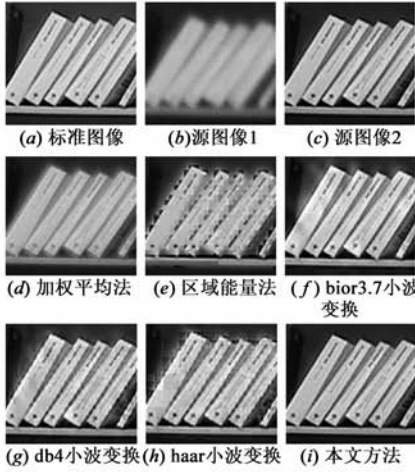


图4 融合结果的局部图

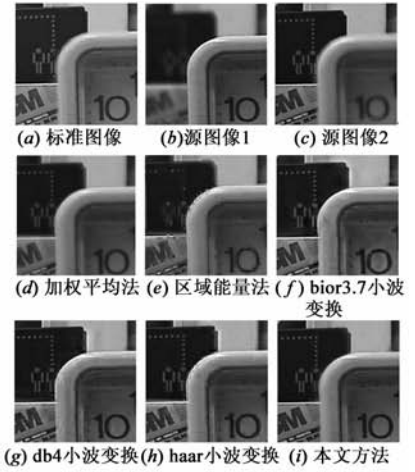
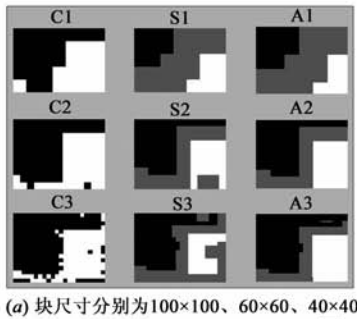
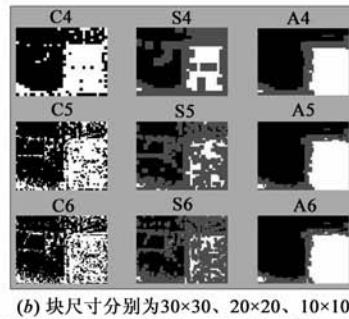


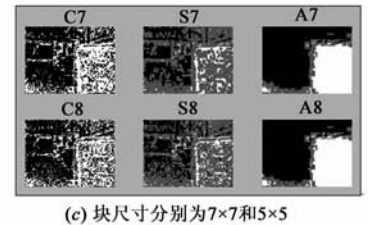
图5 融合结果在交界处的局部图



(a) 块尺寸分别为100×100、60×60、40×40



(b) 块尺寸分别为30×30、20×20、10×10



(c) 块尺寸分别为7×7和5×5

图6 不同块尺寸下的区域决策图、区域隶属图、区域划分图

融合性能客观评价方法有很多种,本文采用平均误差(D)、峰值信噪比(PSNR)、相关系数(REL)、空间频率(SF)四种方法进行评价^[7],得到的各项参数值如表1所示.平均误差、峰值信噪比、相关系数都反映了标准图像和融合图像的差异程度.D越小或PSNR越大或REL越大,融合效果越好.本文实验用图给出了标准图像,因此适合采用平均误差、峰值信噪比、相关系数三类方法.空间频率反映了图像像素变化的快慢,不需要标准图像,SF越大,说明图像携带的高频信息越多.

从表1可以看出,在级数为4级以上时,本文方法的融合性能优于加权平均法、区域能量法和小波变换法.究竟取多少级才能够取得较好的融合效果?针对disk图像,进行了大量的实验,结果表明,随着级数的增大,四项评价指标大致趋势是:D递减,PSNR递增,REL递增,SF递增,各项指标往好的趋势发展.综合四项评

价指标来看,对于disk图像,取7级和8级时融合效果较理想.但仍要考虑到最大块尺寸和最小块尺寸以及块之间的间距等问题,在级数不变时,它们三者对融合性能的影响最大.disk图像尺寸为640×480,实验发现,最大块尺寸最好不超过图像尺寸的一半,如取表1中的 $K=300,250,200,150,100,50,30,10$ (8级)和 $K=400,300,200,100,50,20,10,5$ (8级)两种方案时,其融合性能有所降低,而取图像尺寸的1/4时得到的结果较理想,如级数为8级时,最大尺寸选择100,最小尺寸选择3或5,如取 $K=100,60,35,20,15,10,5,3$ (8级)时,得到的融合图像性能较优.块尺寸间距最好是递减的,如取 $K=100,60,40,30,20,10,5,3$ (8级),其块间距分别为(40,20,10,10,5,2),块尺寸间距递减有利于捕捉图像在不同块尺寸划分时的特征.而最小尺寸最好选择到3或5或7,因为最小尺寸决定了清晰与模糊边界的范

围,最小尺寸越小越好.

表 1 融合结果评价参数比较(K 代表不同级别下的块尺寸)

	D	PSNR	REL	SF
disk 源图像 1	3.6712	28.3584	0.9822	13.8292
disk 源图像 2	3.6715	28.1375	0.9816	14.7794
平均法	5.3994	27.0497	0.9716	8.3400
区域能量法($K=3$)	5.9866	25.1640	0.9575	13.6686
区域能量法($K=5$)	5.6044	25.7854	0.9613	13.7012
bior3.7 小波变换	3.7374	31.8974	0.9861	14.5925
db4 小波变换	3.7107	32.4981	0.9871	13.1377
haar 小波变换	3.7776	30.8199	0.9848	14.5356
$K=3$ (1级)	3.7107	30.4981	0.9871	12.1377
$K=5$ (1级)	3.8322	30.2518	0.9864	12.5115
$K=7,5$ (2级)	3.3094	31.1436	0.9888	13.4745
$K=20,5$ (2级)	2.5562	32.4981	0.9917	13.3336
$K=20,10,5$ (3级)	2.5042	32.5572	0.9918	14.4171
$K=40,20,10$ (3级)	1.6609	35.2804	0.9956	14.3523
$K=40,20,10,5$ (4级)	1.6183	35.3335	0.9956	14.4727
$K=80,40,20,10$ (4级)	1.4272	37.0844	0.9971	14.6703
$K=100,60,35,20,5$ (5级)	1.4110	36.8372	0.9969	14.7704
$K=48,24,12,6,3$ (5级)	1.7980	34.5839	0.9948	14.3739
$K=100,60,35,20,10,5$ (6级)	1.3793	36.9631	0.9970	14.7983
$K=30,25,20,15,10,5$ (6级)	1.8308	34.6233	0.9949	14.2628
$K=35,30,25,20,15,10,5$ (7级)	1.3823	36.6661	0.9968	14.7402
$K=70,60,50,40,30,20,10,5$ (7级)	1.3444	37.2830	0.9972	14.7114
$K=100,60,35,20,10,5,3$ (7级)	1.3463	37.0848	0.9971	14.8802
$K=100,60,40,30,20,10,5,3$ (8级)	1.3450	37.0150	0.9970	14.8607
$K=100,70,60,40,20,10,5,3$ (8级)	1.3654	36.9669	0.9970	14.8532
$K=100,80,40,20,10,7,5,3$ (8级)	1.3680	37.0062	0.9970	14.8597
$K=200,150,100,50,30,10,5,3$ (8级)	1.5468	36.0447	0.9963	14.6997
$K=300,250,200,150,100,50,30,10$ (8级)	1.6187	35.9470	0.9962	14.4980
$K=400,300,200,100,50,20,10,5$ (8级)	1.6046	35.9101	0.9962	14.7573

4 结论

本文提出一种基于多级分块迭代法的不同聚焦图像融合方法.将多级分块后计算得到的子块隶属情况图进行迭代运算得到图像的区域划分图,最后选择图像中的清晰区域进行融合处理.提出的方法,能够较准确地提取图像的清晰区域,提高融合的准确性,克服传统融合方法中融合图像产生模糊或出现分块现象等不足,无论在主观视觉上还是客观评价参数上,融合性能均较优.

参考文献

- [1] Wei Huang, Zhongliang Jing. Multi-focus image fusion using pulse coupled neural network [J]. Pattern Recognition Letters, 2007, 28(9): 1123 - 1132.
- [2] Ishita D E, Bhabatosh C. A simple and efficient algorithm for multifocus image fusion using morphological wavelets [J]. Signal Process, 2006, 86(5): 924 - 936.
- [3] 玉振明, 毛士艺, 高飞. 采用局部谐波能量的图像融合准则研究[J]. 电子学报, 2004, 32(6): 890 - 894.

Yu zheng ming, Mao shi yi, Gao fei. A study on rule of image fusion via localized harmonious energy [J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(6): 890 - 894. (in chinese)

- [4] 苗启广, 王宝树. 基于二次成像与清晰度差异的多聚焦图像融合 [J]. 计算机科学, 2005, 32(7): 165 - 167.
- Miao qi guang, Wang bao shu. Multi-focus image fusion based on second imaging and different of clarity [J]. Computer Science, 2005, 32(7): 165 - 167. (in Chinese)
- [5] Crete F, Dolmiere T, Ladret P, et al. The blur effect: perception and estimation with a new noreference perceptual blur metric [A]. In Proc SPIE Conference on Human Vision and Electronic Imaging XII [C]. San Jose, CA, USA: SPIE, 2007.
- [6] 涂平, 汪昌瑞. 概率论与数理统计 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2008: 107 - 112.
- Tu ping, Wang chang rui. Probability and mathematical statistics [M]. Wuhan: Hua Zhong University Press, 2008: 107 - 112. (in chinese)
- [7] 楚恒. 像素级图像融合及其关键技术研究 [D]. 成都电子科技大学电子工程学院, 2008.
- Chu heng. Research on Pixel-Level Image Fusion and Its Key Technologies [D]. Cheng Du: School of Electronic Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, 2008. (in chinese)
- [8] 胡良梅, 高隽, 何柯峰. 图像融合质量评价方法的研究 [J]. 电子学报, 2004, 32(6): 218 - 221.
- Hu liang mei, Gao jun, He ke feng. Research on quality measures for image fusion [J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(6): 218 - 221. (in chinese)
- [9] Pajares G, Cruz J M. A wavelet-based image fusion tutorial [J]. Pattern Recognition, 2004, 37(9): 1855 - 1872.

作者简介



高雪妮 女, 1984年12月出生于广西来宾. 广西大学计算机与电子信息学院硕士研究生. 主要研究方向: 数字图像处理.
E-mail: gxn0275@sina.com



玉振明 男, 1963年出生于广西藤县. 梧州学院教授, 2005年获北京航空航天大学信号与信息处理专业博士学位, 现是北京航空航天大学在站博士后. 主要研究方向: 图像信息处理, 电机控制. E-mail: yumingming@vip.sina.com