

基于多小波变换的多聚焦图像融合

朱四荣,王迎春

ZHU Si-rong, WANG Ying-chun

武汉理工大学 理学院, 武汉 430070

School of Sciences, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China

E-mail: zhusirong@whut.edu.cn

ZHU Si-rong, WANG Ying-chun. Multi-focus image fusion method based on multi-wavelet transform. Computer Engineering and Applications, 2010, 46(6): 169-170.

Abstract: The key problem in multi-focus image fusion is how to keep the detail and edge in the original image. Based on the features of more decomposing sub-images generated by the multi-wavelet analysis function, a new image fusion method is proposed in this paper. In wavelet domain, different fusion rules are adopted for low frequency coefficient and high frequency coefficient. The rule of average method is used to fuse low frequency coefficient and the contrast of edge gradient for high frequency coefficient. The experiments demonstrate that this method can save the edge of original image and improve the result.

Key words: multi-wavelet; edge gradient; image fusion

摘要: 多聚焦图像融合的关键问题是如何保持原始图像的边缘和细节信息。多小波分析具有多个分析基函数和产生更多分解子图像的特点。在多小波变换域对低频和高频小波系数采用不同的融合方法——对低频系数采用取平均的方法,而对高频系数采用边缘梯度对比的方法。通过实验证明,该方法能够很好地保存图像的边缘和细节信息,融合结果得到了改善。

关键词: 多小波变换;边缘梯度;图像融合

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2010.06.049

文章编号: 1002-8331(2010)06-0169-02

文献标识码: A

中图分类号: TP391

图像融合的目的是通过对多幅图像信息的提取与综合, 获得对同一场景/目标更为准确、全面、可靠的图像描述, 使融合图像更符合人或机器的视觉特性, 以利于对图像的进一步分析、理解以及目标的检测、识别或跟踪。多聚焦图像的融合是图像融合研究内容之一, 指在相同的成像条件下, 镜头聚焦目标不同的多个源图像, 通过图像融合技术可得到一幅各个景物都清晰的融合图像。多聚焦图像融合的方法很多, 其中小波变换由于其具有良好的时-频特性, 使得基于小波变换的图像融合成为了热点^[1-2]。而多小波是小波理论的发展, 多小波是指由两个或者两个以上的函数作为尺度函数生成的小波。多小波可以同时拥有许多良好的性质, 如对称性、短支撑性、正交性和高阶消失矩等。这些性质对于图像分析和处理是非常重要的, 但是实系数单小波则不能同时具有这些性质, 所以多小波在图像分析和处理方面具有单小波所不具有的优点, 它能够为图像提供更加精确的分析方法, 也更适合运用到图像融合中去。

文献[3]在多小波变换域对低频系数和高频系数分别采用取绝对值最大和绝对值最小的融合规则, 文献[4]中在多小波变换域对低频系数和高频系数分别采用基于区域均方差加权平均的方法和区域能量匹配的方法, 融合结果都得到了改善, 可是没有能够较好地保留原图像的细节和边缘。针对此问题, 对图像作多小波分解后所得的低频系数和高频系数采用不同

的融合规则, 对低频用取平均的方法, 由于高频系数对应于原图像的边缘和细节, 为了更好地保留细节, 利用边缘提取特征的方法选取高频系数。实验结果表明, 用 GHM 多小波融合的结果比 sym4 小波融合的结果更好地保留了原图像的边缘和细节, 效果得到了改善。

1 多小波变换

多小波变换也是在多分辨率分析的基础上建立起来的, 不同之处是: 多小波基是由多个小波母函数经过伸缩平移生成的, 相应地有多个尺度函数^[5]。在多分辨分析中, 设

$$V_j \subset V_{j+1} (j \in Z), \bigcap_{j \in Z} V_j = \{0\}, \bigcup_{j \in Z} V_j = L^2(R^r)$$

在多分辨分析中, V_0 是由 r 个尺度函数的平移 $\phi_1(x-k)$, $\phi_2(x-k), \dots, \phi_r(x-k)$ 生成的, 记 $V_1 = V_0 \oplus W_0$, 与 $\phi_1(x), \phi_2(x), \dots, \phi_r(x)$ 对应的 r 个小波函数 $\varphi_1(x), \varphi_2(x), \dots, \varphi_r(x)$ 构成了子空间 W_0 的基。记 $\Psi(x) = [\varphi_1(x), \varphi_2(x), \dots, \varphi_r(x)]^T$, $\Phi(x) = [\phi_1(x), \phi_2(x), \dots, \phi_r(x)]^T$ 则 $\Psi(x), \Phi(x)$ 满足矩阵两尺度方程:

$$\Phi(x) = \sum_k H_k \Phi(2x-k) \quad (1)$$

基金项目: 国家自然科学基金(the National Natural Science Foundation of China under Grant No.10672128, No.50878169)。

作者简介: 朱四荣(1969-), 女, 教授。

收稿日期: 2008-08-28 修回日期: 2008-10-30

$$\Psi(x) = \sum_k G_k \Phi(2x-k) \quad (2)$$

式中, H_k, G_k 是 $r \times r$ 的矩阵, 称为矩阵滤波器的系数。

将单小波中的分解与重构 Mallat 算法推广至多小波, 得到多小波分解:

$$C_{j-1,k} = \sqrt{2} \sum_{n \in Z} H_{n-2k} C_{j,n}, D_{j-1,k} = \sqrt{2} \sum_{n \in Z} G_{n-2k} C_{j,n} \quad (3)$$

$C_{j-1,k}$ 是低通部分, 称为尺度系数, $D_{j-1,k}$ 是高通部分, 称为小波系数。

多小波重构:

$$C_{j,k} = \sum_{n \in Z} H_{n-2k}^T C_{j-1,k} + \sum_{n \in Z} G_{n-2k}^T D_{j-1,k} \quad (4)$$

2 基于多小波变换的图像融合与融合性能的评价

2.1 图像融合

基于多小波分解的图像融合框架(见图1)。图中图像 A, B 表示同一场景不同焦点的 2 幅图像。首先将原图像进行预处理, 然后分别进行多小波分解, 在多小波变换域对所得到的各个子图像, 按照一定的规则进行融合, 将融合后的结果进行多小波重构, 最后经过与预处理对应的后处理, 得到融合图像。

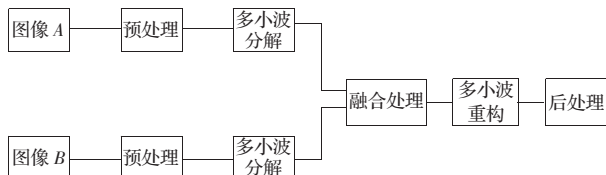


图1 融合框架图

变换域融合规则是图像融合的关键。采用了变换域低频、高频分解图像分别进行融合处理的方法, 具体如下:

(1)关于变换域低频分量图像融合: 变换域低频分量的分解图像包含了原图像中较为“粗大”的结构信息。为此对两幅图像多小波分解后的低频系数取平均。即

$$C_j = \frac{C_j^A + C_j^B}{2} \quad (1 \leq j \leq J) \quad (5)$$

其中, C_j 为融合后图像的在第 j 级的低频系数, C_j^A, C_j^B 分别是图像 A 与图像 B 的在第 j 级的低频系数。

(2)对于高频分量的图像, 由于高频分量对应图像的细节和突变的地方, 边缘是图像的重要特征, 包含有价值的目标信息, 因此采用一种基于区域特性的融合方法——边缘梯度对比^[6]来选取高频系数。即融合规则如下:

$$D_j(x,y) = \begin{cases} D_j^A(x,y), & |s_j^A(x,y)| \geq |s_j^B(x,y)| \\ D_j^B(x,y), & |s_j^A(x,y)| < |s_j^B(x,y)| \end{cases} \quad (6)$$

式中, $D_j(x,y)$ 为融合后图像的在第 j 级的高频系数, $D_j^A(x,y), D_j^B(x,y)$ 分别是图像 A 与图像 B 在第 j 级高频系数。 $s_j^l(x,y)$ 是在第 j 级以 (x,y) 为中心大小为 $(2d+1) \times (2d+1)$ 的窗内边缘检测算子与所在局部区域每个像素点的多小波变换高频系数的乘积的代数和, 它可用如下公式来表示:

$$s_j^l(x,y) = \sum_{m=-d}^d \sum_{n=-d}^d D[m,n] D_j^l(m+x, n+y) \quad (l=A, B) \quad (7)$$

其中, d 的大小取决于窗口的大小或所包含像素的个数, 例如:

当 $d=1$ 时, 窗口的大小为 3×3 , 像素个数为 9; 当 $d=2$ 时, 窗口的大小为 5×5 , 像素个数为 25; 依次类推。 $D[m,n]$ 为边缘检测算子。常用的边缘检测算子有梯度算子、Robert 算子、Laplace 算子、Sobel 算子、Prewitt 算子等。该文采用 Laplace 算子和窗口大小为 3×3 的窗口。

2.2 融合性能的评价

对图像融合处理过程的基本要求是: 在处理过程中, 必须保留所有来于原图像的有用信息, 处理过程不得引入新的噪声信息。对于融合图像质量的评价目前还没有一个全面、客观和统一的标准, 通常采用观察者的主观判断为主, 客观定量分析为辅的原则。该文就利用清晰度和标准差来作为融合结果的客观评价标准。

(1)清晰度(或平均梯度)可以反映图像微小细节反差及纹理变化特征, 用来评价图像的清晰程度, 清晰度越大, 细节保持越完整, 融合图像越清晰。评价公式为:

$$\nabla \bar{G} = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sqrt{(\Delta_x^2(i,j) + \Delta_y^2(i,j))} \quad (8)$$

其中, $I(i,j)$ 是图像的灰度, $\Delta_x(i,j), \Delta_y(i,j)$ 分别是 $I(i,j)$ 沿 x 和 y 方向的差分, 图像大小为 $M \times N$ 。

(2)标准差用于评价图像反差的大小, 若标准差大, 则图像的反差大, 携带的信息更多, 融合结果越好。评价公式为:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (I(i,j) - \bar{I})^2}{MN}} \quad (9)$$

其中, \bar{I} 是图像灰度的均值。

3 实验结果与分析

图2中的两幅图像是关于多聚焦图像融合通常采用的范例。采用该图像进行融合实验, 其中图2(a)为远景清晰钟表图像, 而(b)为近景清晰钟表图像。



(a)远景清晰钟表图像 (b)近景清晰钟表图像
图2 多聚焦图像

分别采用 GHM 多小波和 sym4 小波对图像进行 2 层分解后利用提出的融合规则进行融合, 实验结果如图 3, (a)为 GHM 多小波融合的结果, (b)为 sym4 小波融合的结果。从融合图像的视觉效果可以看出, 利用多小波得到的融合图像(图 3(a))更多地保留了细节信息, 图像的边缘也很清楚。表 1 列出了文中两种方法融合所得图像的标准差和清晰度。可以看出, 利用



(a)GHM 多小波融合的结果 (b)sym4 小波融合的结果