

基于边缘特征和能量的图像融合方法

罗南超¹, 向昌成^{1,2}

(1. 阿坝师范高等专科学校计算机科学系, 郫县 611741; 2. 电子科技大学应用数学学院, 成都 610054)

摘 要: 根据低频域平均法, 提出基于低频边缘特征和能量的多聚焦小波图像融合方法, 对需要融合图像进行小波多尺度分解, 按区域能量最大化原则对高频细节分量图像进行融合, 对低频近似分量图像采用能量与边缘特征相结合的融合方法。实验结果表明, 与原有方法相比, 该方法能更好地体现低频域边缘特征和区域特征。

关键词: 图像融合; 小波变换; 边缘特征; 能量

Image Fusion Method Based on Edge Characteristics and Energy

LUO Nan-chao¹, XIANG Chang-cheng^{1,2}

(1. Department of Computer Science, Aba Teachers College, Pixian 611741;

2. Institute of Applied Mathematics, University of Electronic Science and Technology, Chengdu 610054)

【Abstract】 According to low-frequency domain average method, this paper proposes a multifocus wavelet image fusion method based on low-frequency edge characteristics and energy. It adopts wavelet multi-scale decomposition in the image needs fusion. High-frequency details of the components of image are fused according to region energy maximization principle, while the low-frequency approximation component of image edge characteristics are combined with the energy of the fusion method. Experimental results show that compared with existing methods, this method can embody low frequency domain edge characteristics and regional characteristics better.

【Key words】 image fusion; wavelet transformation; edge feature; energy

1 概述

在基于小波变换的像素级图像融合中, 小波系数的选择是融合技术的核心。传统直接加权平均法^[1-2]没有考虑图像的边缘特征, 一定程度上导致了图像的边缘模糊。本文在传统多分辨率融合方法的基础上, 提出一种基于低频近似分量图像边缘特征和能量特征的图像融合方法, 它的基本思想是先对源图像做基于小波变换的多分辨率分解, 然后对低频近似分量图像进行边缘提取, 根据其是否为边缘采取相应的系数选取规则, 最后进行小波逆变换得到融合图像。

2 二维图像的Mallat快速算法

Mallat 在 Burt 和 Adelson 图像分解与重构金字塔算法的启发下, 基于小波分析, 提出 Mallat 算法^[3-4]。它利用一组低通滤波器和一组高通滤波器将信号分别分解成近似信号和高频信号。一般认为, Mallat 算法在小波分析中的地位类似于快速傅里叶变换在经典傅里叶分析中的地位。

对于二维图像信号, Mallat 算法通过低通滤波器和高通滤波器的组合将图像信号分解成一个低频信号和水平、垂直、对角 3 个高频信号, 具体分解公式如下:

$$\begin{cases} c_{n,m}^j = \sum_{k,l \in Z} \bar{h}_{k-2n} \bar{h}_{l-2m} c_{k,l}^{j-1} \\ d_{n,m}^{j1} = \sum_{k,l \in Z} \bar{h}_{k-2n} \bar{g}_{l-2m} c_{k,l}^{j-1} \\ d_{n,m}^{j2} = \sum_{k,l \in Z} \bar{g}_{k-2n} \bar{h}_{l-2m} c_{k,l}^{j-1} \\ d_{n,m}^{j3} = \sum_{k,l \in Z} \bar{g}_{k-2n} \bar{g}_{l-2m} c_{k,l}^{j-1} \end{cases} \quad (1)$$

其中, $\{c_{n,m}^0\}_{n,m \in Z}$ 属于 V_0^2 , 代表原始图像的离散数据; h 表示低通滤波器, g 为高通滤波器, 这 2 个值可以通过小波基平

移和伸缩变化得到; $c_{n,m}^j$ 表示在分辨率为 $j(j=1,2,3)$ 的条件下, 图像的低频信号, 是图像的逼近系数; $d_{n,m}^{j1}$ 、 $d_{n,m}^{j2}$ 、 $d_{n,m}^{j3}$ 分别为图像的水平、垂直、对角高频信号。通常将图像分到第 3 层, 即 $j=1,2,3$ 。

其重构公式如下:

$$c_{n,m}^{j-1} = \sum_{k,l \in Z} [h_{n-2k} h_{m-2l} c_{k,l}^j + h_{n-2k} h_{m-2l} d_{k,l}^{j1} + g_{n-2k} h_{m-2l} d_{k,l}^{j2} + g_{n-2k} g_{m-2l} d_{k,l}^{j3}] \quad (2)$$

3 基于小波系数图像的融合方法

假设待融合的源图像为 P 和 Q , 融合后的图像为 F , 则可据式(1)、式(2)的分解和重构可以进行图像融合, 具体步骤如下:

(1) 用小波变换将源图像 P 、 Q 分解, 得到源图像的多分辨率分解, 即

$$\begin{cases} P = P_n + W_n^P + W_{n-1}^P + \cdots + W_1^P \\ Q = Q_n + W_n^Q + W_{n-1}^Q + \cdots + W_1^Q \end{cases} \quad (3)$$

其中, P_n 、 Q_n 分别为 P 和 Q 在尺度 n 下的近似量; W_i^P 、 W_i^Q 分别为 P 、 Q 在 i 尺度下的小波系数, $i=1,2,\dots,n$ 。

(2) 对高低频系数采用不同融合规则, 分别对分解后的图像在频域进行融合。

(3) 经过小波逆变换, 得到最后的融合图像。

高频和低频系数融合规则的选取至关重要, 本文分别给出图像高频部分和低频部分的融合规则。

作者简介: 罗南超(1975—), 男, 讲师、学士, 主研方向: 图形图像处理, 算法理论研究; 向昌成, 讲师、硕士

收稿日期: 2010-03-12 **E-mail:** abtc_lnc@qq.com

3.1 低频系数的选取

研究表明,图像的低频分量集中了图像的主要能量,反映图像的近似和平均特性,传统平均法虽然取得了不错的效果,但低频分量图像融合中没有考虑边缘细节问题,因此,考虑到低频分量能量大小体现了亮度特征这一事实,本文提出基于低频边缘特征和能量特征的图像融合算法,其主要思想为通过 sobel 边缘检测算子对图像低频分量进行边缘检测,对边缘部分采用绝对值取大的方法选取低频小波系数,非边缘部分采用局部能量取大的方法选取低频小波系数。

假设 cA^k 和 cB^k 分别为 2 幅待融合图像的第 k 层小波分解的近似图像,通过边缘检测得到边缘图像 E^k ,其中,近似图像和边缘图像大小一致,若 E^k 中的元素为 1,则表示该像素为边缘像素,否则为非边缘像素。因此,低频部分融合算法描述如下:

```

if  $E^k(i,j)$  为 1
    if  $\text{abs}(cA^k(i,j)) > \text{abs}(cB^k(i,j))$ 
         $cF^k(i,j) = cA^k(i,j)$ 
    else
         $cF^k(i,j) = cB^k(i,j)$ 
    end
Else
    if  $EA^k(i,j) > EB^k(i,j)$ 
         $cF^k(i,j) = cA^k(i,j)$ 
    else
         $cF^k(i,j) = cB^k(i,j)$ 
    end
end
end

```

$EA^k(i,j)$ 和 $EB^k(i,j)$ 分别代表 A、B 图像小波分解的第 k 层近似分量图像以 (i,j) 为中心的 3×3 窗口的区域能量。

3.2 高频系数的选取

高频系数代表图像的纹理特征,对应像素区域能量越大,其纹理特征越明显,而最大值准则和局部梯度准则在选取小波系数时容易受孤立噪声点的干扰,可能导致选择错误的分解系数。因此,对于高频系数的融合,本文采用基于区域能量选取的准则。为了突出中心像素,定义掩模窗算子如下:

$$W = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

根据下式计算中心像素及其近邻的能量 E :

$$E_j^L(m,n) = \frac{1}{9} \sum_{m',n'=-1}^1 W(m',n')(D_j(m+m',n+n'))^2$$

根据能量选取高频系数:

$$\begin{cases} FD_j^i(m,n) = AD_j^i(m,n) & \text{if } E_j^A(m,n) \geq E_j^B(m,n) \\ FD_j^i(m,n) = BD_j^i(m,n) & \text{if } E_j^A(m,n) < E_j^B(m,n) \end{cases}$$

其中,分解尺度 j 取 $1 \sim N-1$; $i=1,2,3$,表示高频的水平、垂直和对角线 3 个方向; (m,n) 为中心像素坐标; $E_j^A(m,n)$ 、 $E_j^B(m,n)$ 分别表示以 (m,n) 为中心的当前局部区域的能量, $AD_j^i(m,n)$ 和 $BD_j^i(m,n)$ 分别表示以 (m,n) 为坐标的待融合图像小波分解的高频分量图像的系数。

4 实验及融合效果分析

为验证本文融合算法的有效性,选取 2 幅已经配准的多聚焦图像图 1、图 2,图像大小均为 512×512 ,其中,图 1 左边清晰,右边模糊;图 2 右边清晰,左边模糊。用 bior4.4 小波对源图像进行 3 层小波分解,图 3 为文献[3-4]提出的低频采用平均加权、高频基于局部能量的方法的图像融合结果。

从视觉效果来看,图 3 右半部分文字周围有明显阴影,而本文提出的方法没有此现象,得到了更清晰的图像,见图 4。



图 1 源图 A



图 2 源图 B



图 3 文献[3]方法融合效果



图 4 本文方法融合效果

为定量评价不同融合方法用于多聚焦图像融合的性能,采用平均值、熵、标准差、平均梯度作为客观评价标准^[5-7],平均值一定程度上反映了图像亮度,熵表示图像所含信息量,标准差和平均梯度反映了图像的清晰度。因此,融合性能评价的准则是:对于同一组融合实验,某种融合方法获得的融合图像的平均值、熵、标准差和平均梯度越大,说明该融合方法的性能越好。不同方法的性能比较如表 1 所示,可以看出,本文方法比低频平均法得到了更大的平均值,说明其亮度较高。更大的熵值说明融合图像取得更多的信息量,更大的标准差和平均梯度表明本文方法在图像融合后比平均法获得了更多细节信息,融合图像更清晰。

表 1 不同融合方法的性能比较

评价指标	平均法	本文方法
平均值	97.578 0	98.702 0
熵	7.104 2	7.112 0
标准差	44.991 7	45.353 6
平均梯度	5.467 9	5.497 2

5 结束语

本文根据现有基于小波的图像融合算法,提出一种基于边缘特征和能量特征的图像融合算法。对本文算法与已有算法进行实验和分析,结果表明本文算法在目测效果和客观统计数据上都取得了较好的融合效果。

参考文献

- [1] 龚昌来. 基于局部能量的小波图像融合方法[J]. 激光与红外, 2008, 38(12): 1266-1269.
- [2] Sasikala M, Kumaravel N. A Comparative Analysis of Feature Based Image Fusion Methods[J]. Information Technology Journal, 2007, 6(8): 1224-1230.
- [3] Mallat S G. Multifrequency Channel Decomposition of Images and Wavelet Models[J]. IEEE Trans. on Acoustics Speech, Signal Processing, 1989, 37(12): 2091-2110.
- [4] Mallat S G. A Theory of Multiresolution Signal Decomposition the Wavelet Representation[J]. IEEE PAMI, 1989, 11(7): 674-693.
- [5] 阳方林, 郭红阳, 杨风暴. 像素级图像融合效果的评价方法研究[J]. 测试技术学报, 2002, 16(4): 35-39.
- [6] 王海晖, 彭嘉雄, 吴巍, 等. 多源遥感图像融合效果评价方法研究[J]. 计算机工程与应用, 2003, 39(7): 33-37.
- [7] 裴继红, 杨万海. 基于模糊积分的融合图像评价方法[J]. 计算机学报, 2001, 24(8): 1-5.

编辑 陈 晖