

·信号与信息处理·

## 一种基于小波变换的图像融合方法

章林通, 吕绪良, 隋明序, 孙晓东

(解放军理工大学, 南京 210007)

**摘要:**研究了基于小波变换的图像融合算法,并对基于小波变换的图像融合算法进行了改进。低频系数选用加权平均法进行融合,高频部分先提取出高频子图像的边缘,然后在边缘区域用方差取大的方法进行融合。实验结果表明,该方法在主观的视觉评价和信息熵、标准差、峰值信噪比和空间频率等客观评价准则方面,都是可行的。

**关键词:**图像融合;小波变换;局部方差

中图分类号:TP317.4

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2016)-02-0051-03

## Image Fusion Method Based on Wavelet Transform

ZHANG Lin-tong, LV Xu-liang, SUI Ming-xu, SUN Xiao-dong

(PLA University of Science and Technology, Nanjing 210007, China)

**Abstract:** Image fusion algorithm based on wavelet transform is researched, and the algorithm is improved. Weighted average method is used to low-frequency parameter fusion, and high-frequency sub-image edge is extracted from high-frequency part firstly, and then variance maximum method is used to edge region fusion. Experimental results show that the method is feasible on subjective visual evaluation or objective visual evaluation such as information entropy, standard deviation, peak signal to noise ratio and spatial frequency.

**Key words:** image fusion; wavelet transform; regional variance

信号与信息处理是信息科学中近几十年发展最为迅速的学科之一。图像融合是数字图像处理的一个重要研究领域。小波分析为数字图像融合提供了新的数学工具<sup>[1]</sup>,与传统的图像融合方法相比,小波融合模型不仅能针对输入图像的不同特征来选择合适的小波基和变换次数,而且在融合操作时可根据实际需要来引入双方的细节信息,从而表现出更强的针对性和适用性。因此,研究基于小波分析理论的数字图像融合处理技术具有十分重要的理论意义及实际应用价值。

### 1 算法原理

#### 1.1 几种经典的融合算法

##### (1) HIS融合算法

HIS融合算法是图像融合算法中一种标准的算法。它的主要缺点是只能处理具有三个通道的多光谱图像。HIS算法首先把多光谱图像从RGB空间转换到HIS空间,由于在HIS空间中,多光谱图像的I通道子图像保留了多光谱图像绝大部分的灰度信息<sup>[2]</sup>,所以把全色图像与多光谱图像的I通道子图像进行直方图匹配,接着用进行过直方图匹配的全色图像替代I通道子图像和H、S通道子图像进行反HIS变换,从而得到融合图像。

##### (2)主成分分析(PCA)算法

主成分分析算法与HIS算法比较相似,但它的优点在于它可以处理任意多通道的多光谱图像。它首先把多光谱图像进行PCA变换。一般来说,第一主成分包含了多光谱图像绝大部分的灰度信息,

其他的主成分则包含了多光谱图像的光谱信息<sup>[3]</sup>。接着把全色图像与第一主成分进行直方图匹配,把进行过直方图匹配的全色图像代替第一主成分与其他主成分进行反PCA变换,从而得到融合图像。

### (3) 多分辨率分析算法

多分辨率分析融合算法包含小波分析、塔式分解、小波包分析<sup>[4]</sup>等,它们的算法过程是大致相似的。首先把多光谱图像和全色图像分别进行多分辨率分解,在相同的分解尺度下按照一定的融合规则融合它们的分解系数,再通过多分辨率的重构得到融合图像。

## 1.2 小波算法原理

小波变换的优点有缩放性,信息的保留和小波基的选择多样化。在经过小波变换的图像信息域之后,能够将其分解成很多非首个信号,而且具有不同的空间域分辨率频率方波和局域特征<sup>[5]</sup>。

### (1) 连续小波变换

假设  $\forall f(t) \in L^2(R)$ , 则  $f(t)$  的连续小波变换可以定义为

$$WT(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} \psi \times \left( \frac{t-b}{a} \right) f(t) dt \quad (1)$$

其中,  $a$  是尺度因子;  $b$  是平移参数;  $a$  和  $b$  构成小波基函数, 有下式

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi \left( \frac{t-b}{a} \right) \quad (2)$$

内积形式表示为

$$WT(a,b) = \langle f, \psi_{a,b} \rangle \quad (3)$$

$\psi(t)$  需满足允许性条件为

$$C_\psi = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|\hat{\psi}(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < \infty \quad (4)$$

其中,  $\hat{\psi}(\omega)$  是  $\psi(t)$  的傅里叶变换。  $C_\psi$  这个常数限制了能作为“基小波”的属于  $L^2(R)$  的函数  $\psi$  的类, 若要求  $\psi$  是窗函数, 则  $\psi$  需满足以下关系

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |\psi(t)| dt < \infty \quad (5)$$

可以看出,  $\hat{\psi}(\omega)$  是  $R$  中的一个连续函数。由上式可得  $\hat{\psi}$  在远点必为零, 则有下式

$$\hat{\psi}(0) = \int_{-\infty}^{+\infty} \psi(t) dt = 0 \quad (6)$$

由上式可以发现小波函数具有振荡性。

### (2) 离散小波变换

由于连续小波变换存在冗余性, 因而为了重构

信号, 需针对变换域的变量  $a, b$  进行离散化, 以消除变换中的冗余。在实际中, 取  $b = \frac{k}{2^j}, a = \frac{1}{2^j}; j, k \in Z$ , 则有

$$\psi_{a,b}(t) = \psi_{\frac{1}{2^j}, \frac{k}{2^j}}(t) = 2^{\frac{j}{2}} \psi(2^j t - k) \quad (7)$$

可以记为  $\psi_{j,k}(t)$ , 则其分解公式和重构公式可以分别表示如下

$$WT_f \left( \frac{1}{2^j}, \frac{k}{2^j} \right) = \langle f, \psi_{j,k} \rangle \quad (8)$$

$$f(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \langle f, \psi_{j,k} \rangle \psi_{j,k}(t) \quad (9)$$

在实际使用中, 可以灵活选择小波基函数。

## 2 融合规则

### 2.1 低频子图像融合规则

对于图像的低频分量, 要通过加权平均法对其低频系数进行融合, 因为低频分量反映的是图像主要结构信息, 在进行融合处理时, 要考虑两幅图包含部分相同的结构信息。

设图像  $A$  和  $B$  分别为有待融合的图像, 在进行融合前, 要对其进行  $N$  层小波分解, 就可以求出低频子带的分解系数  $L_{A,N}(x,y)$  和  $L_{B,N}(x,y)$ , 然后通过加权平均法对该系数进行融合, 融合系数可表示为

$$L_{F,N}(x,y) = a_1 L_{A,N}(x,y) + a_2 L_{B,N}(x,y) \quad (10)$$

式中,  $a_1, a_2$  表示加权系数, 且  $a_1 + a_2 = 1$ 。

因为  $A, B$  两图的低频分量涵盖的信息量大致相同, 有  $a_1 = a_2 = 0.5$ 。这种方法有效提高了运算效率, 而且融合效果比较好。

### 2.2 高频子图像融合规则

图像的边缘、区域边界等细节信息都包含在图像的高频部分, 怎样保留这些丰富的细节信息是高频部分图像融合的关键所在。不同灰度等级的区域构成了图像, 物体边缘灰度差。针对高频部分, 局部区域特征突显不同, 采取 Canny 算子与区域方差法对图像的高频系数进行融合。具体方法: 进行图像边缘提取, 在其边缘建立  $3 \times 3$  的区域窗口, 通过比较局部区域方差的大小, 来判断图像所包含细节信息的多少。区域方差越大, 细节信息越多, 图像就越清晰。

局部方差可表示为

$$D = \frac{1}{M \times N} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N [H(x,y) - \mu]^2 \quad (11)$$

式中,  $H(x,y)$  表示高频系数;  $\mu$  表示区域方差均值。

归一化处理后的局部方差为

$$\begin{cases} W_1 = \frac{D_{A,N}(x,y)}{D_{A,N}(x,y) + D_{B,N}(x,y)} \\ W_2 = \frac{D_{B,N}(x,y)}{D_{A,N}(x,y) + D_{B,N}(x,y)} \end{cases} \quad (12)$$

其中,  $D_{A,N}(x,y)$  和  $D_{B,N}(x,y)$  分别为图像 A、B 在各个方向上的局部方差。

### 3 应用实例与分析

用 Matlab 对图像  $a$  与  $b$  来进行图像融合的仿真处理<sup>[6]</sup>, 图 1 中,  $a$  与  $b$  为两幅源图像。



(a)左侧聚焦图像 (b)右侧聚焦图像

图 1 源图像

用各种算法所得的融合图像结果如图 2 所示。



(a)基于 HIS 算法的融合图像 (b)基于 PCA 算法的融合图像 (c)基于区域方差的融合图像

图 2 各融合算法结果图

图 2 中, 图 2a 是利用 HIS 算法进行融合的仿真结果, 图 2b 是主成分分析 (PCA) 算法进行融合仿真的

结果, 图 2c 是用文中改进的方法进行融合仿真的结果。表 1 是客观验证所得结果。

表 1 各个评价指标

图像	熵	标准差	均方根误差	峰值信噪比	空间频率	平均梯度
(a)	7.552 0	55.395 4	6.635 0	70.446 5	11.025 1	5.130 1
(b)	7.568 7	55.501 7	5.515 4	74.035 6	12.999 4	5.525 4
(c)	7.573 1	56.398 3	2.845 2	87.312 4	15.512 0	6.901 1

仅从视觉上就能看出文中的方法得到的融合图像较另外两幅图像清晰, 融合效果较明显。

实验结果表明, 文中所研究的小波变换图像融合算法得到的融合图像效果比其他两种方法更好, 并且得出的图像效果更符合人类视觉效果。实验证明所研究的方法, 对于图像融合过程中能够更多地保留原始图像的信息, 能够解决边缘信息不充分的问题。

### 4 结 论

在小波变换理论的支持下, 研究了基于小波变换的图像融合, 对传统算法进行了改进, 提出了基

于 Canny 算子和区域方差的图像融合算法, 通过与传统算法的仿真实验对比, 用主观和客观这两个质量评价标准验证了该算法的优越性。对于未配准图像以及多幅图像的融合研究将是下一步的主要工作。

### 参考文献

[1] Choi Y, Sharifahmadian E, Latifi S. Performance analysis of contourlet-based hyperspectra limage fusion methods[J]. International Journal on Information Theory, 2013, 2(1): 1-14.  
 [2] Choi Y, latifi S. Modern flash memory technologies: a flash (下转第 75 页)

[6] 白晓棠,段惠丹,李二龙.基于SOA辅助的全光逻辑异或门性能研究[J]. 光电技术应用,2009,24(4):34-37.

[7] Poole C D, Wagner R E. Phenomenological approach to polarisation dispersion in long single-mode fibres[J]. Electronics Letters, 1986, 22(19): 1029-1030.

[8] Dorren H J S, Lenstra D, Liu Y, et al. Nonlinear polarization rotation in semiconductor optical amplifiers: theory and application to all-optical flip-flop memories[J]. IEEE Journal of Quantum Electronics, 2003, 39(1): 141-148.

[9] 程木,吴重庆,赵瑞,等.基于半导体光放大器偏振旋转的全光缓存器[J]. 光学学报,2008,28(10):1898-1902.

[10] 冯震,盛新志,吴重庆,等.半导体光放大器的偏振光开关性能改进[J]. 红外与激光工程,2012(1):124-128.

[11] Fu S, Zhong W, Shum P, et al. Nonlinear polarization rotation in semiconductor optical amplifiers with linear polarization maintenance[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2007, 19(23): 1931-1933.

[12] Liu G, Wu C, Wang F, et al. Measurement of the linewidth enhancement factor based on nonlinear polarization rotation of semiconductor optical amplifier[J]. Applied Optics, 2015, 54(16): 5162-5166.

[13] Zhao S, Wu C, Wang Y. Polarization dependence of linewidth enhancement factor in semiconductor optical amplifier and its implication for nonlinear polarization rotation [J]. Chinese Physics Letters, 2009, 26 (10): 1042051-1042054.

(上接第53页)

translation layer perspective[J]. International Journal of High Performance Systems Architecture, 2013, 4(3).

[3] Choi Y, Latifi S. Future prospects of DRAM: emerging alternatives[J]. International Journal of High Performance Systems Architecture, 2012, 41: 1-12.

[4] Kim G B, Cha S Y, Hyun E K, et al. Integrated planar spi-

ral inductors with CoFe and NiFe Ferromagnetic layer[J]. Microwave and Optical Technology Letters, 50(3).

[5] 李弼程,罗建书.小波分析及其应用[M]. 北京:电子工业出版社,2003.

[6] 陈桂明,张明照,戚红雨.应用MATLAB语言处理数字信号与数字图像[M]. 北京:科学出版社,2001.

(上接第64页)

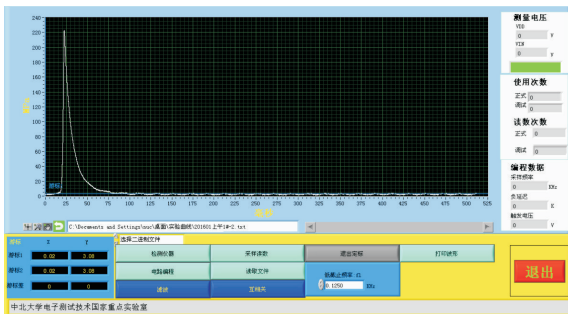


图8 测压仪所测得模拟膛压曲线

### 6 结论

对光触发测压仪光窗结构进行了优化设计,同时对测压仪抗电磁性能和模态进行了仿真分析。通过仿真,改进后的光触发测压仪满足膛压测试要

求。实验结果表明,光触发测压仪能够有效屏蔽火炮膛内电磁的干扰,完整记录膛压曲线。

### 参考文献

[1] 张相炎.火炮设计理论[M]. 北京:北京理工大学出版社, 2005:153-161.

[2] 温星曦,李新娥,王美林.光触发电子测压器的设计[J]. 传感技术学报,2014,27(5):591-594.

[3] 舒跃飞,阎建平.发射药燃烧光谱测试技术[J]. 光电技术应用,2015,30(4):66-69.

[4] 吕文红,郭银景,唐富华.电磁兼容原理及应用教程[M]. 北京:清华大学出版社,2008:180-189.

[5] 马勇,孔春阳.ITO薄膜的光学和电学性质及其应用[J]. 重庆大学学报,2002,25(8):114-117.

[6] 刘飞.基于壳体电容的高压传感器仿真和实验技术研究[D]. 太原:中北大学,2012.

(上接第69页)

structure of thin films[J]. J Vac Sci Technol, 1985.

[4] 侯海虹,洪瑞金,张东平,等.测量薄膜微粗糙度的总积分散射仪[J].中国激光,2005,32(9):1258-1261.

[5] 申振峰,高劲松,陈红,等.用自制总积分散射仪评估

SiC基底表面改性效果[J].光学精密工程,2008,16(10): 1841-1846.

[6] 于昊.散射法表面粗糙度测量的数学模型分析[J]. 长春理工大学学报,2006,29(1):109,112.