

多光谱图像融合中小波分解层数研究

邢素霞

(北京工商大学 计算机与信息工程学院, 北京 100048)

摘 要: 首先根据小波变换原理, 采用 Db9 小波基函数, 对多组多光谱图像分别进行 1~5 层小波分解, 然后根据小波逆变换原理对系数融合后的图像进行逆变换, 得到不同小波分解层的融合图像. 最后, 利用图像质量评价方法信息熵、标准差、互信息、以及图像融合质量综合评价方法等, 对不同分解层下的融合图像进行了评价. 实验结果表明: 小波变换在一层小波分解时, 图像融合效果最佳.

关键词: 小波变换; 图像融合; 分解层; 质量评价

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)01-0176-04

Study on Optimal Wavelet Decomposition Level in Multi-spectral Image Fusion

XING Su-xia

(School of Information Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China)

Abstract: According to the wavelet transform theory, several groups of multi-spectral images were decomposed 1~5 layers respectively by using Db9 wavelet function; and then under the principle of inverse wavelet transform, fused images were obtained. Finally, the image quality evaluation methods such as information entropy, standard deviation, mutual information, and image fusion quality assessment were used to evaluate the fused images under different decomposition layers. Experimental results show that one layer of wavelet decomposition owns the best results in image fusion.

Key words: wavelet transform; image fusion; decomposition level; quality evaluation

1 引言

由于小波变换具有多尺度分析的特点, 在时、频两域都有表征信号局部特征的能力, 近些年在图像融合中取得了良好的效果. 小波融合方法的基本思想是先利用小波变换来得到图像的多尺度表示, 然后在不同尺度上分别实施融合, 比较容易提取原始图像的结构信息和细节信息, 融合效果好于基于金字塔形变换的图像融合法^[1-5]. 但基于小波的图像融合算法仍存在一些尚未解决的问题, 如小波基的选择、小波分解的层数选择等. 这需要对不同分解层的融合图像的质量进行评价.

目前已有文献报道小波的最佳分解层数为 3

层^[6-8], 在这些文献中, 一方面评价方法大多仅选用单幅图像的评价方法, 另一方面, 图像类型单一, 缺乏普遍性. 文中针对以上特点, 选用多种类型的图像进行融合, 在评价方法上既有主观评价, 也有客观评价, 客观评价同时采用单幅图像的质量评价方法和融合图像的质量评价方法, 这样可以全面、客观的反应图像的效果.

2 二维离散小波图像融合理论

两幅配准后待融合图像, 首先经过多分辨率小波分解, 根据一定的图像融合规则, 对小波的低频分量与高频分量分别进行融合, 融合后的小波系数经小波反变换得到融合图像.

收稿日期: 2009-12-14; **修回日期:** 2010-02-16

基金项目: 北京市优秀人才培养项目(2009D005003000006); 北京市教委科技计划项目(KM201010011002)

二维图像的小波分解通常采用离散的小波变换. 假设二维尺度函数可以分解为低通和高通滤波器两部分, 分别用 H (低通) 和 G (高通) 表示, 则按照 Mallat 快速算法, 对二维图像在尺度 $j-1$ 上的小波分解公式如下^[3]:

$$\begin{cases} A_j = H_m H_n A_{j-1} \\ D_j^H = G_m H_n A_{j-1} \\ D_j^V = H_m G_n A_{j-1} \\ D_j^D = G_m G_n A_{j-1} \end{cases} \quad (1)$$

其中, A_j, D_j^H, D_j^V, D_j^D 分别对应于图像 A_{j-1} 的低频成分、垂直、水平、对角方向的高频成分. 与之相应的小波重构公式如下:

$$C_{j-1} = H_m^* H_n^* C_j + H_m^* G_n^* D_j^H + G_m^* H_n^* D_j^V + G_m^* G_n^* D_j^D \quad (2)$$

其中, H^*, G^* 分别为 H, G 的共轭转置矩阵.

小波变换将源图像通过不同的滤波器, 将图像分为近似分量和细节分量, 即低频部分和高频部分, 高频分量又分为水平、垂直和对角 3 个分量. 图像的进一步分解仅对低频分量进行, 如果对图像进行 N 层小波分解, 将有 $(3N+1)$ 个不同的频率分量, 其中包括 $3N$ 个高频分量和一个低频分量.

从小波变换的原理可以看出, 小波的进一步分解是对低频近似分量进行的, 即进一步刻画图像在低频部分的细节特征. 随着分解层数的增加, 频率范围逐渐向零频方向移动, 并且频率范围在逐渐缩小, 因此所能表示的信号就越有限.

小波分解的最大分解层数是由输入图像的尺寸决定的, 小波分解后的最高分解层的子图像大小不能小于 2×2 , 因此, 如果输入图像的尺寸为 $M \times N$, 最高分解层的子图像的大小为 $m_0 \times n_0$, 则图像的小波最高分解层数 $L_{\max}$ 为^[9]:

$$L_{\max} = \text{int}\{\log[\min(M, N)/\min(m_0, n_0)]\} \quad (3)$$

其中, $\min()$ 表示取两个中的最小值, int 表示取整操作.

3 小波融合实验与评价

3.1 小波图像融合实验

选择 4 组多光谱图像, 如图 1 所示. 从上到下、从左到右依次编号为 A 组、B 组、C 组、D 组. A 组为两幅红外和 CCD 的航海图像, 大小为 505×510 ; B 组为野外红外和微光图像, 大小为 360×270 ; C 组为红外和微光航拍图像, 大小为 512×512 ; D 组为不同传感器获取的遥感图像, 大小为 512×512 . 根据式(3), 四组图像的最大分解层数分别为: 7 层、7

层、9 层、9 层. 文中对 4 组图像均采用 1~5 层小波分解. 小波基选择 db9 小波. 在融合规则上, 均采用细节分量上选最大值, 近似分量取平均值的方法. 不同分解层的小波图像融合结果, 如图 2 所示. 每一行代表一组图像在 1~5 层分解的融合结果最左边一列对应 1 层小波分解, 最右边一列对应 5 层小波分解.

从图 2 中可以看出, B 组图像随分解层的增加图像越来越清晰, D 组图像在 1 和 2 层分解上效果没有明显差异, 3~5 层分解后的融合图像视觉效果也基本一致. 其他组图像的视觉效果并没有随分解层的增加而明显改善. 随着分解层数的增加, 图像的平均亮度增强, 但随着分解层的增加, 图像相对层次感降低, 对比度小, 清晰度降低.

3.2 实验结果与讨论

对 4 组不同分解层上的融合图像的质量采用标准差、熵、互信息以及评价指标 Q 进行评价, 其中互信息定义为^[1-2]:

$$MI(x_A, x_B, x_F) = I(x_A, x_F) + I(x_B, x_F) \quad (4)$$

$$I(x_A, x_B) = \sum_{u=1}^L \sum_{v=1}^L p_{x_A, x_B}(u, v) \log_2 \frac{p_{x_A, x_B}(u, v)}{p_{x_A}(u) p_{x_B}(v)} \quad (5)$$

其中, p_{x_A, x_B} 为两幅图像归一化联合灰度直方图分布, L 为灰度级数, x_F 表示融合后的图像, $H(x_A), H(x_B)$ 分别表示两幅源图像的信息熵. 该式的数值范围在 $[-1, 1]$ 之间, 数值越大, 表示两幅图像的互信息量越多, 相似度就越高. 由表 1 和表 2 可以看出, 各种方法得到的互信息差别不大.

综合图像质量评价指标 Q 定义为^[2]:

$$Q(x_A, x_B, x_F) = \lambda Q_0(x_A, x_F) + (1 - \lambda) Q_0(x_B, x_F) \quad (6)$$

其中:

$$Q(x, y) = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \cdot \frac{2\bar{x}\bar{y}}{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} \cdot \frac{2\sigma_x \sigma_y}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} \quad (7)$$

$$\sigma_{xy} = \frac{1}{MN-1} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (x(i, j) - \bar{x})(y(i, j) - \bar{y}) \quad (8)$$

其中, λ 为权重系数. 式(6)反映了图像的亮度、对比度失真以及融合图像 x 和源图像 y 的相关系数, 其值在 $[-1, 1]$ 之间, 越接近 1, 融合图像的质量越好.

对 4 组不同分解层上的融合图像的质量采用标准差、熵、互信息以及评价指标 Q 进行评价, 在 Q 的计算中, 权值 λ 取 1/2. 结果如表 1 ~ 表 4 所示.



图 1 4 组多光谱源图像

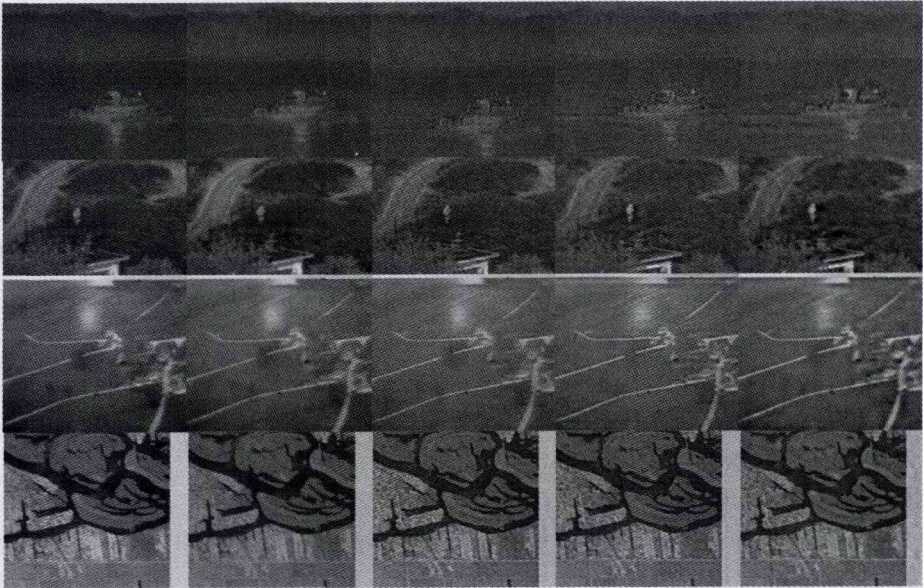


图 2 图像融合结果(1~5 层小波分解)

表 1 信息熵与分解层的关系

熵	A 组	B 组	C 组	D 组
Db9-1	5.37	6.73	7.14	7.15
Db9-2	5.30	6.67	7.02	7.08
Db9-3	5.25	6.56	6.84	7.30
Db9-4	5.17	6.47	6.80	7.30
Db9-5	5.17	6.61	6.89	7.27

表 1 反映的是融合的单幅图像信息熵. 除 D 组融合的信息熵最大值出现在第 3、4 层外, 信息熵均随分解层的增加而降低. 表 2 反映了融合图像与两幅源图像间的互信息. 除 C 组图像的互信息最大值出现在第 2 层外, 其余各组图像的互信息均随分解层的增加略有降低, 但变化很小.

表 3 为标准差随分解层的关系. 各组图像的标准差均随分解层的增加而降低. 表 4 为评价指标与分解层关系. 评价指标 Q 综合了图像的亮度失真、对比度失真以及融合图像与源图像的相关性, 可以综合反映图像的性能. 该表显示, 所有组的图像综合

性能均随分解层增加而降低. 因此, 综合以上指标, 可以看出, 在采用 Db9 小波变换下, 多光谱图像在一层分解时具有较好的融合效果.

表 2 互信息与分解层的关系

MI	A 组	B 组	C 组	D 组
Db9-1	1.6	0.29	1.78	2.35
Db9-2	1.5	0.28	1.82	2.28
Db9-3	1.4	0.27	1.75	2.18
Db9-4	1.5	0.27	1.70	2.18
Db9-5	1.5	0.26	1.69	2.15

表 3 标准差与分解层的关系

标准差	A 组	B 组	C 组	D 组
Db9-1	13.3	31.7	40.1	59.0
Db9-2	12.6	30.1	35.9	51.1
Db9-3	12.1	27.5	32.2	50.7
Db9-4	11.4	25.4	31.4	50.7
Db9-5	11.6	27.2	35.3	47.6

表 4 Q 与分解层的关系

Q	A 组	B 组	C 组	D 组
Db9-1	0.92	0.61	0.71	0.74
Db9-2	0.92	0.61	0.70	0.71
Db9-3	0.92	0.59	0.68	0.70
Db9-4	0.89	0.55	0.68	0.70
Db9-5	0.89	0.55	0.71	0.70

4 结束语

文中选用 Db9 基函数的小波变换方法,对多组多光谱源图像进行了 1~5 层小波分解的图像融合实验.在融合规则上,均采用细节分量上选两幅图像中的最大值,近似分量上取两幅图像的平均值的融合规则;然后利用图像评价指标信息熵、标准差、互信息和综合指标对图像融合的结果进行了评价.评价结果表明,对多光谱图像和 Db9 小波基函数,图像融合在一层小波分解下可以获得较好的性能.

参考文献:

[1] 覃征,鲍复民,李爱国,等.多传感器图像融合及其应
用综述[J].微电子学与计算机,2004,21(2):1-5.
[2] Gemma Piella, Adaptive Wavelaets. Applications to im-
age fusion and compression[D]. Bethlehem, Philadel-
phia, Lehigh University, 2003.

[3] Zhang Z, Blum R. A region - based image fusion
scheme for concealed weapon detection[C]// Proceed-
ings of the 31st Annual Conference on Information Sci-
ences and Systems. Baltimore, Maryland, 1997: 168
-173.
[4] Zhang Z. Investigations of image fusion[D]. Bethle-
hem, Philadelphia, Lehigh University, 1999.
[5] 傅鹍,王丹,吕海翠.一种基于提升小波变换的图像融合
新算法[J].微电子学与计算机,2009,26(4):64-67.
[6] 胡俊峰,唐彩银,巩萍.基于小波变换的 CT/SPECT 图
像融合最佳层数选取[J].研究论著,2009,24(3):10-
12.
[7] 李炜,陈晓辉,毛海杰.小波阈值消噪算法中自适应确定
分解层数研究[J].计算机仿真,2009,26(3):311
-314.
[8] 李树涛,王耀南,龚理专.多聚焦图像融合中最佳小波分
解层数的选取[J].系统工程与电子技术,2002,24(6):
45-49.
[9] Zheng Yufeng, Edvard A Essock, Bruce C Hansen, et
al. A new metric based on extended spatial frequency
and its application to DWT based fusion algorithms[J].
Information Fusion, 2007(8):177-192.

作者简介:

邢素霞 女,(1975-),博士,讲师.研究方向为信号处理.

(上接第 175 页)

[2] 李刚,黑勇,仇玉林.一种准循环 LDPC 解码器的设计与
实现[J].微电子学与计算机,2008,25(7):52-55.
[3] 张仲金,高明伦,沙金,等.基于自身可信度的低复杂度
LDPC 码位翻转解码算法[J].微电子学与计算机,
2008,25(7):92-94.
[4] Antola A Santambrogio, Fracassi M D, Gotti M, et al.
A novel hardware/software codesign methodology based
on dynamic reconfiguration with impulse C and codevel-
oper[C]// 3rd Southern Conference on Programmable
Logic. Mar del Plata, Argentina,2007:221-224.
[5] Zhang T, Parhi K K. A 54MBPS (3, 6)-regular FP-
GA LDPC decoder[C]// IEEE SIPS. Canada: British
Columbia, 2002:127-132.
[6] Levine B, Taylor R, Schmit H. Implementation of near
Shannon limit error-correct codes using reconfigurable
hardware[C]// IEEE Symp. On FCCM. Los Alamitos,

2000:217-226.

[7] Andrew J Blanksby, Chris J Howland. A 690-mW 1-
Gb/s 1024-b, rate-1/2 low-density parity-check
code decoder[J]. Journal of Solid-State Circuits, 2002,
37(3):404-412.

作者简介:

张 培 女,(1979-),硕士研究生,讲师,工程师.研究方向
为电子与通信技术.
陶志福 男,(1972-),博士,讲师.研究方向为电子与通信
技术.
周昌雄 男,(1965-),博士,教授.研究方向为图像处理
技术.
汪一鸣 女,(1956-),博士,教授,博士生导师.研究方向为
多媒体通信和无线通信.