

文章编号:1671-6833(2011)02-0106-05

基于提升小波变换的多传感器图像融合算法研究

张彬¹, 郑永果¹, 李道全², 东野长磊¹

(1. 山东科技大学 信息科学与工程学院, 山东 青岛 266510; 2. 青岛理工大学 计算机工程学院, 山东 青岛 266033)

摘要: 为了更好的进行图像融合, 基于提升小波变换, 采用了一种基于区域方差和方向对比度的融合规则相结合的图像融合新算法. 该算法结合提升小波的优势, 将图像进行多分辨率分解; 针对变换后的低频分量和高频分量的不同特点, 采用了不同的融合规则进行融合; 最后通过提升小波逆变换得到融合图像. 实验结果表明, 该算法具有增强图像空间细节的能力, 使得融合后的图像内容清晰, 相比于传统小波变换法, 具有更好的融合效果.

关键词: 提升小波变换; 多传感器; 融合规则; 图像融合

中图分类号: TP391.4

文献标志码: A

0 引言

随着成像技术的发展, 多传感器系统已经广泛的应用于各个领域, 其中一些种类的传感器被用于成像, 这样就可以对同一目标的不同侧面特征提供更多的图像进行观察和分析^[1]. 图像融合技术就是要把反映场景或目标不同特征的各个源图像中的各种“重要”信息提取出来, 并将它们综合反映到一幅结果图像中, 使得融合结果图像更加有利于后续的处理. 因此, 图像融合技术在计算机视觉、军事、医学图像处理、遥感等领域都表现出巨大的应用潜力^[2].

近20年来, 国内外众多专家学者对不同层次上的图像融合进行了大量的算法研究. 多分辨率分析被广泛地应用于图像融合. 多分辨率图像融合方法的基本思想是: 通过对源图像进行多分辨率分解, 把源图像分解为低频分量和高频分量, 然后提取出它们的多分辨率系数, 通过采用某种融合规则或者融合算子合成融合图像的多分辨率分析系数, 最后利用多分辨率分析逆变换得到最终的融合图像. 典型的多分辨率图像融合方法有拉普拉斯金字塔方法、比率低通金字塔、梯度金字塔等各种金字塔技术^[3]. 随着小波变换技术的发

展, 小波变换在图像融合领域得到了广泛地应用, 已成为现今研究的热点. 由于小波变换在构造小波基函数的过程中引入了傅里叶变换, 执行时间长, 而且需要较大的内存支持, 并不适合实时系统的应用^[4]. 基于此, 笔者采用一种基于提升小波变换的图像融合算法, 它与传统小波从频域来分析问题的角度不同, 不需要借助于傅里叶变换, 而是直接在时(空)域进行变换, 因此它在保持原有小波特性的前提下, 使得整个融合处理的运算量大幅降低, 速度明显提高, 因此被广泛地应用于图像融合领域^[5].

笔者通过对源图像进行提升小波变换, 对分解后的尺度系数和小波系数分别设计了两种不同的融合策略: 对小波系数采用基于方向对比度的图像融合规则; 对尺度系数采用基于区域方差的融合规则. 实验结果表明, 本文算法相对于传统小波变换的图像融合更有效地保留了源图像的边缘细节信息, 明显改善了融合图像的客观评价和主观视觉效果.

1 提升小波变换

提升小波算法过程可以分为4个步骤^[6]: 分裂(Split)、预测(Predict)、更新(Update)、重构

收稿日期: 2010-10-10; 修订日期: 2010-12-16

基金项目: 国家“863”计划项目(2009AA0627018); 山东省教育厅计划资助项目(J08LJ10); 山东科技大学研究生科技创新基金项目(YCA100208)

作者简介: 张彬(1981-), 男, 山东德州人, 山东科技大学博士研究生, 主要研究领域为图像融合、图形图像处理等.

(Reconstruct).

1.1 分裂

分裂过程是将原始数据集 S_j (j 代表分辨率) 分为低分辨率的偶数序列和奇数序列两部分:

$$S_{j-1,k} = S_{j,2k} \quad (1)$$

$$D_{j-1,k} = S_{j,2k+1} \quad (2)$$

其中, $k=0,1,\dots,2^{j-1}-1$.

1.2 预测

对于预测过程,奇数位置上的 $S_{j,2k+1}$,是用相邻偶数 $S_{j,2k}$ 与 $S_{j,2k+2}$ 线性平均去预测高频分量 $d_{j-1,k}$,得到的预测误差为变换的高频分量,即

$$d_{j-1,k} = S_{j,2k+1} - (S_{j,2k} + S_{j,2k+2})/2 \quad (3)$$

1.3 更新

对于更新过程,则是由预测误差来更新偶数序列,得到变换的低频分量,即:

$$S_{j-1,k} = S_{j,2k} + (d_{j-1,k-1} + d_{j-1,k})/4 \quad (4)$$

因此,提升方法的正变换为:

$$d_{j-1,k} = (S_{j-1,k} + S_{j-1,k+1})/2 \quad (5)$$

$$S_{j-1,k} = (d_{j-1,k-1} + d_{j-1,k})/4$$

1.4 重构

提升算法的逆变换为:

$$\begin{cases} S_{j,2k} = S_{j-1,k} - (d_{j-1,k-1} + d_{j-1,k})/4 \\ S_{j,2k+1} = S_{j-1,k} + (S_{j,2k} + S_{j,2k+2})/2 \end{cases} \quad (6)$$

图1给出了利用提升小波变换分解和重构的示意图.利用不同的预测算子和更新算子,可以建立不同的小波变换^[7].

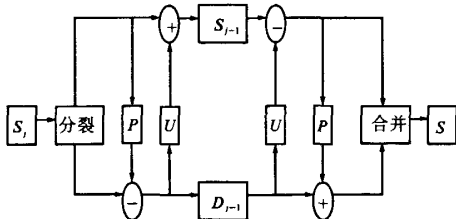


图1 提升小波变换的分解和重构示意图

Fig.1 Diagram of decomposition and reconstruction based on the Lifting Wavelet Transform

2 图像融合算法

2.1 低频系数的融合规则

图像的低频分量包含的是大尺度特征,也就是平滑概貌信息.如物体的位置、地貌以及图像中环境的大体描述等^[8].低频分量的融合规则对最终融合图像至关重要.

区域方差代表了区域内像素灰度值和平均值的偏离程度,方差越大,表明区域内部各个像素的

差别越大,该区域所包含的信息量就越大^[9].因此,笔者采用基于区域方差的融合规则.

选用区域方差中较大者的中心像素灰度值作为融合图像对应像素的灰度值,即

$$L_{F,i}(i,j) = \begin{cases} L_{A,i}(i,j) & \text{if } \sigma_{A,i}^2(i,j) \geq \sigma_{B,i}^2(i,j) \\ L_{B,i}(i,j) & \text{if } \sigma_{A,i}^2(i,j) < \sigma_{B,i}^2(i,j) \end{cases} \quad (7)$$

式中: $\sigma_{A,i}^2(i,j)$ 和 $\sigma_{B,i}^2(i,j)$ 分别为原图像 A 和 B 对应的方差.

2.2 高频系数的融合规则

高频部分包含的是细节信息,也就是小尺度特征,它代表了图像边缘等^[8]突变的细节信息,对它处理的主要目的是保留边缘和更丰富的细节信息^[9-10].通过对人眼视觉系统的生理和心理实验,得出结果发现图像的局部对比度是能引起视觉敏感度的最显著部分^[11].因此,笔者采用一种基于方向对比度的高频系数选择方案.方向对比度,定义如式(9)所示^[12]:

$$R_{j,i}(m,n) = \begin{cases} \frac{|C_{j,i}(m,n)|}{I_j(m,n)}, & I_j(m,n) \neq 0 \\ |C_{j,i}(m,n)|, & I_j(m,n) = 0 \end{cases} \quad (8)$$

式中: $I_j(m,n)$ 为尺度 j 下的低通子带图像; $C_{j,i}(m,n)$ 为高频细节分量.

由于图像的局部特征往往是由某一区域内的多个像素共同体现的,而不是孤立地由单一像素所能表征的,而且,一般情况下某一区域内的像素都具有很强的相关性,基于此,笔者采用如式(9)所示的系数选择方案:

$$C_{j,i}^F(m,n) = \begin{cases} C_{j,i}^A(m,n), & E_{j,i}^A(m,n) \geq E_{j,i}^B(m,n) \\ C_{j,i}^B(m,n), & E_{j,i}^A(m,n) < E_{j,i}^B(m,n) \end{cases} \quad (9)$$

其中,区域能量 $E_{j,i}(m,n)$ 为

$$E_{j,i}(m,n) = \sum_{i=(M_1-1)/2}^{(M_1-1)/2} \sum_{j=(N_1-1)/2}^{(N_1-1)/2} |R_{j,i}(m+i,n+j)|^2,$$

$M_1 \times N_1$ 大小为 5×5 或 7×7 等.

3 实验与分析

为了验证该融合算法的有效性和正确性,对3组不同性质的多源图像进行了融合实验.笔者采用熵、平均梯度和标准方差作为评估指标,从不同角度客观评价融合图像的效果.其中,熵表示图像所包含的平均信息量的多少,熵值越大,说明融合后的图像信息量越大、细节越丰富;平均梯度反映了图像灰度变化情况,又称为清晰度.平均梯度越高,图像灰度越丰富,图像越清晰;标准方差反

映了灰度均值的离散情况,标准方差越大,灰度级分布越分散,包含的信息量就越大.

3.1 多聚焦图像融合

图 2(a)为坦克后侧聚焦的图像,图 2(b)为坦克前侧聚焦的图像,以此作为待融合源图像进行融合处理,实验结果如图 2 所示.从图 2 可以看出,图 2(d)使用像素选大算法得到的融合图像效果最差,图像整体比较模糊,对比度低;传统小波变换法的融合结果有一定的改善,本文算法所得到的融合图像具有最好的主观效果,其前景后景均清晰可见.

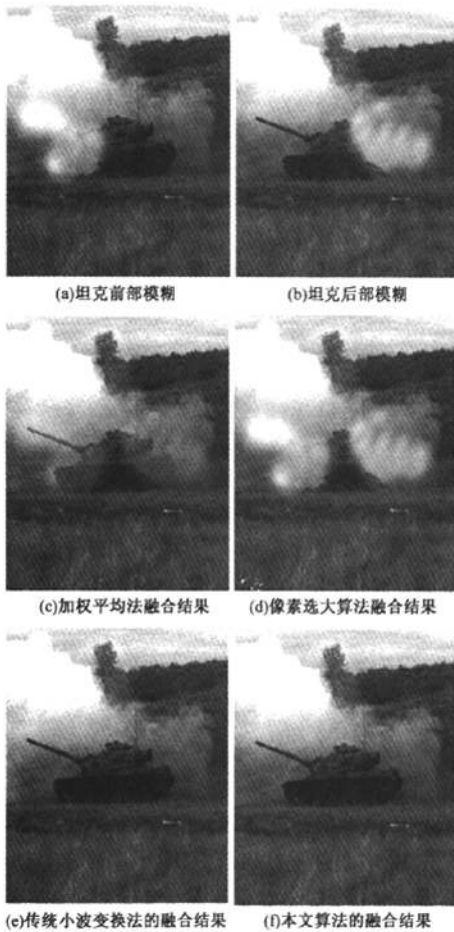


图 2 多聚焦图像融合结果

Fig. 2 The fusion results of multi-focus images

表 1 是各种算法的融合结果几个度量指标的比较,从表 1 可以看出,在熵、标准差、平均梯度这几方面,本文的融合算法在图像融合效果上的确有较好的改善.

3.2 全色与多光谱图像融合

在图 3 中,(a)为多光谱图像,(b)为原始全

色图像.由于全色图像具有较高的空间分辨率,包含许多细节信息,而多光谱图像具有较低的空间分辨率,却包含丰富的光谱信息,因而融合的目的是使融合图像中尽可能多地同时保留细节和光谱信息.为了分析比较传统小波和提升小波变换对融合效果的影响,图(c)和(d)为同一融合策略下,分别采用传统小波变换和本文算法进行图像融合的结果.表 2 给出了各种融合结果的评价指标,从视觉效果和评价指标的计算结果来看,本文算法的融合效果略优于传统小波变换,但是计算复杂度却明显降低.

表 1 多聚焦图像融合结果的性能评价

Tab.1 The performance evaluation of multi-focus images fusion

融合方法	熵	梯度	标准方差
加权平均算法	7.301 3	61.672 6	45.232 5
像素选大算法	5.381 0	52.486 1	39.632 8
小波融合法	7.356 1	64.683 3	47.265 7
本文算法	7.761 4	109.543 8	62.598 3

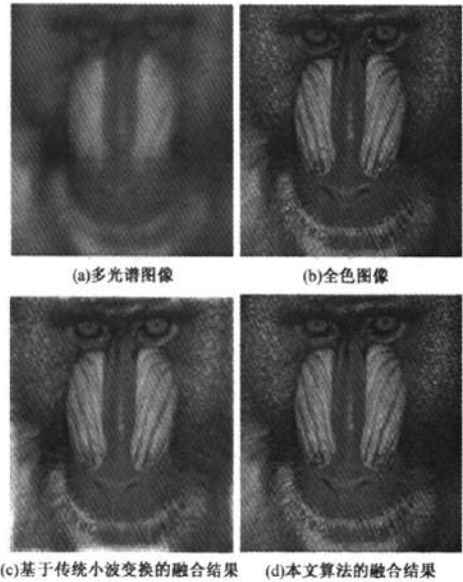


图 3 全色与多光谱图像融合结果

Fig.3 The fusion results of panchromatic and multi-spectral images

表 2 全色与多光谱图像融合结果的客观性能评价

Tab.2 The performance evaluation of panchromatic and multi-spectral images fusion

融合方法	熵	梯度	标准方差
小波融合法	6.263 1	62.953 4	42.541 2
本文方法	7.131 4	102.764 7	58.742 5

3.3 红外与可见光图像融合

图4(a)、(b)是海洋油井平台用不同的探测器拍摄到同一角度的可见光和红外源图像,图4(c)~(e)分别是用塔形变化融合方法、小波融合方法和本文方法的图像融合结果。

观察融合结果发现,本文算法的融合图像既突出了目标灯塔的红外高亮信息,又保留了可见光丰富的细节信息,而且霞光的色彩也接近于真实场景。表3给出了各种融合结果的评价指标,可以看出本文方法3种评估指标都优于其它几种融合方法,说明本文算法在突出目标和细节清晰度方面优于其他算法,计算速度方面明显优于传统小波变换。

表3 红外与可见光图像融合结果的客观性能评价

Tab.3 The performance evaluation of visual and IR images fusion

融合方法	熵	梯度	标准方差
塔形变换融合法	6.215 6	31.876 4	23.283 5
小波融合法	6.472 5	37.259 2	26.175 8
本文方法	7.024 7	55.356 2	35.561 7

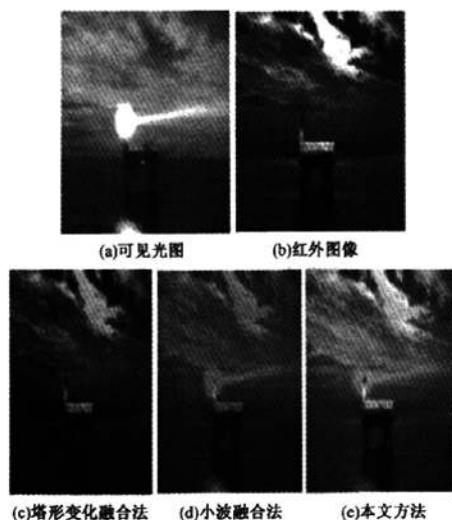


图4 红外与可见光图像融合结果

Fig.4 The fusion results of visual and IR images

4 结论

从人眼视觉、图像特性出发,将小波提升变换运用到图像融合中,并分别讨论了高频系数和低频系数的融合规则。高频系数反映了图像的细节,其选择规则决定了融合图像对原图像细节的保留

程度;低频系数反映了图像的轮廓,低频系数的选择决定了融合图像的视觉效果。笔者采用基于方向对比度的融合规则处理反映图像细节特征的小波系数;对尺度系数采用一种基于区域方差的融合规则进行处理,使得到的融合图像包含了较丰富的信息,更有利于目标的识别,符合人眼的视觉特征。实验结果表明:通过本文算法得到的融合图像取得了良好的客观评价和主观视觉效果,是一种有效的图像融合方法。

参考文献:

- [1] 邓谦,熊邦书,吴开志.基于小波帧变换的多聚焦图像融合算法[J].南昌航空大学学报:自然科学版,2009,23(2):68-72.
- [2] 连静,王珂,李光鑫.基于边缘的小波图像融合算法[J].通信学报,2007,28(4):18-23.
- [3] 陈浩,刘艳滢.基于提升小波变换的红外图像融合算法研究[J].激光与红外,2009,39(1):97-100.
- [4] 易正俊,李华峰,宋瑞晶.改进提升小波变换的空间频率比图像融合[J].光电工程,2009,36(7):65-70.
- [5] 刘松涛,沈同圣,杨绍清.基于自适应融合规则的多分辨率图像融合算法[J].激光与红外,2007,37(8):788-791.
- [6] 张强,郭宝龙.基于非采样 Contourlet 变换多传感器图像融合算法[J].自动化学报,2008,34(2):135-141.
- [7] 李伟,朱学峰.基于第二代小波变换的图像融合方法及性能评价[J].自动化学报,2007,33(8):817-822.
- [8] 刘鹏,张岩,毛志刚.一种基于小波变换边缘保护的图像融合算法[J].计算机应用,2005,25(7):1620-1622.
- [9] 王卫星,曾基兵.冗余提升不可分离小波的图像融合方法[J].电子科技大学学报,2009,38(1):13-16.
- [10] 刘坤,郭雷,陈敬松.基于区域分割的序列红外图像融合算法[J].红外与激光工程,2009,38(3):553-558.
- [11] 周礼,王章野,金剑秋,等.基于 HVS 的小波图像融合新算法[J].中国图象图形学报,2004,9(9):13-14.
- [12] 刘贵喜,刘纯虎,凌文杰.一种基于小波多分辨率分解的图像融合新算法[J].光电子·激光,2004,15(3):344-347.

(下转第 124 页)

- Communications, 2004, 232(6): 91-97.
- [7] MA Jian, FAN Zhi-ping, HUANG Li-hua. A subjective and objective integrated approach to determine attribute weights [J]. European Journal of Operational Research, 1999, 112(2): 397-404.
- [8] 杨玉中, 吴立云, 丛建春. 基于熵权的煤矿运输安全性模糊综合评价[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2009, 41(4): 257-259.
- [9] 徐玖平, 吴巍. 多属性决策的理论与方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [10] 杨玉中, 张强, 吴立云. 基于熵权的 TOPSIS 供应商选择方法[J]. 北京理工大学学报, 2006, 26(1): 31-35.
- [11] 刘茜, 吴黎军. 新疆某 3 所医院的熵权 TOPSIS 法综合评价[J]. 数理医药学杂志, 2009, 22(3): 349-352.

Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution(TOPSIS) based on Ameliorated Entropy Weight on the Evaluation of Groundwater Quality

YANG Yu-zhong¹, MENG Xiang-zhong^{1,2}, LIU Xi³, DENG Ye-fei¹, WANG Xiao-lin²

(1. School of Energy Science and Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454010, China; 2. Production & Safety Department, Henan Pingyuan Optics Electronics Co. Ltd., Jiaozuo 454001, China; 3. Jiaozuo Vehicle Emission Control Center, Jiaozuo 454003, China)

Abstract: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution(TOPSIS) based on ameliorated entropy weight was established in order to evaluate the groundwater quality in some years objectively and accurately. In this method, entropy weight that originated from original data was put forward, which was ameliorated by the experts' factor, and an evaluation method of technique for order preference by similarity to ideal solution is constructed. A case study of the comprehensive evaluation of groundwater quality from 2005 to 2009 in C city, the change tendency of groundwater quality was attained. The process and result indicate that this method is easy in calculation, and the outcome is reasonable, and this method is worth popularizing and applying in groundwater quality evaluation.

Key words: groundwater quality; entropy weight; TOPSIS method

(上接第 109 页)

Multi-sensor Image Fusion Algorithm based on the Lifting Wavelet Transform

ZHANG Bin¹, ZHENG Yong-guo¹, Li Dao-quan², DONGYE Chang-lei¹

(1. College of Information Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, China; 2. College of Computer Engineering, Qingdao Technological University, Qingdao 266033, China)

Abstract: The paper proposes an image fusion algorithm based on the regional variance and directional contrast which can fuse image better based on the lifting wavelet transform. This algorithm combines the advantages of lifting wavelet transform to acquire the multi-resolution decomposition of the image; then according to the different characteristics of the low frequency components and high frequency components, the paper fuses the image using the different fusion rules; finally we can acquire the fused image through inverse transformation of lifting wavelet. Experiment results show that the images fused by the proposed algorithm are of better quality than that produced through the traditional algorithms with wavelet transform, since the algorithm can enhance the details of the image space and make the fused image clearer.

Key words: lifting wavelet transform; multi-sensor; fusion rule; image fusion