

基于小波变换的图像融合技术研究

陈 浩^{1,2}, 王延杰¹

(1 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033; 2 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘 要: 提出了一种基于小波变换的图像融合算法。首先, 将配准后的多源图像进行小波分解, 从而得到各个源图像的低频系数和高频系数。其次, 对分解后的小波系数矩阵采用区域特征进行融合处理, 最后, 通过小波逆变换得到融合图像。通过大量的实验以及与其他融合算法的比较分析, 表明该方法的有效性和优越性。

关键词: 小波变换; 图像融合; 区域特征; 红外图像

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)05-0039-03

Study for Image Fusion Based on Wavelet Transform

CHEN Hao^{1,2}, WANG Yan-jie¹

(1 Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;
2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: An algorithm of image fusion based on wavelet transform is proposed. Firstly, the obtained multi-source images which are registered are decomposed into several coefficients of low frequency and high frequency by using wavelet transform. Secondly, the wavelet coefficients of multi-source images are fused by different fusion rules based on regional features. Finally, the fusion image is obtained by inverse wavelet transform. Lots of experiments and comparisons with other fusion methods show that the effectiveness and superiority of image fusion method based on wavelet transform.

Key words: wavelet transform; image fusion; regional features; infrared image

1 引言

图像融合是指综合和提取两个或多个多源图像信息, 获得对同一场景或者目标更为准确、全面和可靠的图像描述。图像融合根据融合处理所处的阶段不同, 通常在三个不同层次上进行, 即像素级融合、特征级融合以及决策级融合。在像素级融合层次, 融合算法主要有简单图像融合算法、基于金字塔分解的图像融合算法以及基于小波变换的图像融合算法^[1]。由于小波变换是非冗余的, 图像经过小波变换之后数据的总量不会增大, 同时, 小波变换具有方向性, 因此, 小波变换被广泛应用于图像融合领域。文中提出了基于小波变换的图像融合算法, 并分析了可见光图像与红外图像的融合结果, 其性能要优于简单图像融合算法以及基于拉普拉斯金字塔分解的图像融合算法。

2 图像的小波分解

Mallat 在 Burt 和 Adelson 图像分解与重构金字塔^[2]的启发下, 提出了小波变换的 Mallat 快速算法^[3], 该算法在小波变换中的作用如同傅里叶变换中的快速傅里叶变换(FFT), 是对图像作小波分析和综合的基础。若对图像进行 J 层小波分解, 则将产生 $(3J + 1)$ 个图像分量, 包括 $3J$ 个高频分量和 1 个低频分量。设尺度函数和小波函数对应的滤波器系数矩阵分别为 H 与 G , 则图像小波分解为

$$\begin{cases} C_{j+1} = HC_j H' \\ D_{j+1}^h = GC_j H' \\ D_{j+1}^v = HC_j G' \\ D_{j+1}^d = GC_j G' \end{cases} \quad j = 0, 1, \dots, J-1 \quad (1)$$

与之相对应的图像重构公式为

$$C_j = H'C_{j+1}H + G'D_{j+1}^hH + H'D_{j+1}^vG + G'D_{j+1}^dG$$

$$j = J-1, J-2, \dots, 0 \quad (2)$$

式中, C_{j+1} 、 D_{j+1}^h 、 D_{j+1}^v 、 D_{j+1}^d 分别对应于图像 C_j 的低频分量、水平方向的高频分量、垂直方向的高频分量以及对角方向的高频分量。 H' 、 G' 分别为 H 、 G 的共轭转置矩阵。

3 图像融合准则

设参与融合的源图像 A 、 B , 融合后的结果为 F . 首先分别计算源图像 A 、 B 的区域能量, 区域的大小为 $M \times N$ (M 、 N 取奇数且 $M \geq 3$ 、 $N \geq 3$).

$$VA(i, j) = \frac{1}{MM} \sum_{m=-l}^l \sum_{n=-v}^v (A(i+m, j+n))^2 \quad (3)$$

$$VB(i, j) = \frac{1}{MM} \sum_{m=-l}^l \sum_{n=-v}^v (B(i+m, j+n))^2 \quad (4)$$

从而可以计算出两幅图像对应区域的匹配度:

$$M(i, j) = \frac{\frac{2}{MN} \sum_{m=-l}^l \sum_{n=-v}^v A(i+m, j+n)B(i+m, j+n)}{VA(i, j) + VB(i, j)} \quad (5)$$

其中

$$l = \frac{M-1}{2}, v = \frac{N-1}{2} \quad (6)$$

很显然, $M(i, j)$ 介于 0 到 1 之间, 当两幅图像对应区域的差异越大, 则 $M(i, j)$ 越小, 当两幅图像对应区域相同时, 则 $M(i, j)$ 为 1, 因此 $M(i, j)$ 可以用来描述两幅图像对应区域的匹配程度. 选择一个阈值 T , 如果 $M(i, j) < T$, 则

$$F(i, j) = \begin{cases} A(i, j) & VA(i, j) \geq VB(i, j) \\ B(i, j) & VA(i, j) < VB(i, j) \end{cases} \quad (7)$$

如果 $M(i, j) \geq T$, 则

$$F(i, j) = \begin{cases} \alpha * A(i, j) + (1-\alpha) * B(i, j) & VA(i, j) \geq VB(i, j) \\ (1-\alpha) * A(i, j) + \alpha * B(i, j) & VA(i, j) < VB(i, j) \end{cases} \quad (8)$$

$$\alpha = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \left[\frac{1-M(i, j)}{1-T} \right] \quad (9)$$

4 基于小波变换的图像融合方法仿真与分析

4.1 实验原理与实验设计

为了验证基于小波变换的图像融合方法的有效

性, 特别设计了针对可见光图像和红外图像的融合实验. 实验步骤如下:

(1) 采用 Mallat 快速算法对可见光图像和红外图像分别进行 3 层小波分解, 由第 2 节可知 可得到 $(3 \times 3 + 1)$ 个图像分量, 包括 3×3 个高频分量和 1 个低频分量;

(2) 在对可见光图像和红外图像分别进行小波变换后, 将可见光图像和红外图像对应的低频分量和高频分量选用第 3 节所描述的融合准则进行融合. 在对低频分量进行融合时, 区域大小选为 3×3 , 阈值选为 0.7; 在对高频分量进行融合时, 区域大小同样为 3×3 , 但阈值则为 0.3, 从而可得到各个对应分量的融合结果;

(3) 将各个对应分量的融合结果进行小波逆变换得到最后的融合图像. 为了对融合图像的质量进行客观评价, 采用熵、平均梯度、标准差^[7]、空间频率^[1]等性能指标来进行对比分析.

4.2 实验结果分析

为了对基于小波变换的融合效果进行分析, 选取了两幅已配准好且像素位宽一致的可见光与红外源图像(灰度级都为 0~255)进行融合实验, 图像的大小都为 480pixel * 640pixel. 为了对融合效果进行比较, 对源图像分别使用基于小波变换的图像融合方法、加权平均图像融合方法、像素灰度值选大图像融合方法^[4]以及基于拉普拉斯金字塔的图像融合方法进行融合.

对可见光图像和红外图像进行融合后, 得到使用各种方法的融合结果如图 1 所示. 图 1(a)和图 1(b)分别为待融合的可见光图像和红外图像. 图 1(c)和图 1(f)分别为使用基于小波变换的图像融合方法、加权平均图像融合方法、像素灰度值选大图像融合方法以及基于拉普拉斯金字塔的图像融合方法得到的融合图像. 为了便于对融合结果进行比较, 在使用基于拉普拉斯金字塔的图像融合方法时, 将源图像也分解为 3 层. 对于基于小波变换的图像融合方法, 选用的小波基为“bior4.4”, 也就是通常所说的 9/7 小波; 对于基于拉普拉斯金字塔的图像融合方法, 其顶层采用加权平均图像融合方法, 其余两层采用像素绝对值选大图像融合方法.

从图 1 的融合结果可以看出, 能够同时观察到隐藏在烟雾后面人和发光物体, 比较全面的反映场景的融合图像有图 1(c)、图 1(d)和图 1(f). 但图 1(d)和图 1(f)对于天空中云的层次显然没有很好地

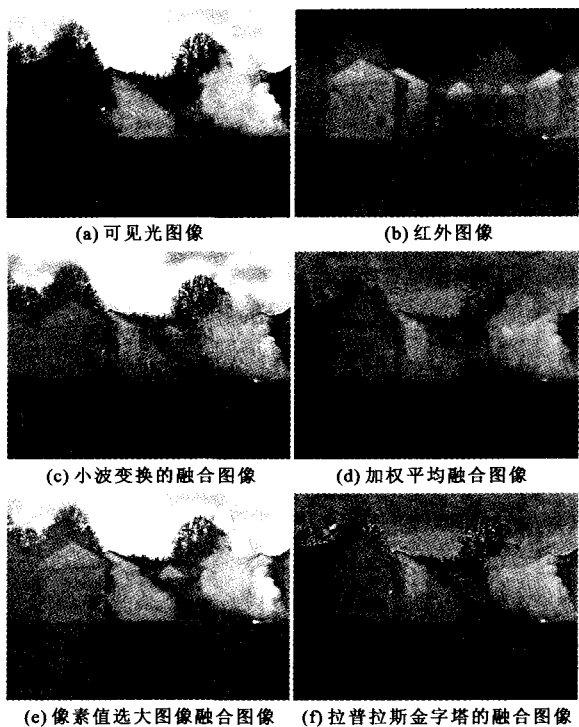


图 1 图像融合结果

表现出来.由于在主观评价时,评价尺度很难掌握,因为大多数情况下,无法知道标准的融合图像应该是怎样的,因此还需要进行客观评价.表 1 为采用各种融合方法所得到的融合图像客观数据统计,显然图 1(c)的各项指标都要高于其他融合图像,与主观判断一致.由此可知基于小波变换的图像融合方法比其他融合方法要好^[5-6].

表 1 客观数据统计

图像	熵	平均梯度	标准差	空间频率
图 1(c)	6.855 7	5.593 3	38.986 9	10.458 8
图 1(d)	6.261 3	3.708 4	27.611 2	6.285 1
图 1(e)	6.611 6	3.593 1	36.821 3	7.971 3
图 1(f)	6.397 8	5.621 0	28.778 6	10.428 0

(上接第 38 页)

参考文献:

[1] Yang M, Manabe K I, Nishimura H. Development of real-time process control system for precision and flexible bending with an online database[J]. J. Mats. Processing Technology, 1996,60(1/4):249-254.

[2] 于晓冬,董红斌. 一种改进的进化策略研究[J]. 微电子学与计算机, 2009,26(2):58-61.

[3] 张海建,陈向东,王世海. 一种遗传算法优化的图像模糊边缘检测方法[J]. 微电子学与计算机, 2008,25(4):105-107.

[4] Siebert K, Altan T, Nakagawa T. Development and man-

5 结束语

针对红外图像和可见光图像的特点,文中提出了一种改进的基于小波变换的图像融合算法.对图像进行小波分解后,对高频分量和低频分量都采用了基于区域特征的融合准则,根据高频分量和低频分量的特点,选取了相同的区域大小但不同的阈值来进行融合.实验结果表明使用该融合算法得到的融合图像有利于对场景的整体认识,实验数据和视觉效果都表明了该算法的有效性.

参考文献:

[1] 韩崇昭,朱红艳,段战胜. 多源信息融合[M]. 北京:清华大学出版社,2006.

[2] Burt P J, Adelson E H. The laplacian pyramid as a compact image code[J]. IEEE Trans. Commun. ,1983,31(4):532-540.

[3] Mallat S G. A theory for multi-resolution signal decomposition: the wavelet representation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1989, 11(7):674-693.

[4] 刘桂雄,林绪虹. 基于 CMAC 的图像融合快速算法[J]. 光学精密工程,2008,16(5):950-956.

[5] 顾国松,陈华杰,薛安克. 基于 VC 的 SAR 图像融合系统关键技术的研究[J]. 微电子学与计算机,2008,25(12):37-40.

[6] 许学斌,张新曼,张德运. 基于多宇宙并行量子遗传算法的多传感器图像融合方法[J]. 微电子学与计算机, 2008,25(12):9-12.

作者简介:

陈浩男,(1982-),博士研究生.研究方向为图像融合、电视跟踪.

ufacture of dies for car body production[M]. Germany: Annls of the CIRP, 1997:535-543.

[5] Nash J C, Walker Smith M. Nonlinear parameter estimation[M]. New York, Basel,Marcel Dekker. Inc. , 1987.

[6] Ray T, Tai K, Seow K C. An evolutionary algorithm for constrained optimization[C]// Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computing Conference. Singapore, 2000:230-238.

作者简介:

刘文娟女,(1978-),博士.研究方向为计算机 CAD/CAM、智能控制.