

一种基于小波变换的图像融合新算法^{*}

於时才, 吕艳琼

(兰州理工大学 计算机与通信学院, 兰州 730050)

摘要: 在阐述小波图像融合算法的基础上, 针对小波分解后各频域融合算子和融合规则的选择, 提出一种新的基于小波分解的图像融合算法。对小波分解后的低频分量通过度量其图像块之间的相关系数和空间频率来确定融合图像的尺度系数; 对高频分量, 以方向对比度为判据确定融合图像的小波系数; 最后, 通过小波逆变换得到融合图像。对多组图像进行实验, 实验结果表明, 该方法是有用的。

关键词: 图像融合; 小波变换; 相关系数; 方向对比度; 综合熵

中图分类号: TP391

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2009)01-0390-02

Novel image fusion algorithm based on wavelet transform

YU Shi-cai, LV Yan-qiong

(School of Computer & Communication, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: Based on expatiating on image wavelet fusion algorithm, aimed at the choice of fusion rule and fusion operator, this paper presented a novel image fusion algorithm based on wavelet transform. For the low-frequency image of wavelet decomposition, by measuring the correlation coefficient and spatial frequency determine the scale coefficient. In addition, for fusion of low frequency sub-image, according to the directive contrast, the wavelet coefficient of the fused image could be obtained. Finally, the fused image was reconstructed through inverse wavelet transform. This algorithm is tested by some image, the experiment shows that this method is feasible and effective.

Key words: image fusion; wavelet transform; correlation coefficient; directive contrast; integrated entropy

图像融合是数据融合的一种特殊情形, 其信息均是以图像的形式表达, 它对人的视觉产生作用。图像融合是根据某一算法, 将从不同传感器(或同一传感器在不同时间或不同观测角度)得到的同一场景的多幅图像经过综合处理, 从而得到一幅新的、满足某种要求的、对目标或场景的描述更为精确、更为全面、更为可靠的图像, 以便于人眼的观察和计算机的进一步处理。它的主要目的是综合各类图像数据的优点, 提高图像的解译能力^[1]。正是由于这些特点, 图像融合技术已广泛地应用于军事、遥感、计算机视觉和医学等领域。

图像的融合过程可以发生在信息描述的不同层。根据信息表征层次的不同, 图像融合一般可分为像素级融合、特征级融合和决策级融合三大类。由于像素级图像融合是基础且比较直观, 在图像融合领域最受关注。基于小波变换的图像分解方法其具有非冗余性、方向性以及与人眼视觉相吻合的分层结构^[2], 在众多的像素级融合方法中, 基于小波变换的融合方法具有良好的效果, 并已成为现今研究的一个热点。

多分辨率小波融合方法用于图像融合的可行性已得到广泛的认同, 当前研究的热点是融合过程中融合规则和融合算子的选择^[3]。目前, 小波域的融合算法主要包括高频小波系数的直接替换、最大值选取、加权平均、基于局域方差的算法^[4]、基于局域能量的算法、基于梯度的算法^[5]等; 低频系数融合一般采用平均的线性融合规则。

1 基于小波变换的图像融合算法

1.1 图像的多尺度小波分解

小波分析是 20 世纪 80 年代中期出现的一种信号分析工

具, 它同时具有良好的空间—频率局部化特性, 可将信号分解成许多具有不同的分辨率、频率特性和方向特性的子带信号, 被誉为数学显微镜。Mallat 在 Burt 和 Adelson 图像分解与重构金字塔算法的启发下, 基于小波分析提出了 Mallat 算法。对于二维图像信号 $f(x, y) \in V_j^2$ 来说, 可以近似用 V_j^2 空间的投影 $A_j f(x, y)$ 表示

$$f(x, y) = A_j f(x, y) = A_{j+1} f + D_{j+1}^1 f + D_{j+1}^2 f + D_{j+1}^3 f \quad (1)$$

其中: $A_{j+1} f = \sum_{m_1, m_2 \in Z} C_{j+1, m_1, m_2} \phi_{j+1, m_1, m_2}$, $D_{j+1}^e f = \sum_{m_1, m_2 \in Z} D_{j+1, m_1, m_2}^e \psi_{j+1, m_1, m_2}^e$ ($e=1, 2, 3$)。设尺度函数 $\phi(x)$ 和小波函数 $\psi(x)$ 对应的滤波器系数矩阵分别为 H 和 G , 则 Mallat 算法在 j 尺度下的分解公式^[6]为

$$\begin{cases} C_j = H_c H_r C_{j-1}, D_j^1 = G_c H_r C_{j-1} \\ D_j^2 = H_c G_r C_{j-1}, D_j^3 = G_c G_r C_{j-1} \end{cases} \quad (2)$$

这里, C_j , D_j^1 , D_j^2 , D_j^3 分别对应于图像 C_{j-1} 的低频成分、垂直方向上的高频成分、水平方向上的高频成分、对角方向上的高频成分。与之对应的二维图像的 Mallat 重构算法为

$$C_{j-1} = H_r^* H_c^* C_j + H_r^* G_c^* D_j^1 + G_r^* H_c^* D_j^2 + G_r^* G_c^* D_j^3 \quad (3)$$

其中: H^* 和 G^* 分别是 H 和 G 的共轭转置矩阵。

1.2 基于小波变换的图像融合原理

这里以两幅图像的融合为例, 多幅图像的融合方法可依此类推。基于小波变换的融合算法的流程阐述如下: 首先, 对已配准的源图像进行小波分解, 相当于使用一组高低通滤波器进行滤波, 分离出高频信息和低频信息; 其次, 对每层分解得到的高频信息和低频信息依据所得到的信息特点, 采取不同的融合

收稿日期: 2007-12-15; 修回日期: 2008-06-25 基金项目: 甘肃省自然科学基金资助项目(3zs062-B25-033)

作者简介: 於时才(1950-), 男, 甘肃岷县人, 教授, 主要研究方向为计算机网络、计算机图形学(yusc@lut.cn); 吕艳琼(1983-), 女, 甘肃景泰人, 硕士研究生, 主要研究方向为数字图像处理、数据融合等。

策略,在各自的变换域进行特征信息抽取,分别进行融合;最后,采用第一步的小波变换的重构算法对处理后的小波系数进行反变换重建图像,即可得到融合图像。

1.3 各频域的融合规则

在图像融合过程中,融合规则至关重要,它的选择直接影响融合的效果。假设融合图像是两幅已经过严格配准的图像 A 和 B ,融合后的图像是图像 F ,对原图像进行小波多尺度分解。

1.3.1 低频域的融合规则

许多基于小波变换的图像融合算法针对低频系数融合时,只简单地采用加权平均法或系数选大或选小法。这种方法简单且计算量小,但一般会降低图像的对比度,从而使目标变得不清晰。因为低频系数决定了图像的轮廓,正确地选择低频系数对提高融合图像的视觉效果具有举足轻重的作用。本文通过对应子图像块之间的相关系数和空间频率来确定融合图像的尺度系数。

图像的相关系数是描述图像相关程度的统计量,反映了两幅图像所含信息量的重叠程度,即两幅图像的相关程度。图像的相关系数定义为

$$r = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [(f_{i,j} - e_f) \times (g_{i,j} - e_g)]}{\sqrt{[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (f_{i,j} - e_f)^2] \times [\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (g_{i,j} - e_g)^2]}}$$
 (4)

空间频率反映图像空间的总体活跃程度,空间频率定义为

$$SF = \sqrt{(RF)^2 + (CF)^2}$$
 (5)

其中 RF 和 CF 分别表示行频率和列频率:

$$RF = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [F(m,n) - F(m,n-1)]^2}$$

对于低频分量,首先将其分别分解成若干个大小为 $m \times n$ 大小的子图像块,分别记为 A_{lk} 和 B_{lk} ,然后分别计算它们的空间频率和对应子块之间的相关系数。设 ω_A 和 ω_B 为加权因子,满足 $\omega_A + \omega_B = 1$,记子块图像 A_{lk} 和 B_{lk} 的空间频率为 SF_A 、 SF_B 和它们之间的相关系数为 r 。这样,低频域的融合函数为

$$C_{FK} = \omega_{Ak} C_{Ak} + \omega_{Bk} C_{Bk}$$

其中: $\omega_{Ak} = \begin{cases} 0.5 & r \geq 0.5 \\ r & r \leq 0.5 \text{ 且 } SF_{Ak} \leq SF_{Bk}, \omega_{Ak} = 1 - \omega_{Bk} \\ 1 - r & r \leq 0.5 \text{ 且 } SF_{Ak} \geq SF_{Bk} \end{cases}$

1.3.2 高频域的融合规则

由于人类视觉系统对于图像的局部对比度非常敏感,在小波分解过程中同时引入方向对比度,会取得更好的融合效果。图像的对比度定义为 $R = (L - L_B) / L_B = L_H / L_B$ 。其中: L 表示局部灰度; L_B 表示图像的局部背景亮度(相当于局部低频分量),则 $L_H = L - L_B$ 相当于高频分量。根据图像对比度定义公式,小波域的方向对比度定义为^[7]

$$R_j^i = D_j^i / C_j^i (i = 1, 2, 3)$$
 (6)

其中: $i = 1, 2, 3$ 分别表示垂直、水平和对角线三个方向。

对高频部分图像,根据式(6)分别计算各频率和方向上的方向对比度。以方向对比度为判据,确定融合图像的小波系数。

$$D_{j,F}^i = \begin{cases} D_{j,A}^i & R_{j,A}^i \geq R_{j,B}^i \\ D_{j,B}^i & R_{j,A}^i \leq R_{j,B}^i \end{cases} (i = 1, 2, 3)$$

其中: $R_{j,A}^i$ 和 $R_{j,B}^i$ 分别表示图像 A 和 B 在 i 方向上第 j 层小波分解后高频图像的方向对比度。

2 融合结果评价

为了验证本文算法的正确性和有效性,对具有不同特征的源图像作融合实验,如图 1 和 2 所示。本文只考虑两幅图像的情况,多幅图像可以依此推广。利用 MATLAB 7.0 编程进行仿

真实验,首先对源图像进行严格的配准和除噪等预处理,然后分别进行四级小波分解,再按本文的方法进行融合处理,最后得到最终的融合图像。

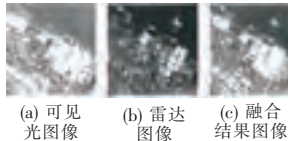


图 1 不同传感器图像的融合



图 2 不同焦距图像的融合

由图 1 和 2 可以看出,融合后的图像目标、细节更加清楚,这是目视得到的结果。为了对本文算法与传统小波融合方法进行综合比较,本文采用如下两种参数来评价融合效果:

a)平均梯度,可敏感地反映图像对微小细节反差表达的能力,可用来评价图像的清晰程度,还同时反映出图像中微小细节反差和纹理变换特征。

b)综合熵^[8],是结合熵和平均交叉熵新定义的一个评价图像融合性能的新指标。综合熵定义为

$$J(A, B, F) = CE(F) - CEN^*(A, B, F)$$

其中: $CE(G)$ 是图像 G 的熵,定义为 $CE(G) = - \sum_{i=1}^m p_i \ln p_i$ 。

定义图像 A 和 B 的交叉熵为 $CEN'(A, B) = \sum_{i=1}^m p_i | \ln (p_i / q_i) |$,则 C 与 A 和 B 的平均交叉熵为

$$CEN^*(A, B, F) = (CEN'(A, F) + CEN'(B, F)) / 2$$

一般地,熵越大,平均梯度越大且综合熵越大,则说明融合算法越有效。对图 1 和 2 分别采用不同的方法进行融合处理,得到的参数如表 1 和 2 所示。

表 1 不同传感器图像融合的参数比较				表 2 不同焦距图像融合的参数比较			
方法	熵	平均梯度	综合熵	方法	熵	平均梯度	综合熵
加权平均法	4.948 6	7.271 8	3.998 7	加权平均法	5.060 9	8.123 1	4.013 6
最大值法	4.672 3	7.986 5	4.103 8	最大值法	4.937 6	7.953 8	4.168 4
HIS 方法	2.518 9	6.867 3	1.609 0	HIS 方法	3.098 3	7.356 0	2.358 7
本文方法	4.979 6	9.569 7	4.386 5	本文方法	5.106 1	9.067 4	4.519 8

从客观的评价指标来看,本文方法所得融合图像的各参数均优于一般融合方法所得的融合图像,是可行且有效的。

3 结束语

本文提出的改进融合算法对低频部分采用加权法,加权因子通过图像块之间的相关系数和空间频率确定,高频部分通过方向对比度来选大确定,可用于各种图像的融合处理。小波基函数的选择和分解层数的确定将是下一步研究的主要问题,因为它们也是影响融合图像效果的主要因素。

参考文献:

[1] PIELLA G. A general framework for multiresolution image fusion: from pixels to regions[J]. Information Fusion, 2003, 68(4): 259-280.

[2] AMOLINS K, ZHANG Yun, DARE P. Wavelet-based image fusion techniques: an introduction, review and comparison[J]. Photogrammetry & Remote Sensing, 2007, 62(5): 249-263.

[3] WANG H, PENG J, WU W. Fusion algorithm for multisensor images based on discrete multiwavelet transform[J]. IEEE Proceedings of Vision, Image and Signal Processing, 2002, 149(5): 283-289.

[4] 强赞贤,彭嘉雄,王洪群.基于小波变换局部方差的遥感图像融合[J].华中科技大学学报:自然科学版,2003,31(6):89-91.

[5] 陶观群,李大鹏,陆光华.基于小波变换不同融合规则的图像融合研究[J].红外与激光工程,2003,32(2):173-176.

[6] 杨福生.小波变换的工程与应用[M].北京:科学出版社,2000.

[7] 蒲恰,方庆吉,倪国强.基于对比度的多分辨图像融合[J].电子学报,2000,28(12):116-118.

[8] 闫莉萍,刘宝生,周东华.一种新的图像融合及性能评价方法[J].系统工程与电子技术,2007,29(4):509-513.