

基于局部能量的小波图像融合新方法

龚昌来

(嘉应学院电子信息工程系, 广东 梅州 514015)

摘要:提出了一种新的基于局部能量的小波图像融合规则。新规则根据局部能量的大小关系,将选择和加权平均相结合。当两幅图像的局部能量比较接近时,采用加权平均的融合方式;当差别比较大时,选择局部能量较大的信号作为融合信号。在充分保留显著图像细节信息的前提下,进一步增强了算法的稳定性。实验结果表明新规则能取得更好的融合效果。

关键词:图像融合;小波分解;局部能量;选择;加权平均

中图分类号:TP391.4 **文献标识码:**A

A New Wavelet Image Fusion Method Based on Local Energy

GONG Chang-lai

(Dept. of Electronic and Information Engineering, Jiaying University, Meizhou 514015, China)

Abstract: A new image fusion rule based on local energy processing of wavelet coefficient is proposed. According to relative size of local energy, the new fusion rule combines the selection and weighted average fusion rule. When the source images' local energy are different greatly, the fusion coefficient is obtained by the selection rule; otherwise by the weighted average rule. The new fusion rule both preserves the source images' details and improves the algorithm's stability. Experiment results show the effectiveness of the new fusion rule.

Key words: image fusion; wavelet decomposition; local energy; selection; weighted average

1 引言

图像融合是指综合来自多个传感器的图像数据,充分利用彼此间的互补信息,获得对同一场景或目标更为精确和全面的描述。图像融合能够有效地提高图像信息的利用率和系统对目标探测识别的可靠性,广泛应用于军事、医学、遥感、机器视觉、目标识别等领域^[1]。

小波变换具有对信号进行多分辨率分析特性,基于小波变换的图像融合方法可以获得与人的视觉特性接近的融合效果。因此,近年来基于小波变换的融合算法成为人们研究的热点。在图像融合算法中,融合规则的选取是至关重要的,它直接影响融合后图像的质量。基于小波变换的融合算法中融合规则一般选择某个反映图像特征的量作为活性水平测度,以其大小作为融合图像小波系数的选择依据。

局部能量是一个反映图像信号变化的绝对强度的特征量,信号变化强度大的点正反映了图像的显著特征^[2]。因此,可将局部能量的大小作为融合依据,决定融合图像的小波系数。基于局部能量的图像融合考虑了图像像素与它相邻像素的高度相关性,是一种非常有效的融合方法,它有两种基本形式:一是选择方式,直接取局部能量较大的像素值作为融合后的小波系数;二是加权平均方式,以局部能量作为加权系数,将多个待融合的小波系数进行加权处理后作为融合后的小波系数。这两种融合方式各有自己的优点和缺陷,本文在分析的基础上提出了基于局部能量的选择和加权平均相结合的融合算法,即

作者简介:龚昌来(1962-),男,副教授,硕士,主要研究方向是图像与信号处理。E-mail: dzxgcl@sohu.com

收稿日期:2008-06-10

根据它们局部能量的大小关系,采用选择和加权平均相结合的方法。实验结果表明该方法能取得更好的融合效果。

2 基于局部能量的小波图像融合算法

2.1 基于小波变换的图像融合算法

对二维图像进行 N 层的小波分解,可获得 $(3N + 1)$ 个不同子频带,其中包含 $3N$ 个高频子带和 1 个低频子带。除了低频子带的数据为正值外,其他高频子带的数据均在零值左右分布。在高频子带中绝对值较大的系数对应于灰度突变之处,即对应于原始图像中的显著特征(如边缘、线、区域边界等)。基于小波变换的图像融合方法是先对多幅源图像进行小波分解,然后对子频带的小波系数分别进行融合处理,再进行小波逆变换,即可得到融合后的图像。算法框图如图 1 所示。

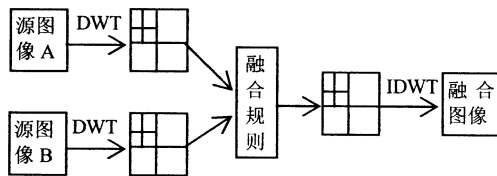


图 1 基于小波变换的图像融合算法框图

2.2 基于局部能量的融合规则

在基于小波变换的图像融合过程中,图像的低频子带集中了图像的主要能量,反映图像的近似和平均特性,所以对低频子带一般采用加权平均算子进行融合。而高频子带反映原图像的亮度突变特性,即原图像的边缘、区域边界特性,所以高频子带的融合结果影响图像的细节信息,是融合的关键。高频子带系数的融合规则主要有两类,一类是以单个像素为考察对象,例如绝对值最大规则,比较各个方向高频子带中小波系数的绝对值大小,具有较大绝对值的小波系数对应于较强烈的亮度变化。另一类是以一个局域窗口为考察对象,计算局域内的统计特征。因为图像的像素之间存在很大的相关性,所以在一个区域内考察图像比以单个像素为考察对象更能反应图像的特征和趋势。在一个局域窗口内,统计特征越明显,说明图像灰度级变化越大,细节越丰富。一个局域窗口的统计特征有多个,如方差、梯度、能量等,因而基于局域窗口的融合规则依据所采用的统计特征不同又有多种形式^[3-4]。本节主要介绍基于局部能量特征的融合规则^[5-7]。

待融合源图像 A, B 在以 (x, y) 中心点的窗口(设窗口大小为 3×3) 能量 $E_{j,A}^k(x, y)$ 及 $E_{j,B}^k(x, y)$ 定义为:

$$E_{j,A}^k(x, y) = \sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 W(n, m) [D_{j,A}^k(x + m, y + n)]^2 \quad (1)$$

$$E_{j,B}^k(x, y) = \sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 W(n, m) [D_{j,B}^k(x + m, y + n)]^2 \quad (2)$$

式中, j 为小波分解尺度; $k = H, V, D$ 分别表示水平、垂直和对角方向; $D_{j,A}^k(x, y), D_{j,B}^k(x, y)$ 分别表示源图像 A, B 在分解尺度 j 上 $k(k = H, V, D)$ 方向上 (x, y) 点的小波系数值; W 为加权模板,取 W 为:

$$W = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

基于局部能量的融合规则有两种基本形式,一是选择方式,二是加权平均方式。选择方式融合规则如下:

$$D_{j,F}^k(x, y) = \begin{cases} D_{j,A}^k(x, y), & E_{j,A}^k(x, y) \geq E_{j,B}^k(x, y) \\ D_{j,B}^k(x, y), & E_{j,A}^k(x, y) < E_{j,B}^k(x, y) \end{cases} \quad (4)$$

式中, $D_{j,F}^k(x, y)$ 表示融合图像 F 的小波系数值。

加权平均方式融合规则如下:

$$\begin{cases} D_{j,F}^k(x, y) = w_A \times D_{j,A}^k(x, y) + w_B \times D_{j,B}^k(x, y) \\ w_A = E_{j,A}^k(x, y) / [E_{j,A}^k(x, y) + E_{j,B}^k(x, y)] \\ w_B = 1 - w_A \end{cases} \quad (5)$$

基于局部能量的选择方式融合规则是取具有较大局部能量的像素值作为融合系数。当两幅图像对应像素的局部能量相差比较大时,可充分保留显著图像信号的细节特征。但是,当局部能量比较接近,即匹配程度比较大时,这种方式容易导致选择错误,使融合图像不稳定,产生失真。加权平均方式融合规则虽然可使融合图像稳定,并减少噪声,但比较保守,显著图像信号的细节特征得不到充分保留,使融合图像质量不高。由此分析可知,在整个融合过程中,单独使用选择或加权平均规则都不合适。

3 改进的融合规则

针对上述基于局部能量的融合规则存在的缺陷,本文提出了一种改进的融合处理方法。

首先,将局部能量进行归一化处理:

$$NE_{j,A}^k(x, y) = \frac{E_{j,A}^k(x, y)}{E_{j,A}^k(x, y) + E_{j,B}^k(x, y)} \quad (6)$$

$$NE_{j,B}^k(x, y) = \frac{E_{j,B}^k(x, y)}{E_{j,A}^k(x, y) + E_{j,B}^k(x, y)} \quad (7)$$

然后,计算上述归一化局部能量之差:

$$m(x, y) = NE_{j,A}^k(x, y) - NE_{j,B}^k(x, y) \quad (8)$$

改进的融合规则如下:

(1) 若 $|m(x, y)| \geq T$, 则:

$$D_{j,F}^k(x, y) = \begin{cases} D_{j,A}^k(x, y), & m(x, y) \geq T \\ D_{j,B}^k(x, y), & m(x, y) \leq -T \end{cases} \quad (9)$$

(2) 若 $|m(x, y)| < T$, 则:

$$D_{j,F}^k(x, y) = w \times D_{j,A}^k(x, y) + (1 - w) \times D_{j,B}^k(x, y) \quad (10)$$

式中, $T(0 < T < 1)$ 是一个阈值, 一般取为 $0.2 \sim 0.5$; w 为源图像 A 的权值, 是关于局部能量差 $m(x, y)$ 的函数。

由以上规则可得出, 在对应分解层和对应方向上, 当两图像 A, B 归一化局部能量值差别较大时 ($|m(x, y)| \geq T$), 说明一幅图像含有丰富的细节信息, 而另一幅图像含有较少的细节信息, 此时选择局部能量较大的像素值作为融合后的小波系数; 当归一化局部能量比较接近时 ($|m(x, y)| < T$), 说明两幅图像含有的细节信息量相当, 匹配程度比较大, 此时采用加权平均融合算子确定融合后的小波系数。这样既可以清晰的保留显著图像信号的细节特征, 又避免了失真, 减少了噪声, 确保了融合图像的一致性, 此方法记为基于局部能量的选择和加权平均融合规则。

权值 w 的确定:

w 是局部能量差 m 的函数, 合理的权函数应具有如下性质:

(1) $w(m)$ 在 $(-T, T)$ 上是单调增加的;

(2) $w(m)$ 满足下式:

$$w(m) = \begin{cases} 0, & m \leq -T \\ 1, & m \geq T \\ 0.5, & m = 0 \end{cases} \quad (11)$$

本文采用式(12)的指数函数来计算权值, 基本满足上面提到的两个性质:

$$w(m) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda m/T}} \quad (12)$$

式中, λ 为正常数, 一般取 $2 \sim 5$ 。

4 融合评价指标与实验结果分析

为验证本文改进规则的有效性, 采用两组多聚焦图像, 将改进规则与选择规则和加权平均规则三种方法进行融合对比实验。采用 Daubechies-4 小波对图像进行分解与重构, 小波分解层数为 3 层。改进规则中阈值 T 取 0.3 , 权值计算公式(12)中 λ 取 3 。为了对融合结果进行量化测量, 选取了一幅清晰的图像作为参考图像, 采用融合图像和参考图

像的均方误差 MSE 及交叉熵 CEN 作为评价融合效果优劣的客观标准。

均方误差 MSE 的定义为:

$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [G(m, n) - F(m, n)]^2 \quad (13)$$

式中, F 和 G 分别表示融合后图像和标准参考图像, M 和 N 分别表示图像的行程和列数。均方误差越小, 说明融合图像与标准参考图像越接近。

融合图像 F 与参考图像 G 的交叉熵 CEN 定义为^[8]:

$$CEN = \sum_{i=0}^{L-1} p_G(i) \log \frac{p_G(i)}{p_F(i)} \quad (14)$$

式中, $p_G(i)$ 和 $p_F(i)$ 分别为标准参考图像和融合图像的灰度分布概率; L 为图像总的灰度级。交叉熵亦称为相对熵, 用来度量两幅图像间的差异, 交叉熵越小, 说明融合后图像与标准参考图像间的差异越小, 即融合效果越好。

图 2 给出了一组多聚焦图像的融合实验结果。图 2(a) 为标准参考图像 (cameraman, 256×256), 采用高斯滤波模糊化来模拟受损图像, 图 2(b) 是对图



图 2 不同规则的融合图像效果比较 (cameraman)

像的左半部分模糊化;图2(c)是对图像的右半部分模糊化。目的就是通过融合得到清晰的、含有更多信息量的图像.图2(d)、(e)、(f)分别为三种方法的融合结果。表1给出了融合算法的性能评价。

表1 三种融合规则的性能比较(cameraman)

融合规则	MSE	CEN
选择规则	6.0869	0.0124
加权平均规则	8.4285	0.0122
改进规则	5.0794	0.0116

图3给出了另一组多聚焦图像(标准参考图像为peppers, 128×128)的融合实验结果,表2给出了相应的融合算法的性能评价。

由表1和表2可知,选择规则的融合效果优于加权平均规则,而改进规则的融合效果优于前二者,融合图像和参考图像的均方误差最小,交叉熵也最小。由图2和图3可知,改进规则融合图像的视觉效果也优于选择规则和加权平均规则。实验证明了改进规则的有效性。

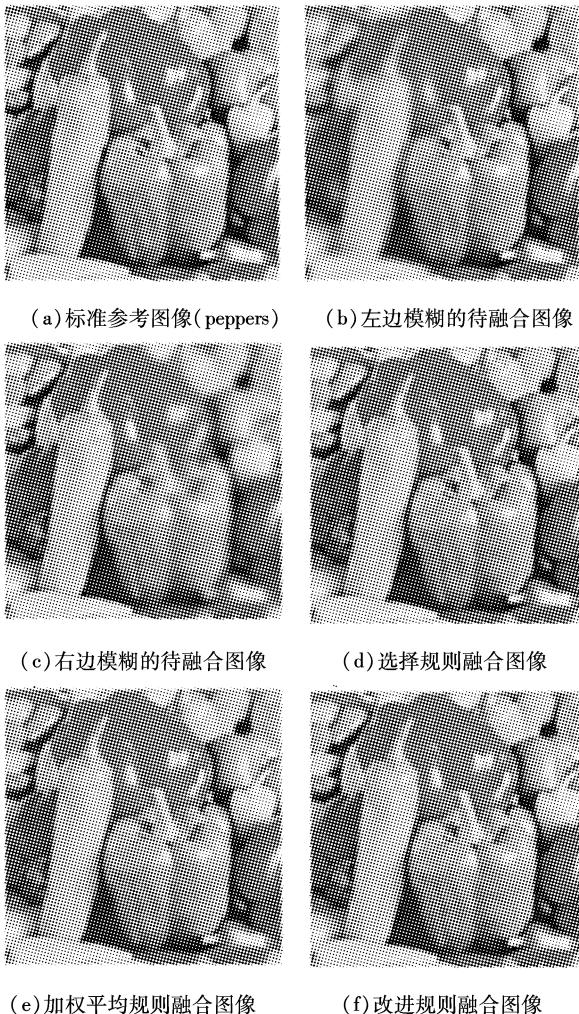


图3 不同规则的融合图像效果比较(peppers)

表2 三种融合规则的性能比较(peppers)

融合规则	MSE	CEN
选择规则	6.4908	0.0109
加权平均规则	12.1423	0.0287
改进规则	5.5618	0.0093

5 总结

基于局部能量的融合算法充分考虑了图像像素之间的高度相关性,是一种非常有效的融合方法,它有选择和加权平均两种基本的形式,每种形式各有自己的特点和缺陷,在融合过程中单独采用一种形式都不合适。本文根据局部能量的大小关系,提出了一种选择和加权平均相结合的融合规则。首先将两幅源图像的小波分解高频子带对应像素的局部能量进行归一化处理并计算其差值,然后设定一个阈值,当差值大于阈值时,采用局部能量极大准则选择融合系数;当差值小于阈值时,采用加权平均方式确定融合系数,权值函数采用简便的指数函数,满足基本要求。改进规则可以清晰地保留显著图像信号的细节特征,并避免了失真,减少了噪声,确保了融合图像的稳定性。实验结果表明,改进规则的融合效果优于传统的选择或加权平均规则。

参考文献:

- [1] David L H. An Introduction to Multi-sensor Fusion[J]. Proc. of the IEEE,1997,85(1):6-23.
- [2] 周锐锐,陈振华,毕笃彦.一种基于局部能量的图像融合方法[J].中国体视学与图像分析,2006,11(3):226-229.
- [3] 赵天均.基于方差的图像融合[J].河南理工大学学报(自然科学版),2007,26(3):302-306.
- [4] 曾基兵,陈怀新,王卫星.基于改进局部梯度的小波图像融合方法[J].电视技术,2007,31(8):18-20.
- [5] 侯建华,熊承义,喻胜辉.基于小波局部能量特征的多分辨率图像融合[J].中南民族大学学报,2006,25(2):47-50.
- [6] 苗启广,王宝树.基于小波变换与局部能量的多聚焦图像融合[J].计算机科学,2005,32(2):229-232.
- [7] 何凯,何明一,吴晓荣,等.基于小波能量加权的医学图像融合新算法[J].科学技术与工程,2006,6(13):1949-1954.
- [8] 王亚杰,王晓岩,刘学平.基于小波变换的多聚焦图像融合评述[J].沈阳航空工业学院学报,2005,22(4):65-67.