

# 基于边缘检测与归一化相关矩的图像融合方法

高国荣, 李文敏, 潘琼

GAO Guo-rong, LI Wen-min, PAN Qiong

西北农林科技大学 理学院 数学系, 陕西 杨凌 712100

College of Science, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

E-mail: ggrlyp@yahoo.com.cn

GAO Guo-rong, LI Wen-min, PAN Qiong. Image fusion based on wavelet edge detection and normalized correlation moment. *Computer Engineering and Applications*, 2008, 44(27): 194-196.

**Abstract:** As common image fusion schemes based on wavelet often consider a certain aspects of task when fusing wavelet coefficient of the source images, it is most possible that these methods often enhance a single property of the fused image. From the point of data fusion, a new fusion scheme is proposed. This new method band edge detection based on wavelet and the normalized correlation moment together. Experimental results show that this method is effective compared with the single fusion method in the quality of fusion result.

**Key words:** image fusion; wavelet transform; wavelet pyramid; normalized correlation moment

**摘 要:** 常见的基于小波变换的图像融合方法只是从小波系数的某一特性来考虑小波系数的选取, 因而融合结果往往只提升了融合图像的某一特性。从数据融合的角度, 提出了一种有效的融合算法, 该方法将基于小波变换的图像边缘检测与归一化相关矩相结合并应用于图像的融合中。实验表明, 与单一的融合规则相比, 该方法能有效提高融合图像的质量。

**关键词:** 图像融合; 小波变换; 小波金字塔; 归一化相关矩

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2008.27.062 文章编号: 1002-8331(2008)27-0194-03 文献标识码: A 中图分类号: TN911.73

## 1 引言

图像融合是指将不同传感器得到的多个图像根据某个算法进行综合处理, 以得到一个新的、满足某种需求的新图像, 其主要目的是通过对多幅图像间冗余数据的处理来提高图像的可靠性, 通过对多幅图像间互补信息的处理来提高图像的清晰度。图像融合技术能有效提高图像信息的利用率和系统对目标识别的可靠性<sup>[1]</sup>。

图像融合方法, 大体可分为 3 类: 一类是简单融合方法, 就是将空间对准的两幅图像直接求加权平均; 另一类是基于金字塔形分解和重建的融合方法<sup>[2]</sup>, 其融合效果要远优于第一类方法, 然而它仍有很多不尽人意的地方<sup>[3]</sup>; 还有一类就是近年兴起的基于小波变换的图像融合方法。小波融合方法的基本思想是先利用小波变换得到图像的多尺度表示, 然后在不同尺度上分别实施融合。在融合过程中, 融合准则的选取对融合质量至关重要, 其优劣直接影响图像融合的质量。常见的融合准则有: 绝对值最大准则, 局部方差最大准则<sup>[4]</sup>和基于局部区域能量的融合准则<sup>[7-8]</sup>, 把它们分别称为基于像素的融合准则和基于区域的融合准则。基于像素的融合准则虽然可以增强合成图像的边缘细节特征, 然而图像的局部特征往往不是由一个像素所能表征的, 它是由某一局域的多像素来表征和体现的; 而基于区域

的融合准则又往往对图像的边缘特征不敏感, 并要求区域内的像素有较好的相关性。因此, 上述的两种融合规则都有待改进。在本文中, 提出一种基于小波边缘检测的图像融合规则, 在处理融合图像的小波系数时, 将与源图像边缘点对应的小波系数单独考虑, 使融和图像在该点的小波系数更能反映源图像对应位置的高频信息, 该方法可以在融合图像中更好的保留源图像的边缘细节, 使融合图像更接近于真实的图像。

## 2 基于小波分解的图像融合的基本步骤

基于小波分解图像融合的基本步骤为<sup>[9]</sup>: (1) 将严格配准的两幅信源图像分别进行小波变换, 建立图像的小波塔形分解; (2) 各分解层分别进行融合处理, 得到融合后的小波金字塔; (3) 对融合后所得小波金字塔进行小波逆变换, 即得融合图像。

## 3 基于小波变换的图像边缘检测方法

根据小波边缘检测理论, 可以适当选择二维可分离小波, 使得这样的小波可以看作是某一平滑函数  $\theta(x, y)$  关于  $x$  与  $y$  的偏导数:  $\psi^1(x, y) = \partial\theta(x, y)/\partial x$ ,  $\psi^2(x, y) = \partial\theta(x, y)/\partial y$ 。记  $\psi_2^i(x, y) = \frac{1}{2^j} \psi^i(\frac{x}{2^j}, \frac{y}{2^j})$ , 其中  $i=1, 2$ , 则图像  $f(x, y)$  在尺度  $2^j$  下的小波变

基金项目: 西北农林科技大学人才基金。

作者简介: 高国荣(1977-), 男, 讲师, 主要研究方向: 小波分析、数字信号处理; 李文敏(1982-), 女, 助教, 主要研究方向: 微分方程孤子理论与信号处理; 潘琼(1981-), 女, 助教, 主要研究方向: 信号处理。

收稿日期: 2007-11-15 修回日期: 2008-02-29

换为:

$$W_2 f(x, y) = \begin{pmatrix} W_{2^1} f(x, y) \\ W_{2^2} f(x, y) \end{pmatrix} = 2^j \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} (f^* \theta_2)(x, y) \\ \frac{\partial}{\partial y} (f^* \theta_2)(x, y) \end{pmatrix} = 2^j \nabla (f^* \theta_2)(x, y)$$

定义在尺度  $2^j$  时图像  $f(x, y)$  小波变换的模和幅角为:

$$M_2 f(x, y) = \sqrt{|W_{2^1} f(x, y)|^2 + |W_{2^2} f(x, y)|^2}$$

$$A_2 f(x, y) = \arctg W_{2^2} f(x, y) / W_{2^1} f(x, y)$$

由此可以看出,平滑后图像  $f(x, y)$  的突变点对应于梯度向量方向  $A_2 f(x, y)$  上  $M_2 f(x, y)$  的局部极大值点,因此只需沿方向  $A_2 f(x, y)$  检测  $M_2 f(x, y)$  的局部极大值点,就可得图像的边缘点。具体实现方法见文献[10]。

#### 4 图像融合规则的选取

在图像融合过程中,融合规则的选择是至关重要的,当在建立融合图像的小波系数时,必须确定哪幅源图的小波系数对融合有利,这个信息将保留在融合决策图中。根据什么样的准则来选取特征是非常关键的技术。目前通常使用的特征提取准则有小波系数最大值、局部方差和局部能量准则<sup>[7]</sup>。其中,最大值准则在选取小波系数时,因易受孤立噪声影响,而可能会选择错误的小波系数。局部方差和能量准则,又都是对局部窗口内的分解系数作整体考虑,而对窗口内每个像素所包含的独立信息考虑不足。为克服以上融合准则的缺陷,谷延锋等在文献[11]中提出一种基于归一化相关矩的图像融合模型。在多分辨率图像融合中,针对原图像分解得到的某一分辨率下的小波图像,定义归一化相关矩  $M_{ij}^k = |(w_{ij} - \mu_{ij}) / \sigma_{ij}|$ 。设  $X, Y$  为两幅源图像,  $F$  为融合图像,则融合图像小波系数选取为:

$$D_{l-1, F}^k(i, j) = \begin{cases} D_{l-1, X}^k(i, j), & \text{若 } M_{ij, X}^{k, l-1} > M_{ij, Y}^{k, l-1} \\ D_{l-1, Y}^k(i, j), & \text{若 } M_{ij, Y}^{k, l-1} > M_{ij, X}^{k, l-1} \end{cases}$$

其优点有:(1)该归一化相关矩同时考虑了小波系数中的局部均值和方差;(2)该模型针对的是局部窗口内每个小波系数,而不是将整个窗口作为一个对象来考虑,因而充分利用了小波的时频局部特性。

事实上,文献[11]中提出的融合准则仍是一种基于区域的融合准则。前面指出:基于像素的融合准则和基于区域的融合准则都有自身的局限性。Mallat 在文献[12]中指出,可以通过图像的小波变换模的局部极大值点的信息,通过交替投影算法,得到原图像一个视觉上无差别的近似。而图像小波变换模的局部极大值点就对应着图像的边缘,这就说明边缘携带了图像的十分重要的信息。由此,提出一种基于小波边缘检测的图像融合规则。该规则先用文献[10]中提出的图像边缘检测方法,提取图像在小波变换后不同尺度下的边缘,然后,对边缘点所对应的小波系数进行特殊处理,再与文献[11]中提出的融合方法相结合。具体方法如下。

对于源图像  $A$  第  $j(j=1, 2, 3, \dots)$  层的三个高频子图  $D_{j, A}^\varepsilon$  (其中  $\varepsilon=v, h, d$  分别代表垂直、水平和对角线方向),该层的水平方向的子图和垂直方向的子图(即  $D_{j, A}^h, D_{j, A}^v$ )对应于源图像  $A$  水平方向和垂直方向的小波变换,运用文献[10]中的方法,对  $\forall$  点  $(m, n)$ , 计算该点的小波变换的模和梯度幅角,然后寻找梯度

方向上小波系数模的局部极大值,进而得到与该层低频近似对应的边缘图像  $A_j$  (用同样的方法可以得到与源图像  $B$  各低频近似图像对应的边缘图像  $B_j$ )。对于高频子图像的  $\forall$  点  $(m, n)$ , 融合图像在该点的小波系数采用下述方法来确定:

$$D_{j, F}^\varepsilon(m, n) = \begin{cases} D_{j, A}^\varepsilon(m, n) \text{ 与 } D_{j, B}^\varepsilon(m, n) \text{ 中绝对值较大的一个,} \\ \quad \text{当 } A_j(m, n) \text{ 与 } B_j(m, n) \text{ 均为边缘点} \\ D_{j, A}^\varepsilon(m, n), \\ \quad \text{当 } A_j(m, n) \text{ 为边缘点 } B_j(m, n) \text{ 不是边缘点时} \\ D_{j, B}^\varepsilon(m, n), \\ \quad \text{当 } B_j(m, n) \text{ 为边缘点 } A_j(m, n) \text{ 不是边缘点时} \\ \text{用文献[11]的方法确定该点的小波系数,} \\ \quad \text{当 } A_j(m, n) \text{ 与 } B_j(m, n) \text{ 均为非边缘点时} \end{cases}$$

其中,  $\varepsilon=v, h, d, j$  为分解尺度。这种方法在处理融合图像的小波系数时,将与源图像边缘点对应的小波系数单独考虑,使融和图像在该点的小波系数更能反映源图像对应位置的高频信息,这样的处理方法可以在融合图像中更好的保留源图像的边缘细节,使融合图像更接近于真实的图像。

为保持融合后各频带数据的一致性,用概率方法对其进行一致性检测与调整。调整原理是采用“多数”原则,在频带数据融合后对每个像素进行如下处理:若某像素的 8 邻域中至少有 6 像素来自图像  $A$ , 则该像素融合后的子带数据也调整为由图像  $A$  确定,即取来自图像  $A$  对应点的小波系数,否则不变。

#### 5 图像融合效果的客观评价与融合实验

不同融合方法的结果,可用目视判别:优点是直接、简单,可直接根据图像处理前后的对比做出定性评价,缺点是主观性较强。为进一步客观定量评价融合效果,对不同融合方法的结果,用熵、交叉熵、标准偏差、均方根误差、峰值信噪比等来定量描述。熵和标准偏差越大,说明融合后图像上的信息量增加越多,达到富集表示的目的。图像交叉熵反映了两幅图像对应像素的差异,交叉熵越小,说明融合结果图像与两幅原始图像(或标准参考图像)的差异越小。峰值信噪比越高,融合图像越清晰。均方根误差越小,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<sup>[10]</sup>。

图 1 是一幅清晰的原始图像,对其左右两部分用高斯函数进行模糊,模拟摄像时的离焦现象,得到图 2 远景聚焦,前景离焦的图像,图 3 远景离焦,前景聚焦的图像。对两幅图像进行小波分解,分解层数为 3,小波基选用“Bior4.4”,分别采用本文前述的 4 种融合规则进行融合实验,得到的融合图像分别为图 4~图 7。从视觉效果上看,本文提出的融合方法的效果略好于前 3 种种方法。采用熵、交叉熵、标准偏差、均方根误差、峰值信噪比等来定量描述的结果见表 1。

表 1 不同方法融合结果的比较

融合方法	均方根 误差	峰值信 噪比	平均误差	标准差	相似性 度量	熵	交叉熵
文献[9]	0.775 3	50.341 0	0.372 6	14.752 1	<b>0.999 6</b>	5.561 6	<b>0.003 5</b>
局部方差	1.059 2	47.630 8	0.531 8	14.692 6	0.999 2	5.565 3	0.006 8
取大	0.793 3	50.142 3	0.411 0	<b>14.955 4</b>	<b>0.999 6</b>	<b>5.773 8</b>	0.004 2
本文方法	<b>0.721 4</b>	<b>51.729 3</b>	<b>0.359 9</b>	14.763 2	<b>0.999 6</b>	5.562 9	0.004 1



图1 原始图像 图2 远景聚焦, 图3 远景离焦, 图4 局部方差最大准则融合图像 图5 绝对值最大准则融合图像 图6 文献[9]的融合图像 图7 本文方法的融合图像

从表1中可以看到:本文所提出的基于小波边缘检测与归一化相关矩相结合的融合准则,有4项指标达到了最优,而其余的3个指标中也有两个比另外3种融合规则中的某两种的相应指标好,也就是说:本文所提出的方法在这7个指标中,有6个比其余3种方法中的某两种要好。统计结果表明,采用熵、交叉熵、标准偏差、均方根误差、峰值信噪比等来定量描述的结果与主观视觉得到的结果是一致的。由此可以看出:本文所提出的融合规则要优于其余3种单一的融合规则。

### 6 结论

由于常见的基于小波变换的图像融合方法只采用单一的融合准则,所以融合的结果往往只对某一种指标性能较好。本文提出了一种基于小波边缘检测与归一化相关矩相结合的融合准则,将像素级融合与特征级融合相结合,并用熵、交叉熵、标准偏差、均方根误差、峰值信噪比等指标来定量评价融合结果的优劣。实验结果表明:该方法由于在一般融合准则的基础上,使用了图像的边缘细节特征,最终使得融合图形的质量得到较大的提高,从而验证了该方法的有效性。

### 参考文献:

[1] 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):45-48.

(上接 179 页)

$$SNR=20\lg \frac{|A-B|}{\sigma} \quad (9)$$

式中,  $A$  表示目标的亮度值,  $B$  表示目标所在邻域处背景的平均亮度值,  $\sigma$  表示目标邻域噪声的标准方差。亮度值由所要求的 SNR 和目标邻域噪声方差  $\sigma$  确定,即:

$$A=10^{SNR/20} \cdot \sigma + B \quad (10)$$

采用本文所述的算法检测本文图像序列中各个点状目标的初始信息,将检测出的目标初始位置与各目标的实际位置进行对比,给出误差值。如表1所示。

表1 目标真实位置与检测位置的检测误差表

目标 编号	Pe=10 <sup>-7</sup>							
	目标真 实位置		检测位置 (15 dB)			检测位置 (8 dB)		
	x	y	x <sub>1</sub>	y <sub>1</sub>	d <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	y <sub>2</sub>	d <sub>2</sub>
1	41	49	40.758 9	48.993 1	0.241 1	40.514 6	49.462 7	0.670 0
2	41	271	40.900 0	271.000 0	0.100 0	40.849 1	270.959 1	0.156 4
3	200	49	200.000 0	49.000 0	0.000 0	200.000 0	49.000 0	0.000 0
4	200	271	200.000 0	271.000 0	0.000 0	199.860 0	271.000 0	0.140 0
5	205	275	205.018 7	275.000 0	0.018 7	205.143 0	275.086 0	0.167 0

### 6 结论

针对红外背景下的多个微弱点运动目标检测问题,本文给出了一种利用概率加权和多帧图像间的目标双向互相关特性的 TBD 算法。预处理之后,它充分利用每个样本点是否为目标

[2] 王文君,陈思锦,秦其明,等.基于双正交小波的多分辨率遥感图像数据融合[J].现代电子技术,2004,5:31-34.

[3] Aggarwal J K.Multisensor fusion for computer vision[M].Berlin:Springer-Verlag,1993.

[4] Burt P T,Adelson E H.The Laplacian pyramid as a compact image code[J].IEEE Transactions on Communications,1983,31(4):532-540.

[5] Li H,Manjunath B S,Mitra S K.Multisensor image fusion using the wavelet transform[J].Graphical Models and Image Processing,1995,57(3):235-245.

[6] 赵天昀,徐振强,李正文.基于小波变换的多聚焦图像融合方法[J].计算机应用,2004,24(7):157-159.

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

[8] 王文君,陈思锦,秦其明,等.基于双正交小波的多分辨率遥感图像数据融合[J].现代电子技术,2004,5:31-34.

[9] 刘贵喜,杨万海.基于小波分解的图像融合方法及性能评价[J].自动化学报,2002,28(6):927-934.

[10] 林晓梅,李琳娜,牛刚,等.基于小波边缘检测的图像去噪方法[J].光学精密工程,2004,12(1):88-93.

[11] 谷延锋,张晔,张钧萍.基于归一化相关矩的多分辨率遥感图像融合[J].中国图象图形学报,2002,7(11):1220-1224.

[12] Mallat S,Zhong S.Characterization of signals from multiscale edges[J].IEEE Trans PAMI,1992,14(7):710-732.

的概率信息来构造目标的初始位置有效的减少了漏警事件的发生,同时利用多个组合帧间目标的双向互相关特性进行目标航迹的初始化。实验证明,该算法能够实现低信噪比环境下各个目标航迹的初始信息的确定,分离出各个目标的航迹,结构简单实时有效。后续的研究工作主要工作是航迹交叉的多目标检测和跟踪。

### 参考文献:

[1] Blostein S D,Huang T S.Detecting small moving objects in image sequences using sequential hypothesis testing[J].IEEE Trans on Signal Processing,1991,39(7):1611-1629.

[2] 艾斯卡尔.基于时空分集理论的弱点状运动目标检测技术研究[J].通信学报,2005.

[3] 耿文东.基于 PDA 的群目标合并与分离方法研究[J].信号与信息处理,2006,11.

[4] 张海英,张田文,温玄.基于对比度积累的弱点目标检测[J].哈尔滨工业大学学报,2007,3.

[5] 顾静良.低对比度弱小目标检测算法研究[D].四川:中国工程物理研究所,2005.

[6] Shyu H C,Lin Y T,Yang J M,et al.The group tracking of target-son sea sur face by 22D search radar[C]/Proc IEEE National Radar Conf,1995,5:329-333.

[7] Leung H,Alyssa Y.Small target detection in clutter using recursive nonlinear prediction[J].IEEE Trans on Aerospace and Electronic Systems,2000,36(2):713-718.