

· 红外技术 ·

## 基于DWT的红外偏振与光强图像的融合

安 富, 杨风暴, 李伟伟, 周 箫

(中北大学信息与通信工程学院, 山西 太原 030051)

**摘 要:**提出了一种基于离散小波变换DWT(discrete wavelet transform)的红外偏振与光强的融合方法。该算法采用DWT对源图像进行多尺度分解,然后对低频子带系数采用局部能量融合,而对高频子带系数采用消除高频噪声与局部均方差准则结合进行融合,最终通过逆变换得到重构的融合图像。实验结果表明,与加权平均融合和绝对值较大法的融合规则相比,局部标准偏差、粗糙度、对比度、局部熵分别提高了1.1%,3.0%,15.2%,2.6%,从而可以看出文中的融合方法具有一定的优势和现实意义。

**关键词:**红外偏振;红外光强;离散小波变换;融合规则

中图分类号:TN219

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2013)-02-0018-05

## Fusion of Infrared Polarization and Intensity Images Based on DWT

AN Fu, YANG Feng-bao, LI Wei-wei, ZHOU Xiao

(Information and Communication Engineering College, North University of China, Taiyuan 030051, China)

**Abstract:** A fusion algorithm of infrared polarization and intensity based on discrete wavelet transform (DWT) is put forward. DWT is adopted in the algorithm to decompose a source image into multi-scale images. Then the low frequency sub-band coefficient is fused by the local energy. And the high frequency sub-band coefficient is fused by eliminating high frequency noise and incorporating with local mean square error rule. The reconstructed fusion images are got finally through inverse transformation. Experimental results show that local standard deviation, roughness, contrast and local entropy are increased by 1.1%, 3.0%, 15.2%, 2.6% respectively comparing with the fusion rules of weighted average and the largest absolute value. So the fusion method has a certain advantage and reality.

**Key words:** infrared polarization; infrared intensity; discrete wavelet transform (DWT); fusion rule

由菲涅耳理论可知,红外偏振成像系统获取的偏振图像能够获取杂乱目标的形状、粗糙度和表面温度信息<sup>[1]</sup>,并且偏振成像技术在人造物与自然背景和金属与绝缘体的分类具有明显的优势<sup>[2]</sup>。对于传统的红外图像系统获取的信号能够很好地对热目标成像,纹理信息较丰富,目标边缘比较模糊<sup>[3]</sup>。因此可见,红外偏振图像可以获取很好的边缘轮廓信息而光强图像可以获取较好的纹理信息,两者信息的结合可以有效地增强图像中目标的释义,融合两者可以在目标识别中更好地分类。

随着计算机技术、通信技术、微电子技术的迅速

发展,以及现代军事战争的复杂性日益提高,各种面向复杂应用背景的多传感器数据系统也随之大量涌现,因而数据处理的自动化程度正在逐步提高,由原来单一传感器数据处理发展为多传感器数据处理。在多传感器系统中,信息表现形式的多样性,信息容量以及信息的处理速度等要求,都已大大超出人脑的信息综合能力,为了充分利用越来越多的复杂的多元数据,需要将更多的补充信息合并入一个新的数据集中。信息融合技术是一种很有效的、综合的从大量数据中提取信息的技术<sup>[4]</sup>。图像融合作为数据融合的重要组成部分,是一种可视的信息融合技

收稿日期:2013-01-10

基金项目:国家自然科学基金项目(61171057);山西省自然科学基金(2011011015-1);教育部高等学校博士学科点专项科研资助项目(博导类)

作者简介:安富(1986-),男,黑龙江省齐齐哈尔人,硕士研究生,主要从事红外信息处理的研究。

术,它综合了传感器技术、图像与信号处理、计算机技术、人工智能、统计与估计理论等许多科学的高新技术。

由于图像融合技术的实施能够克服单一传感器获取的影像在几何、光谱和空间分辨等方面存在的局限性和差异性,以增强图像的可靠性和图像的解释能力,从而提高数据分类和目标识别能力。文中是针对红外偏振和红外光强的成像差异特性来获得两幅图像的融合图像,从而把两幅图像各自的优势进行互补,达到改善检测、分类、理解、识别性能,获取补充的图像数据信息<sup>[5]</sup>。

### 1 图像的二维离散小波变换(DWT)

二维离散小波变换是多分辨率图像融合的一种有效方法,它可以将原始图像分解成一系列具有不同空间分辨率和频域特性的子图像,充分反映源图像的局部变化特征,将源图像分解到一系列频带中,利用分解后的塔形结构,将待融合图像各自携带的特征与细节在多个分解层、多个频带上进行融合,符合人眼对不同方向的高频分量具有不同分辨率这一视觉特性,因此可以获得视觉效果更佳的融合图像。

#### 1.1 图像的二维离散小波变换原理

二维图像经小波分解后,可得到低频子图像和水平、垂直、对角这三个方向的高频子图像。低频子图像还可以继续再逐级分解。因此若对二维图像进行  $N$  层小波分解,最终将有  $3N+1$  个不同频带分量,其中包括  $3N$  个高频分量和 1 个低频分量。当  $N=2$  时,图像的小波分解图如图 1 所示。

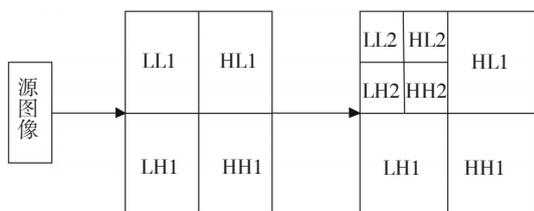


图 1 图像的分解图

Mallat 提出了小波变换的快速分解与重构算法,该算法利用两个一维滤波器实现对二维图像的快速小波分解,再利用两个一维重构滤波器实现图像的重构。设  $H$  (低通)和  $G$  (高通)为两个一维镜像滤波算子,  $r$  和  $c$  分别对应于图像的行和列,按照 Mallat

算法,则在尺度  $j$  下有如下分解公式<sup>[6]</sup>

$$\begin{cases} C_{j+1} = H_r H_c C_j \\ D_{j+1}^1 = H_r G_c C_j \\ D_{j+1}^2 = G_r H_c C_j \\ D_{j+1}^3 = G_r G_c C_j \end{cases} \quad j=0, 1, \dots, J \quad (1)$$

其中,  $C_{j+1}$ ,  $D_{j+1}^1$ ,  $D_{j+1}^2$ ,  $D_{j+1}^3$  分别对应于图像的低频成分,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。与之相应的二维图像的 Mallat 重构算法为

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

式中,  $H^*$  和  $G^*$  分别为  $H$  和  $G$  的共轭转置矩阵。其中低频部分反应了源图像的近似和平均特性,三个高频分量都是图像的细节部分,反应了图像的边缘信息。

### 2 基于二维离散小波变换的图像融合方法

下面以红外偏振与红外光强的融合为例,说明基于二维离散小波变换的图像融合原理,对于多幅图像的融合方法可由此类推。基于二维离散小波变换的图像融合合法的结构图如图 2 所示。首先对源图像分别进行 DWT 变换,使源图像分解为含有不同尺度、不同频率成分的小波系数,小波系数中的近似系数就是源图像的低频成分,小波系数中的细节系数就是源图像的高频成分。从而建立各图像的小波塔形分解。然后对各个不同的小波系数进行融合处理,不同频率的各层根据不同的要求采用不同的融合算子进行融合处理,最终得到融合小波金字塔。对融合后的小波金字塔进行小波逆变换,即图像重构,所得的重构图像即为融合图像。这样可有效地将来自不同的图像的细节融合在一起,以满足实际要求,同时有利于人的视觉观察。

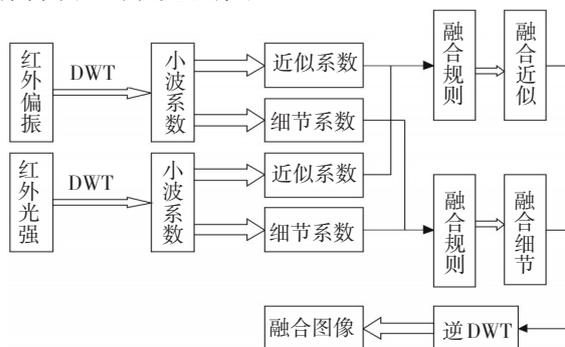


图 2 二维离散小波变换的图像融合合法的结构图

## 2.1 近似系数的融合规则

图像的近似系数主要反映了图像的近似和平均信息,包含了图像的主要能量,决定了图像的主要形状和纹理。正确地选择低频的融合规则,对提高图像视觉效果是非常重要的。目前,大部分融合只是对高频系数进行研究,对低频子带系数只是用简单的加权平均的融合规则来选取相应的系数,在一定程度上降低了图像的清晰度,从而使得源图像中的一些有用信息丢失<sup>[7]</sup>。

文中提出一种基于局部能量的系数融合规则<sup>[8]</sup>:在近似图像中分别选取待融合像素点 $(i, j)$ 为中心,大小为 $3 \times 3$ 的区域窗口。则红外偏振和红外光强窗口的区域能量 $E_P(i, j)$ 和 $E_I(i, j)$ 分别为

$$E_P(i, j) = \sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 \mathbf{W}(m, n) [C_P^0(i+m, j+n)]^2 \quad (3)$$

$$E_I(i, j) = \sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 \mathbf{W}(m, n) [C_I^0(i+m, j+n)]^2 \quad (4)$$

其中,  $\mathbf{W}(m, n)$  为加权系数矩阵,  $C_P^0(i, j)$  和  $C_I^0(i, j)$  分别为源图像近似系数在 $(i, j)$ 处的像素点,选择能量较大的区域中心点像素值作为融合图像在该区域的中心点像素值,表示为

$$F_j^0(i, j) = \begin{cases} C_P^0(i, j) & E_P(i, j) \geq E_I(i, j) \\ C_I^0(i, j) & E_P(i, j) < E_I(i, j) \end{cases} \quad (5)$$

## 2.2 细节系数的融合规则

细节系数代表着图像的高频信息,在图像的成像过程难免会有一些噪声的干扰,所以在进行融合细节系数前对细节系数做了中值滤波处理。

由于亮度突变信息决定了融合图像的边缘、纹理等细节信息。区域方差反映了区域内像素灰度值与其平均值的偏离程度,区域方差越大,说明区域内各个像素的差别越大,越可能是图像中目标的边缘或是轮廓特征。因此文中采用局部方差作为衡量一个区域目标特征显著性的度量值<sup>[9]</sup>。则窗口为 $3 \times 3$ 的区域方差可表示为

$$\sigma_{D_h^k}(m, n) = \sum_{p=-1}^1 \sum_{q=-1}^1 \mathbf{W}(p, q) \cdot [D_{h_j^k}^k(p+m, q+n) - \bar{\mu}_{h_j^k}(m, n)]^2 \quad (6)$$

$$\sigma_{D_v^k}(m, n) = \sum_{p=-1}^1 \sum_{q=-1}^1 \mathbf{W}(p, q) \cdot [D_{v_j^k}^k(p+m, q+n) - \bar{\mu}_{v_j^k}(m, n)]^2 \quad (7)$$

式中,  $\sigma_{D_h^k}(m, n)$ ,  $\sigma_{D_v^k}(m, n)$  表示红外偏振和红外光强第 $j$ 层以 $(m, n)$ 为中心的局部方差,  $k$ 取 $h, v, d$ 。 $h$ 代表水平方向,  $v$ 代表垂直方向,  $d$ 代表对角方向。 $\bar{\mu}_{P_j^k}(m, n)$ 和 $\bar{\mu}_{I_j^k}(m, n)$ 分别表示红外偏振和红外光强以 $(m, n)$ 为中心的区域像素的灰度均值。 $\mathbf{W}(p, q)$ 为加权系数。计算局部区域的方差的匹配度

$$M_j^k = \frac{2\sigma_{D_h^k} \sigma_{D_v^k}}{\sigma_{D_h^k}^2 + \sigma_{D_v^k}^2} \quad (8)$$

式中,  $M_j^k$ 表示第 $j$ 尺度的匹配度,它的取值在0~1之间变化,如果设定一个阈值 $T$  ( $T=0.2$ ),如果 $M_j^k < T$ ,说明两幅图像的细节系数图像之间的相关性比较低,则有

$$F_j^k(m, n) = \begin{cases} D_{P_j^k}^k(m, n) & \sigma_{D_h^k} > \sigma_{D_v^k} \\ D_{I_j^k}^k(m, n) & \sigma_{D_h^k} \leq \sigma_{D_v^k} \end{cases} \quad (9)$$

当 $M_j^k \geq T$ 时,说明两幅图像之间的相关性较高,采用加权融合规则,则有

$$F_j^k(m, n) = \begin{cases} G_j^k \cdot D_{P_j^k}^k(m, n) + (1 - G_j^k) \cdot D_{I_j^k}^k(m, n) & \sigma_{D_h^k} \geq \sigma_{D_v^k} \\ (1 - G_j^k) \cdot D_{P_j^k}^k(m, n) + G_j^k \cdot D_{I_j^k}^k(m, n) & \sigma_{D_h^k} < \sigma_{D_v^k} \end{cases} \quad (10)$$

取加权系数为 $G_j^k = \frac{1 - M_j^k}{1 - T}$ , 式中,  $D_{P_j^k}^k(m, n)$ ,

$D_{I_j^k}^k(m, n)$ ,  $F_j^k(m, n)$ 分别为红外偏振图像 $P$ 、红外光强图像 $I$ 和融合图像 $F$ 在点 $(m, n)$ 相对应的灰度值。



图3 红外光强图像



图4 红外偏振图像



图5 直接平均+取最大值的融合图像



图6 局部区域能量+局部区域方差的融合图像

### 3 融合结果分析

图3和图4是来自文献[10]的同一场景的红外光强图像和红外偏振图像。图3是红外热像仪对物体的辐射所成的像,整体的亮度较大,尤其在房屋的边缘、车身、井盖、背景天空和树的整体较亮,但是细节信息不明显。如车灯、车顶、树叶的形状不明显。图4是红外热像仪在前端加上偏振片后所成的像,由于偏振片只能在某个方向上成像,所以图像的整体亮度较低,但是在成像过程中偏振特性信息的引入,使得所得到的偏振图像的细节信息较为突出,如房屋的边缘、树叶的形状、车灯、车顶和道路的边缘较为突出。由于两幅图像的成像特性差异具有互补性,所以文中将这两幅图像进行了融合,如图5和图6所示为文中所实现的融合图像。图5采用了直接平均和最大值的融合方法而图6采用本课题组研究的基于区域能量、中值滤波和局部区域方差的融合方法。

#### 3.1 定性分析

从图5和图6可以看出,两幅融合图像均把红外

光强和红外偏振的信息融合在一起,信息量明显增加,而且图像更加清晰,如它们在MATLAB中的三维灰度投影图如图7~图10所示。



图7 红外光强投影图



图8 红外偏振投影图



图9 融合图像a的投影图



图10 融合图像b的投影图

可以看出,融合图像 $a$ 比融合图像 $b$ 的整体亮度大,如房子的墙身、路的周围、车身、树的主干和背景的亮度大,但是目标与背景的对比度明显减小,而且有些模糊,不利于人眼的观察。在融合图像 $b$ 中可以看出目标的亮度大,如房子的边缘、车灯、路面,背景的亮度小,如车后的树、道路的边缘以及天空。还可以明显看出融合图像 $b$ 的车灯比 $a$ 的亮,树叶的细节

信息比 $a$ 的多。

### 3.2 定量分析

为了定量评价融合图像的效果,选取信息熵、标准偏差、粗糙度、目标背景对比度<sup>[8]</sup>作为客观评价指标。如表1所示。

表1 融合图像效果的评价指标

	信息熵	对比度	粗糙度	标准偏差
融合图像 $a$	4.409 9	0.451 1	2.907 5	14.275 7
融合图像 $b$	4.524 4	0.519 7	2.994	14.431 2
参数变化率	2.6%	15.2%	3.0%	1.1%

## 4 结 论

在DWT变换的基础上,针对融合规则,提出了一种红外偏振与光强图像融合方法。首先对待融合图像进行DWT分解,然后对低频子带系数和高频子带系数分别进行局部区域能量和局部区域方差的融合。实验结果表明,与直接平均与取绝对值较大的融合规则相比,该算法很好地将红外偏振图像与红外光强图像中的互补信息提取并融合到一幅图像中,图像在整体效果、细节信息、边缘特征、目标背景对比度等方面改善效果显著,有助于场景的理解与识别。

### 参考文献

- [1] Daniel A Lavigne, Mélanie Breton, Georges Fournier, et al. Target discrimination of man-made objects using passive polarimetric signatures acquired in the visible and infrared spectral bands[C]//Proc.SPIE,2011,8160:1-9.
- [2] Zhao Yongqiang, Pan Quan, Zhang Hongcai. Object detection by fusion spectral and polarimetric imagery[C]// Proc.

SPIE,2006,6031: 1-7.

- [3] 李伟伟,杨风暴,安富. 基于NSCT的红外偏振与光强图像的融合研究[J]. 光电技术应用,2012,27(2):58-61.
- [4] 曾基兵. 基于多分辨率分析的多源图像融合方法研究[D]. 成都:电子科技大学,2008.
- [5] 李晖晖. 多传感器图像融合算法研究[D]. 西安:西北工业大学,2006.
- [6] 余慧. 多聚焦图像融合算法研究[D]. 南京: 河海大学,2006.
- [7] 王玲,李红松,周浩. 基于非向下采样 Contourlet 变换的多聚焦图像融合[J]. 计算机应用与软件, 2011, 28(4): 167-170.
- [8] 龚昌来. 基于局部能量的小波图像融合新方法[J]. 激光与红外,2008,38(12):1266-1269.
- [9] 王金龙, 宋建社, 蔡幸福. 基于非子采样 Contourlet 变换的多波段 SAR 图像伪彩色融合[J]. 计算机应用研究, 2009, 26(3): 1161-1167.
- [10] Goran Forssell, Eva Hedborg Karlsson. Measurements of polarization properties of camouflaged objects and of the denial of surfaces covered with cenospheres[C]// Proc. SPIE,2003,5075:246-258.