

·信号与信息处理·

基于NSCT的红外偏振与光强图像的融合研究

李伟伟, 杨风暴, 安 富

(中北大学信息与通信工程学院, 山西 太原 030051)

摘 要: 针对融合规则的选择, 提出了一种基于非采样 Contourlet 变换的红外偏振与光强的融合方法。该算法采用 NSCT 对源图像进行多尺度、多方向分解, 然后对低频子带系数和高频子带系数分别采用局部能量和区域目标特征的选择, 最终通过逆变换得到融合图像。实验结果表明: 与加权融合和绝对值取大的融合规则相比, 局部标准偏差、局部粗糙度、对比度、分别提高 3.42%、12.7%、9.67%。

关键词: 图像融合; 红外; 非采样 contourlet 变换; 融合规则

中图分类号: TP317.4

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255-(2012)02-0058-04

Fusion of Infrared Polarization and Intensity Images Based on NSCT

LI Wei-wei YANG Feng-bao AN Fu

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

Abstract: According to the choice of fusion rules, a fusion algorithm based on non-subsampled Contourlet transform (NSCT) is proposed for infrared polarization and light intensity image fusion. Firstly, the NSCT is used to perform the multi-scale and multi-direction decomposition of the source images. Then the low frequency sub-band coefficients and high frequency sub-band coefficients of the fused images can be obtained by the fusion rules based on the local energy and regional characteristic of the target. The experimental results show that the local standard deviation increases by 3.42%, the local coarseness increases by 12.7% and the contrast increases by 9.67%, by comparing with the fusion rules of weighted average and maximum absolute value.

Key words: image fusion; infrared; non-subsampled Contourlet transform (NSCT); fusion rules

红外偏振成像技术主要通过目标与景物的红外辐射及偏振特性差异进行目标探测与识别, 可以表述物体表面的粗糙度、纹理、边缘等信息, 具突显目标轮廓及增强景物细节信息的能力^[1]。红外光强图像即传统的红外成像主要是依赖目标与景物的红外辐射成像, 擅长对热目标成像, 图像轮廓清晰, 细节变换不敏感, 目标边缘比较模糊^[2]。可见, 红外偏振图像与红外光强图像能够独立表征目标特征信息, 充分利用其信息的互补性, 从而获得有利于观察者对场景进行整体认知的融合图像。

针对红外偏振与光强图像的不同特点, 提出了

一种基于 NSCT 的红外偏振与光强图像融合算法, 首先对待融合图像进行 NSCT 变换, 分解成高低频子带, 然后对低高频子带图像分别采取局部能量和区域目标特征来选取相应的系数, 最终通过逆变换得到融合图像。

1 非采样 Contourlet 变换

Contourlet 变换是一种“真正”的图像二维表示方法。该变换不仅具有小波变换的多分辨率和时频局部化特征, 还具有很好的方向性和各向异性。Con-

tourlet 变换是通过拉普拉斯金字塔 LP(laplacian pyramid) 和方向滤波器组 DFB(directional filter bank) 构成的,分为多尺度分解和方向分解两个过程,但 LP 和 DFB 分解过程中都存在上采样和下采样,使其不具有平移不变性,出现频谱混叠现象。因此用 a trous 算法思想将 Contourlet 变换中的 LP 和 DFB 改进为非向下采样金字塔 NSP(Non-subsampled pyramid) 和非向下采样方向滤波器组 NSDF (Non-subsampled diredtion filter banks)^[3]。当图像进行 NSCT 分解时,信号不是经过分析滤波器后进行下采样,而是对分析滤波器进行上采样后再对信号进行分析滤波;同样的,当图像进行重构时,信号不是经过上采样后再进行综合滤波,而是对综合滤波器进行上采样后再对信号进行综合滤波^[4]。正是由于 NSCT 在图像的分解和重构过程中,没有对信号进行下采样和上采样,而是对相应的分析和综合滤波器进行上采样,保证了 NSCT 的平移不变性以及经 NSCT 分解后的子带图像与原图像的大小一致。

1.1 非采样塔式滤波器组

非采样塔式滤波器组(NSP)的多尺度分解是通过一个双通道非子采样二维滤波器组实现,输入图像首先和非采样双通道滤波器组做卷积,得到原始

图像的一层分解,接着对非采样双通道滤波器做插值,插值后的滤波器再和第一层分解得到的低频图像卷积,如此循环,便得到了图像的多分尺度分解。图像经 J 级非采样塔式滤波后,可得到 1 个低频子带图像和 J 个高频子带图像,以实现图像中点奇异的捕获。

1.2 非采样方向滤波器组

非采样滤波器组以 Bamberger 和 Smith 构造的扇形方向滤波器组为基础,它去除了该方向滤波器组中的下采样和上采样环节,然后对应地对方向滤波器组中的滤波器做插值处理,得到同样具有平移不变性的非采样方向滤波器组。如果对某尺度下的子带图像进行 n 级方向分解,可得到 2^n 个与原始输入图像尺寸大小相同的方向子带图像,以实现将捕获的同方向点奇异连接成轮廓段。

2 基于 NSCT 的红外偏振与光强图像的融合方法

文中提出的基于 NSCT 的红外偏振与光强图像融合方法如图 1 所示。

NSCT 变换的主要步骤如下:

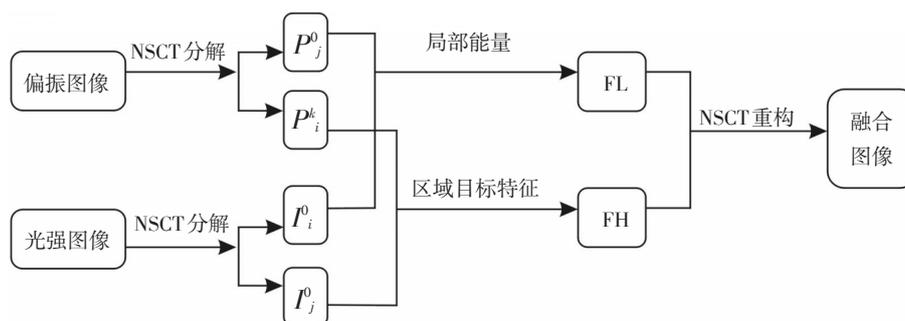


图1 NSCT融合方法示意图

第一步:对待融合的红外偏振特征图像 P 和红外光强图像 I 分别进行 J 层 ($J=3$) NSCT 分解,得到相应的低频子带 P_j^0, I_j^0 , 以及带通方向的子带 $P_j^k, I_j^k, k=1,2,\dots,2^n, j=1,2,\dots,J$, 其中, J 为分解的最大层数, 2^n 为各层分解的方向数目。

第二步:对低频子带系数进行基于局部能量的系数选择,对各带通方向子带系数进行基于区域目标特征的选择,得到融合图像 F 的 NSCT 系数。

第三步:对融合后的系数进行 NSCT 逆变换,得到融合图像 F 。

2.1 低频子带系数融合规则

图像的低频子带主要反映了图像的近似和平均特性,包含了图像的主要能量,决定了图像的轮廓。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^[5]。

文中提出一种基于局部能量的系数融合规则^[6]:

在 P_j^0 , I_j^0 , 低频子带图像中分别选取待融合像素点 (i, j) 为中心, 大小为 5×5 的区域窗口。则窗口的区域能量为 $E_P(i, j)$, $E_I(i, j)$ 分别为

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

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

其中, $W(m, n)$ 为高斯权系数矩阵, $P_j^0(i, j)$, $I_j^0(i, j)$ 分别为源图像低频子带在 (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 F 在该区域的中心点像素值, 表示如下

$$F_j^0 = \begin{cases} P_j^0(i, j)E_P(i, j) \geq E_I(i, j) \\ I_j^0(i, j)E_I(i, j) \leq E_P(i, j) \end{cases} \quad (3)$$

2.2 高频子带图像的融合规则

高频子带图像反映了图像的亮度突变特性, 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, 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。因此文中采用方差作为衡量一个区域目标特征显著性的度量值^[7]。窗口为 3×3 的区域方差可表示为

$$\sigma_{P_j^k}(i, j) = \sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 w(m, n) [P_j^k(i+m, j+n) - \bar{u}_j(i, j)]^2 \quad (4)$$

$$\sigma_{I_j^k}(i, j) = \sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 w(m, n) [I_j^k(i+m, j+n) - \bar{u}_j(i, j)]^2 \quad (5)$$

式中, $\sigma_{P_j^k}$, $\sigma_{I_j^k}$ 表示第 j 层以 (i, j) 为中心的局部方差; $\bar{u}_j(i, j)$ 表示以 (i, j) 为中心的区域像素的灰度均值; $w(m, n) = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$ 为加权矩阵。计算局部区域的方差的匹配度

$$M(i, j) = \frac{|\sigma_{P_j^k}| |\sigma_{I_j^k}|}{|\sigma_{P_j^k}| + |\sigma_{I_j^k}|} \quad (6)$$

$M(i, j)$ 表示取值在 0~1 之间变化, 如果存在一个阈值 T ($T=0.2$), 如果 $M(i, j) < T$, 说明两幅图像的高频子带图像之间的相关性比较低, 则有

$$F_j^k = \begin{cases} P_j^k(i, j)\sigma_{P_j^k} > \sigma_{I_j^k} \\ I_j^k(i, j)\sigma_{P_j^k} \leq \sigma_{I_j^k} \end{cases} \quad (7)$$

当 $M(i, j) \geq T$ 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

$$F_j^k(i, j) = \begin{cases} G * P_j^k(i, j) + (1-G) * I_j^k(i, j)\sigma_{P_j^k} > \sigma_{I_j^k} \\ (1-G) * P_j^k(i, j) + G * I_j^k(i, j)\sigma_{P_j^k} < \sigma_{I_j^k} \end{cases} \quad (8)$$

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

式中, $P_j^k(i, j)$, $I_j^k(i, j)$, $F_j^k(i, j)$ 分别为源图像 P , I 在融合图像 F 中相对应的像素值。

3 实验结果



(a) 红外偏振图像



(b) 红外光强图像

图2 实验图像



(a) 文中算法融合图像



(b)简单规则融合图像

图3 融合结果

图2是同一场景的红外偏振图像和光强图像^[8]。图2a是红外偏振图像由于红外偏振成像系统中加入了偏振片以后减少了目标辐射能量的接收,红外偏振图像整体偏暗。其中汽车前方的金属板、车顶太阳照射区域清楚;人字形房子边缘突出、近处的小树的树叶结构,分布状态清楚。图2b中近处小树旁边疑似井盖的物体清楚,房子、汽车整体轮廓比较清晰,远景的层次感较好。图3为基于NSCT变换的红外偏振图像与光强图像的融合结果,其中图3a为文中融合规则下的融合结果,图3b为低频子带取平均,高频子带取绝对值较大的融合结果。图3a将金属板,疑似井盖的物体融合到一幅图像中;汽车的车身、车顶的太阳照射区、人字形房子整体清晰,边缘明显。近处小树的树干变清楚了、树叶的层次感也较好,不足之处是远景层次感不好,但是图像的对比度和清晰度得到了提高。图3b融合结果没有融合到井盖物体特征,图像的清晰度较差、汽车、房子细节特征不明显。远处天空和云层的层次感要比图3b好一些。

为了定量评价融合图像的效果,选取标准偏差、粗糙度、目标背景对比度^[9]作为客观评价指标。由于在观察分析图像时,人眼视觉往往采用局部对照的方法,因此这里采用图像的局部标准偏差、局部粗糙度等作为衡量图像细节的多少、反映图像清晰程度的指标,它们的值越大,说明了图像中细节越多^[10],其中局部窗口为 3×3 。

表1 图3a与图3b客观比较结果

	局部标准偏差	局部粗糙度	对比度
红外偏振图像	3.071 4	0.200 5	0.033 0
红外光强图像	3.223 0	0.234 6	0.031 4
文中方法融合图像	11.244 8	0.249 0	0.221 4
简单规则融合图像	10.872 6	0.220 9	0.201 9
参数变化率	3.42%	12.7%	9.67%

4 结 论

在非采样 Contourlet 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 NSCT 分解,然后对低频子带系数和高频子带系数进行局部能量和目标区域特性的系数融合。实验结果表明,与加权平均、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] 陈伟力,王霞,金伟其,等.基于小波包变换的中波红外偏振图像融合研究[J].北京理工大学学报,2011,31(5):578-582.
- [2] 张彬,许廷发,倪国强,等.基于区间小波的红外/可见光图像融合[J].北京理工大学学报,2006,26(10):912-920.
- [3] 张莹,李言俊,张科.基于 NSCT 的红外与可见光图像融合[J].计算机工程与应用,2011,47(3):196-198.
- [4] 陈浩.基于多尺度变换的多源图像融合技术研究[D].长春:中国科学院,2010:91-93.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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[J].计算机应用研究,2009,26(3):1161-1167.
- [8] 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.
- [9] 申慧彦,周浦城.一种基于人眼视觉特性的偏振图像融合方法[J].光电工程,2010,37(8):77-80.
- [10] 杨风暴,倪国强,张雷.红外中波细分波段图像的小波包变换融合研究[J].红外与毫米波学报,2008,27(4):275-279.