

基于 \grave{a} Trous-contourlet 变换的红外与可见光图像融合算法

柴 奇, 王黎明, 杨 伟

(电子工程学院 安徽省红外与低温等离子体重点实验室, 安徽 合肥 230037)

摘 要:提出了一种基于 \grave{a} trous-contourlet 变换的图像融合新算法。首先利用 \grave{a} trous-contourlet 变换对图像进行多分辨率分解, 然后针对变换域中各带通方向高频子带系数的选择, 提出了一种应用区域能量进行图像匹配度计算的融合规则, 并将其应用于红外图像与可见光图像的融合。实验结果表明, 该算法能够有效融合红外与可见光图像, 与其他方法相比较, 取得了更好的融合效果。

关键词:图像融合; \grave{a} trous-contourlet 变换; 区域能量; 平移不变性

中图分类号:TP391.4 **文献标识码:**A

Algorithm of Infrared and Visible Image Fusions Based on \grave{a} Trous-contourlet Transform

CHAI Qi, WANG Li-ming, YANG Wei

(Key Lab of Infrared and Low Temperature Plasma of Anhui Province, Electronic Engineering Institute, Hefei 230037, China)

Abstract: A novel image fusion algorithm based on \grave{a} trous-contourlet transform was proposed. Firstly, image was decomposed with multi-resolution using \grave{a} trous-contourlet transform, and then in the transfer domain, a selection principle with the varieties of directional bandpass subband coefficients based on matching calculate of regional energy was developed, which was used in image fusion for infrared and visible images. Compared with other methods, the results of experiment show that the proposed algorithm is valid to fusion infrared and visible images, and acquired better results.

Key words: image fusion; \grave{a} trous-contourlet transform; regional energy; translation invariance

1 引 言

多源图像融合是当前图像处理领域的一个研究热点, 特别是随着科学的发展和技术的进步, 图像数据采集手段的不断发展完善, 图像融合已经被广泛应用于计算机视觉、目标识别等非军事和军事领域。图像融合作为多传感器数据融合的一个重要分支, 是指综合和提取两个或多个多源图像信息, 获得对同一场景或目标更为准确、全面和可靠的图像, 使之更加适合于人眼感知或计算机后续处理^[1]。融合图像与原图像相比, 包含的信息更加全面, 对场景的描述更加精确。

目前在像素级图像融合技术中, 基于多尺度分

析的融合方法是应用非常广泛并极其重要的一类算法。对于多尺度分析融合方法而言, 算法的有效性主要取决于图像的多尺度分解方式以及相应的融合规则。Contourlet 变换^[2]是 Minh N Do 和 Martin Vetterli 提出的一种新的图像多尺度分析方法, 是一种“真正的”二维图像表示方法, 解决了传统小波变换不能有效表示二维或更高维奇异性的缺点, 能准

基金项目: 安徽省重点实验室基金项目 (No. 2007A0103013Y) 资助。

作者简介: 柴 奇 (1981 -), 硕士研究生, 研究方向为光学目标检测及图像处理工作。E-mail: nudtchaiqi123@sina.com

收稿日期: 2008-09-20; 修订日期: 2008-11-16

确地将图像的边缘捕获到不同尺度,不同频率的子带中,可以更有效地表示图像中纹理和边缘等结构的方向性和各向异性。但是由于变换过程中的采样操作,Contourlet 变换不具备平移不变性,信号频谱容易产生一定的混叠现象。A L Cunha 等^[3]提出的非采样 Contourlet 变换(nonsampled contourlet transform, NSCT)取消了图像分解和重构过程中的采样环节。但是 NSCT 首先采用无下采样的拉普拉斯金字塔对图像进行多尺度分解,在随后进行方向滤波时容易引起高频和低频的频带混叠,造成分解过程的不稳定性。 \hat{a} trous-contourlet 变换^[4]同时继承了小波多孔算法和 Contourlet 变换的优点,既利用了小波多孔算法所具有的平移不变性以及不同子空间下细节相关性小,算法相对稳定的优点,同时还具备 Contourlet 变换能有效捕获图像纹理、边缘等结构的方向性和各向异性的优点。本文将 \hat{a} trous-contourlet 变换应用于红外与可见光图像的融合,在详细分析 \hat{a} trous-contourlet 变换理论的基础上,提出了一种基于 \hat{a} trous-contourlet 变换的多源图像融合新算法。该算法首先是利用 \hat{a} trous-contourlet 变换对图像进行多分辨率分解,获得图像的深度特征信息,然后在变换域中针对高频子带系数的选择,提出了基于区域能量进行图像匹配度计算的融合规则。实验结果表明,本文算法能够有效融合红外与可见光图像,获得具有更好效果的融合图像。

2 \hat{a} trous-contourlet 变换

\hat{a} trous-contourlet 变换作为一种新的多分辨分析方法,是一种离散图像的多方向、多尺度计算框架,同时具备 \hat{a} trous 算法与 Contourlet 变换的特点,满足平移不变性,系数对应性以及各向异性的特点。 \hat{a} trous-contourlet 变换具体实现过程与 Contourlet 变换和 NSCT 相类似,也是分为两个滤波阶段,将多尺度分析与多方向分析分开进行。第一阶段为子带分解,与 NSCT 所不同的是采用小波 \hat{a} trous 算法而不是无下采样金字塔来获得图像的高频子带, \hat{a} trous 变换将图像上一级低频分量分解为一个低频和三个高频分量。第二阶段为无抽样方向滤波,方向滤波器将每个高频分量在对应尺度空间上进行方向滤波,得到各带通方向的高频子带。 \hat{a} trous-contourlet 变换过程及其频域分布^[5]如图 1 所示。

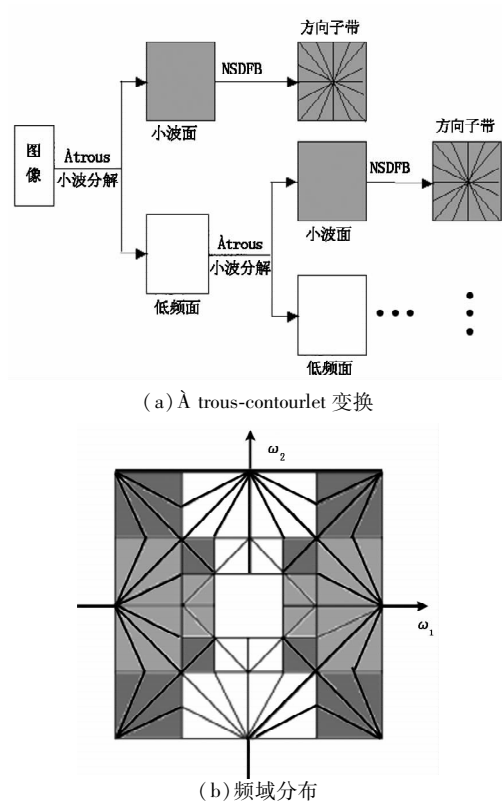


图 1 \hat{a} trous-contourlet 变换及其频域分布

3 融合算法

由于红外和可见光两种成像传感器的工作机理不同,所以成像性能有很大的差别。红外成像传感器对热目标的探测性能较好,但图像的清晰度和空间分辨率较低,不适合于观察者对场景细节的认知。可见光图像则具有较高的清晰度和空间分辨率,可以提供场景的几何和纹理细节信息,有利于观察者形成对场景的整体认知^[7]。所以通过对两者同一场景的图像融合,可以获得对成像场景更加可靠的认知,只有重要的意义。

本文融合方法首先对经过严格配准的待融合红外与可见光图像 A, B 分别进行 \hat{a} trous-contourlet 多尺度变换,得到一系列的高频子带图像 $I_{A,J}^i(x,y)$ 和 $I_{B,J}^i(x,y)$ 以及相应的低频子带图像 $I_{A,L}(x,y)$ 和 $I_{B,L}(x,y)$ (其中 J 表示分解层数, i 表示各层分解的方向数目),然后针对多尺度分解得到的高频和低频系数的不同特点采用不同的融合规则得到融合系数,并对融合系数进行 \hat{a} trous-contourlet 逆变换得到最后的融合图像。其中融合规则的选择是算法的关键,其好坏对图像融合质量有着十分重要的影响,本文方法高频利低频系数的融合规则如下:

(1) 高频系数的融合

图像分解后的高频子带中绝对值较大的系数对应于图像中强度变化剧烈的区域,并且人类视觉对

局部的敏感度远大于单个像素,所以本文采用基于区域能量加权的融合规则,区域能量的大小反映了该区域图像灰度的活跃度,表示了图像细节的丰富程度,其计算如下:

$$E_j(x,y) = \sum_{m \in L, n \in K} \omega(m,n) [D_j(x+m,y+n)]^2 \quad (1)$$

其中, $E_j(x,y)$ 为区域能量; $D_j(x,y)$ 为调频系数; $j = A, B$ 表示源图像; L, K 表示区域大小; $\omega(m,n)$ 为窗口函数。本文采用式(2)所示的窗口函数代替传统的取均值窗口函数^[6],能更加有效地突出以窗口中心点位置为中心的,变化剧烈的高频系数及其变化边界。窗口函数为:

$$\omega(m,n) = \frac{1}{8} [0,1,0;1,4,1;0,1,0] \quad (2)$$

同时,定义两幅图像的区域能量匹配度。若图像相似程度高,则匹配度大,反之则匹配度越小。能量匹配度定义如下:

$$M_{A,B}(x,y) = \frac{2 \sum_{m \in L, n \in K} \omega(m,n) D_A(x+m,y+n) D_B(x+m,y+n)}{E_A(x,y) + E_B(x,y)} \quad (3)$$

其中, $M_{A,B}(x,y)$ 表示两幅图像的区域能量匹配度,相应的高频子带融合系数按以下规则选取:

首先按式(3)计算待融合图像高频分量的能量匹配度 $M_{A,B}^i(x,y)$,并设定阈值 T_{th} ,当 $M_{A,B}^i(x,y) < T_{th}$ 时,则:

$$I_{F,J}^i(x,y) = \begin{cases} I_{A,J}^i(x,y), E_{A,J}^i(x,y) \geq E_{B,J}^i(x,y) \\ I_{B,J}^i(x,y), E_{A,J}^i(x,y) < E_{B,J}^i(x,y) \end{cases} \quad (4)$$

当 $M_{A,B}^i(x,y) \geq T_{th}$ 时,则:

$$I_{F,J}^i(x,y) = \omega_A \times I_{A,J}^i(x,y) + \omega_B \times I_{B,J}^i(x,y) \quad (5)$$

其中, $I_{F,J}^i(x,y)$ 表示融合后的低频子带图像系数, ω_A, ω_B 表示加权系数,且:

$$\omega_A = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \left[\frac{1 - M_{A,B}^i(x,y)}{1 - \alpha} \right], \omega_B = 1 - \omega_A \quad (6)$$

(2) 低频系数的融合

图像的低频部分包含了图像的主要能量,决定了图像的轮廓,所以本文对变换后图像的低频子带系数采用简单的加权平均融合的方法,即:

$$C_{F,L}(x,y) = (I_{A,L}(x,y) + I_{B,L}(x,y))/2 \quad (7)$$

其中, $C_{F,L}$ 表示融合图像的低频子带系数。

4 融合实验和性能评价

为了验证本文算法的有效性,实验分别采用基于离散小波变换、基于 Contourlet 变换和基于 NSCT 的融合方法与本文方法进行比较,融合规则均采用本文规则。实验采用的红外与可见光图像如图 2 所示,其中(a)为红外图像,(b)为可见光图像,(c)为采用离散小波变换的融合图像,(d)为采用 Contourlet 变换的融合图像,(e)为采用 NSCT 的融合图像,(f)为采用 à trous-contourlet 变换(高频系数选大的融合规则)的融合图像,(g)为本文方法得到的融合图像。实验所用源图像经过严格配准,小波分解层数为 3 层,阈值取 $T_{th} = 0.75$,窗口大小取 3×3 。为了进行客观评价,本文分别引入常用的图像均值、标准差、平均梯度以及信息熵作为融合图像的客观评价指标。实验结果如表 1 所示。

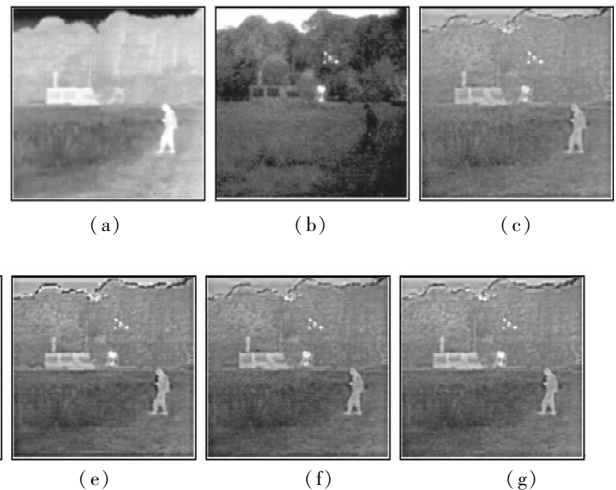


图 2 实验图像和不同融合方法得到的融合图像

表 1 融合图像性能评价

融合图像	均值	标准差	平均梯度	信息熵
图像(c)	81.8454	35.3239	6.1934	7.0556
图像(d)	81.77611	35.3415	6.2451	7.1627
图像(e)	82.0745	36.2612	6.4350	7.3715
图像(f)	82.1783	36.2544	6.5011	7.3963
图像(g)	83.1102	36.3708	6.7142	7.4210

从融合实验结果图 2 中可以看出,本文方法得到的融合图像与其他方法相比较,能更加消除融合过程中引入的虚假信息,信息更丰富,细节表现更清楚,效果更好。另外,从表 1 中的客观数据也可以看出,本文方法得到的融合图像的评价参数均为最好,所以本文提出的基于 à trous-contourlet 变换的图像

融合方法能够有效融合红外与可见光图像,得到的融合图像细节最丰富,包含的信息量最大,取得了较好的融合效果。

5 结 论

本文将 à trous-contourlet 变换应用于红外与可见光图像的融合,提出了一种基于 à trous-contourlet 变换和区域能量匹配度计算的图像融合算法。该融合方法首先利用 à trous-contourlet 变换对源图像进行多分辨率分解,准确地捕获图像中的二维或高维奇异信息,然后在变换域中针对图像高频系数和低频系数的不同特点,分别采用基于区域能量匹配度计算和加权取平均的融合规则。实验结果表明,该算法能够有效的融合红外与可见光图像,与其他同类方法相比较,取得了更好的融合效果,提高了融合图像的质量。

参考文献:

- [1] 韩崇昭,朱洪艳,段战胜. 多源信息融合[M]. 北京:清华大学出版社,2006.
- [2] Do M N, Vetterli M. The contourlet transform: an efficient directional multiresolution image Representation [J]. IEEE Trans on Image Processing, 2005, 14(12): 2091 - 2106.
- [3] Cunha A L, Zhou J P, Do M N. The nonsubsampled contourlet transform: theory, design, and applications [J]. IEEE Trans on Image Processing, 2006, 15(10): 3089 - 3101.
- [4] 罗丽. 基于多分辨率分析的遥感图像融合算法研究 [D]. 吉林:吉林大学,2007.
- [5] Eslami R, Radha H. A new family of nonredundant transforms using hybrid wavelets and directional filter banks [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2007, 16(4): 1152 - 1167.
- [6] 宋亚军,倪国强,高昆. 基于小波 - Contourlet 变换的区域能量加权图像融合算法 [J]. 北京理工大学学报, 2008, 28(2): 168 - 172.
- [7] 杨翠,张建奇. 基于红外特征与区域相似的图像融合算法 [J]. 西安电子科技大学学报, 2006, 33(6): 871 - 873.