

文章编号: 1672-8785(2014)06-0026-04

针对人类视觉系统的双波段红外 图像融合算法研究

陈 皓^{1,2,3} 王 晨^{1,2,3} 蔡能斌³ 高思莉^{2,3}

(1. 中国科学院大学, 北京 100049;

2. 中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083;

3. 上海市现场物证重点实验室, 上海 200042)

摘 要: 提出了一种针对人类视觉系统的双波段红外图像融合算法。首先采用非下采样 Contourlet 变换把源图像分解成尺多度、多方向上的子带, 然后采用绝对值最大算子的方法对高频部分进行融合, 采用基于区域方差的方法对低频部分进行融合, 最后进行重构得到融合图像。对试验中采集的双波段红外图像进行了融合实验, 并将融合效果与梯度金字塔变换方法和小波变换方法进行了比较。实验结果表明, 针对人类视觉系统的双波段红外图像融合算法有效可行, 可以获得比常用的算法更好的融合效果。

关键词: 图像融合; HVS; NSCT 变换; 双波段

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2014.06.005

Study of Dual-band Infrared Image Fusion Algorithm for Human Visual Systems

CHEN Hao^{1,2,3}, WANG Chen^{1,2,3}, CAI Neng-bin³, GAO Si-li^{2,3}

(1. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

2. Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China;

3. Shanghai Key Laboratory of Scene Evidence, Shanghai 200083, China)

Abstract: A dual-band infrared image fusion algorithm for human visual systems is put forward. First, the source images are decomposed into the multi-scale and multidirectional subbands by using a nonsubsampling contourlet transform method. Then, the highpass subband is fused by selecting the maximum absolute operator and the lowpass subbands is fused by using a method based on region variance. Finally, the fused image is obtained through image reconfiguration. A fusion experiment is made on the dual-band infrared images collected. The method is compared with the gradient pyramid transform and the wavelet transform in fusion effectiveness. The experimental result shows that this dual-band infrared image fusion algorithm for human visual systems is effective and feasible. It can obtain better fusion effectiveness than the common algorithms.

Key words: image fusion; HVS; NSCT; dual-band

收稿日期: 2014-03-27

基金项目: 上海市现场物证重点实验室基金资助项目(2011xcwzk04); 国家十二五国防预研项目资助(41101050501)

作者简介: 陈皓(1989-), 男, 安徽黄山人, 硕士研究生, 主要从事图像处理和图像融合研究。

E-mail: jrhao@foxmail.com

0 引言

图像融合是通过某种融合系统将两个或多个互补波段的有用信息综合成可供观察的统一图像或综合图像特征以实现目标或场景更为精确、全面的识别、分析和判决的图像处理方法。作为一种对工作于同一场景下的不同传感器所得图像进行综合的方法, 图像融合能获得更丰富的信息, 在探测、遥感测量、医学成像和安全监控等多个领域都有广泛应用。

近年来, 多分辨率分析理论 (Multiresolution, MR) 在图像融合中得到广泛应用。目前基于多分辨率技术的融合方法大多属于像素级融合, 主要基于单个像素或者像素窗口邻域进行融合处理。但在图像融合的大多数应用领域, 人们并不是对单个像素进行融合, 而是对目标和区域进行融合, 因此有必要将目标和区域信息加入到融合过程中。针对人类视觉系统的双波段红外图像融合算法是一种基于局部窗口活性测度的融合方法。这种方法不仅充分考虑了人类视觉系统对局部敏感的特性, 而且在融合过程中考虑了邻域像素间的关联性。使用这种融合规则的融合效果在绝大多数情况下都比基于单个像素的融合规则好。因此本文将使用这种方法进行融合。

众所周知, 人类视觉系统 (human visual system, HVS) 是迄今为止人们所知道的功能最强大和最完善的视觉系统。在图像处理过程中, 所有图像最后都需要由人眼进行观察。因此, HVS 在图像处理领域中扮演着非常重要的角色。研究表明, 人眼的视觉系统有如下视觉特性^[1]: 方向特性, 人眼对水平与垂直的方向性比对斜的敏感; 相位特性, 人眼对相角的变化比对模变化的敏感度高; 多尺度特性, 人眼对中频分量比高频和低频分量敏感。因此需要针对性地增强图像中人眼识别敏感度高的特性, 使细节变得更加明显, 利于观察。基于上述特性, 研究人员提出了多尺度几何分析 (Multiscale Geometric Analysis, MGA) 理论。

1 NSCT 变换

Do M N 等^[2] 基于 MGA 理论提出了更有效的多尺度多方向的 Contourlet 变换。然而 Contourlet 变换缺乏平移不变性, 利用其进行图像描述时存在伪吉布斯现象。因此, Cunha 等^[3] 利用类似多孔算法实现了一种具备平移不变性的 Contourlet 变换 - 非下采样 Contourlet 变换 (non-subsampled contourlet transform, NSCT)。NSCT 变换其实是由两部分组成的: 用以实现多尺度分解图像的非下采样金字塔分解 (nonsubsampled pyramid, NSP) 和用以连接分布在各方向上的非连续点的非下采样方向滤波器组 (nonsubsampled directional filter bank, NSDFB)。NSCT 变换将多尺度分析与多方向分析分开进行, 去掉了信号经分析滤波后的下采样以及综合滤波前的上采样, 改为对相应的滤波器进行上采样, 再对信号进行分析滤波和综合滤波。与多孔算法相同, 所有的分解子图都和原图像的尺寸大小相同, 从而使 NSCT 具有平移不变性, 在进行图像处理时, 克服了 Contourlet 变换的伪吉布斯现象。图 1 给出了 NSCT 的结构示意图。

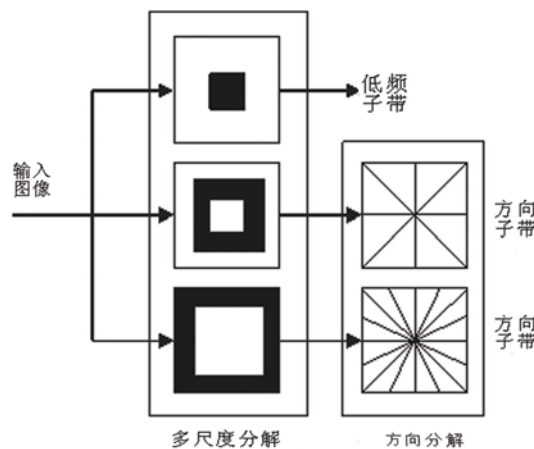


图 1 NSCT 滤波器组的结构

2 融合方法

以图像 A、B 融合得 F 为例说明具体的融合过程:

(a) 对图像 A、B 分别进行 J 级 NSCT 变换, 得到 $c_j^X(x, y), d_{j,k}^X(x, y)$, $X = A, B, F$ 分别表

示图像 X 分解 J 层的低频系数和图像 X 第 j 层第 k 方向的高频系数。

(b) 分解后的低频子带是源图像的近似描述, 包含了大部分信息即大部分能量。人类视觉系统对图像清晰与否无法通过单个像素进行判断, 其主观视觉效果是通过特定区域内的像素联合体现的。区域方差函数反映了局部区域内图像信息量的丰富程度^[4]。因此本文选用 5×5 模板并采用区域能量方差决策选择与加权相结合的规则。

区域能量定义为

$$E_X(x, y) = \sum_{(x, y) \in R} \omega(m, n) (c_j^X(x + m, y + n))^2 \quad (1)$$

区域方差定义为

$$V_X(x, y) = \sum_{(x, y) \in R} (c_j^X(x + m, y + n) - \bar{c})^2 \quad (2)$$

源图像 X 的区域能量占 A 与 B 区域能量加权占比定义为

$$\lambda_X(x, y) = E_X(x, y) V_X(x, y) / (E_A(x, y) V_A(x, y) + E_B(x, y) V_B(x, y)) \quad (3)$$

融合方式为

$$c_j^F(x, y) = \begin{cases} c_j^A(x, y), \lambda_A(x, y) \geq \lambda_B(x, y) \\ c_j^B(x, y), \lambda_A(x, y) < \lambda_B(x, y) \end{cases} \quad (4)$$

(c) 高频部分包含了图像的边缘细节信息。因为各信息之间有很大的独立性, 因此采用像素点的绝对值取大的方法进行选取。

$$d_{j,k}^F(x, y) = \begin{cases} d_{j,k}^A(x, y), |d_{j,k}^A(x, y)| \geq |d_{j,k}^B(x, y)| \\ d_{j,k}^B(x, y), |d_{j,k}^A(x, y)| < |d_{j,k}^B(x, y)| \end{cases} \quad (5)$$

(d) 对处理所得的系数进行反变换, 得到最终的融合图像。

3 融合结果与评价

3.1 融合效果评价规则

本文选取四个评价指标^[8], 根据它们可以全面评价融合图像的质量。

(a) 标准差 VAR: 标准差反映了图像灰度相对于平均灰度的离散情况, 其定义为

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} [F(m, n) - \bar{F}]^2}{M \times N}} \quad (6)$$

(b) PSNR 是表示信号的最大可能功率和破坏性噪声功率的比值。设融合图像和标准参考图像分别为 F 和 R, 对应的图像函数分别为 F(x, y) 和 R(x, y)。融合图像的峰值信噪比定义为

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2 NM}{\sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} [R(m, n) - F(m, n)]^2} \right) \quad (7)$$

(c) 信息熵 H: 信息熵表示图像的平均信息量。对于一幅图像, 定义为

$$H = - \sum_{i=0}^{L-1} p_i \log p_i \quad (8)$$

(d) 交互信息量 (mutual information)^[6]: 交互信息量用以度量各变量之间的相关性。本文中, 图像 A 与图像 B 的交互信息量可以表示为

$$MI_{AB} = \sum_{k=0}^{L-1} \sum_{i=0}^{l-1} p_{AB}(k, i) \log_2 \frac{p_{AB}(k, i)}{p_A(k) p_B(i)} \quad (9)$$

式中, $p_{AB}(k, i)$ 代表图像 A 和图像 B 联合后的灰度直方图, p_A 和 p_B 分别代表图像 A 和图像 B 的灰度直方图。

用图像 A 和 B 融合后, 图像 F 所包含的源图像的交互信息量可以表示为

$$MI_F^{AB} = MI_{FA} + MI_{FB} \quad (10)$$

交互信息量越大, 表示融合结果从源图像中得到的信息量越大。

3.2 融合效果

本文选取了梯度金字塔方法 (Gradient pyramid, GRA)、离散小波变换 (Discrete wavelet transform, DWT) 方法与本文方法所得的图像融合结果进行对比分析。融合数据选用采集的上海东方明珠电视塔远景图像 (大小为 256×256)。采集数据时选取中波双波段: (1) $3.7 \sim 4.2 \mu\text{m}$ 波段; (2) $4.6 \sim 4.85 \mu\text{m}$ 波段。实验结果如图 2 所示。

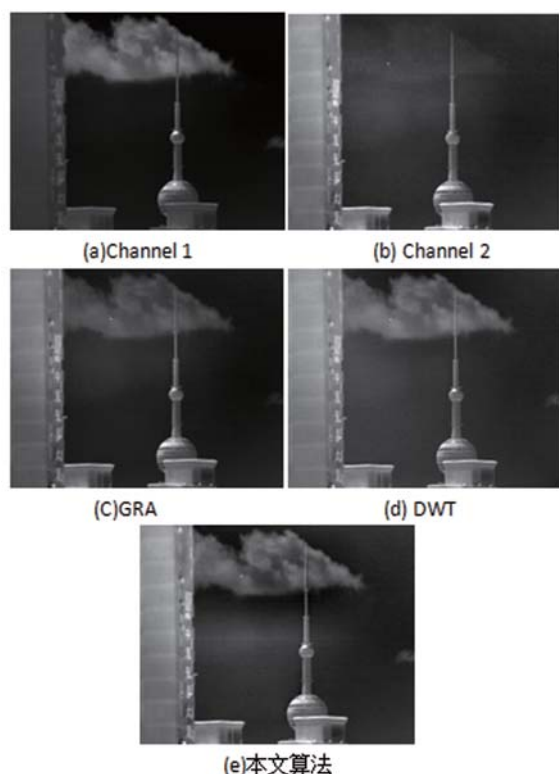


图 2 原始图像与不同方法融合的图像对比
评价参数对比见表 1。

表 1 融合图像的质量评价

	VAR	PSNR	H	M_F^{AB}
图像 A	42.0302	13.0838	6.1318	/
图像 B	40.1015	14.5005	5.6379	/
GRA	43.7743	15.3540	6.2316	2.6734
DWT	44.5352	14.8123	6.3009	2.7980
本文算法	48.9904	15.9338	6.5984	3.2067

由表 1 可以看到, 使用本文算法、GRA 法和 DWT 法进行融合的图像与源图像 A 和 B 相比, 标准差 VAR 值变大, 说明融合后图像的锐度增高; 峰值信噪比 PSNR 变大, 说明融合后图像的信噪比增加了, 系统的探测能力提升了; 信

息熵 H 变大说明融合后的图像包含了更多的细节, 信息更加丰富了。三种算法中, 本文算法的融合结果的各项评价参数提升更明显, 交互信息量也比其它两种算法大, 表明融合后的图像从源图像中获取的信息更丰富, 融合效果更好。

4 实验结果

本文算法采用了针对人类视觉系统的变换方法——具备平移不变性的 NSCT 变换和增强细节的融合规则, 低频部分采用区域能量方差决策选择与加权相结合的规则, 高频部分采用绝对值取大的规则。从评价参数对比中可以发现, 本文算法的融合结果较其他算法各项指标均有提升: 锐度更高, 信噪比更高, 信息更丰富。从融合图像的视觉效果也可以看出, 融合图像信息丰富, 轮廓清晰, 细节明显。实验结果表明, 采用本文算法由源图像融合得到的图像更利于人眼的观察和理解。

参考文献

- [1] Normann R A, Maynard E M, Rousche P J. A Neural Interface for a Cortical Vision Prosthesis. [J] *Vision Research*, 1999, **39**(15): 2577–2587.
- [2] Do M N, Vetterli M. The Contourlet Transform an Efficient Directional Multiresolution Image Representation [J]. *IEEE Transactions 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 Transactions on Image Processing*, 2006, **15** (10):3089–3101.
- [4] Mason W P. Physical Acoustics Principles and Methods [M]. London: Academic Press Inc, 1964.
- [5] 狄红卫, 刘显峰. 基于结构相似度的图像融合质量评价 [J]. *光子学报*, 2006, **35**(5):765–771.
- [6] Qu G H, Zhang D L, Yan P F. Information Measure for Performance of Image Fusion [J]. *Electronics Letters*, 2002, **38**(7):313–315.
- [7] Liu Y Hi, Jiang W, Wei G. PET/CT Image Fusion Based on Nonsubsampled Contourlet Transform [J]. *Optical Technique*, 2010, **36**(1):121–125.
- [8] Dusek J, Roubek K. Testing of New Models of the Human Visual System for Image Evaluation[C]. *IEEE International Symposium on Signal Processing and its Applications*, 2003:621–622.