



JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS

主办: 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

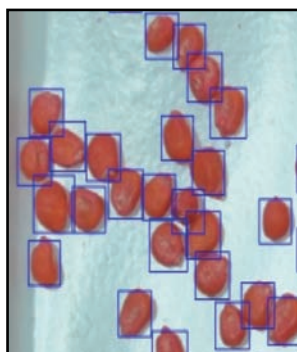
中国图象图形学报

2016
01
VOL.21

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



医学图像处理 P69



多尺度特征融合与极限学习机的玉米种子检测
(第0024页)



深度卷积神经网络的显著性检测(第0053页)



双树复小波域的MRI图像去噪(第0104页)

图像处理和编码

空时形状预测与高效编码

朱仲杰, 王玉儿, 蒋刚毅..... 1

第二小方向导数信息熵的兴趣点检测

卢健, 黄杰, 潘峰..... 8

采用面积采样的反走样字符旋转算法

郑凯文, 刘文波..... 17

图像分析和识别

多尺度特征融合与极限学习机的玉米种子检测

柯道, 杜明智..... 24

图像理解和计算机视觉

结合NSCT和压缩感知的红外与可见光图像融合

陈木生..... 39

Plücker直线描述的空间后方交会

盛庆红, 陈姝文, 肖晖, 张斌, 王青, 费利佳..... 45

深度卷积神经网络的显著性检测

李岳云, 许悦雷, 马时平, 史鹤欢..... 53

计算机图形学

以优先点为中心的Delaunay三角网生长算法

尤磊, 唐守正, 宋新宇..... 60

医学图像处理

快速数字影像重建的2维/3维医学图像配准

刘坤, 吕晓琪, 谷宇, 于荷峰, 任国印, 张明..... 69

小波-Lagrange方法进行医学图像层间插值

武士想, 尚鹏, 王立功..... 78

遥感图像处理

多主体框架下结合最大期望值和遗传算法的SAR图像分割

张金静, 李玉, 赵泉华..... 86

第十届图像图形技术与应用学术会议

视差互信息引导下的立体航空影像与LiDAR点云自动配准

吴军, 胡彦君, 饶云, 彭智勇..... 95

双树复小波域的MRI图像去噪

黄学优, 张长江..... 104

快速定位图像尺度和区域的3维跟踪算法

赵奇可, 孙延奎..... 114

局部不变特征点的精度指标

滕日, 周进, 蒋平, 崔雄文..... 122

中国图象图形学报

刊名题字：宋健 | 月刊（1996年创刊）



第21卷第1期（总第237期）
2016年1月16日

中国精品科技期刊
中国国际影响力优秀学术期刊
中国科技核心期刊
中文核心期刊

版权声明

凡向《中国图象图形学报》投稿，均视为同意在本刊网站及CNKI等全文数据库出版，所刊载论文已获得著作权人的授权。本刊所有图片均为非商业目的使用，所有内容，未经许可，不得转载或以其他方式使用。

Copyright

All rights reserved by Journal of Image and Graphics, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS. The content (including but not limited text, photo, etc) published in this journal is for non-commercial use.

主管单位 中国科学院
主办单位 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文
编辑出版《中国图象图形学报》编辑出版委员会
邮政信箱 北京9718信箱
邮 编 100101
电子信箱 jig@radi.ac.cn
电 话 010-64807995
网 址 www.cjig.cn

广告经营许可证 京朝工商广字第0361号
总 发 行 北京报刊发行局
订 购 全国各地邮局
海外发行 中国国际图书贸易集团有限公司
(邮政信箱: 北京399信箱 邮编: 100048)
印刷装订 北京科信印刷有限公司

Journal of Image and Graphics

Title inscription: Song Jian | Monthly, Started in 1996

Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS
China Society of Image and Graphics
Institute of Applied Physics and Computational Mathematics

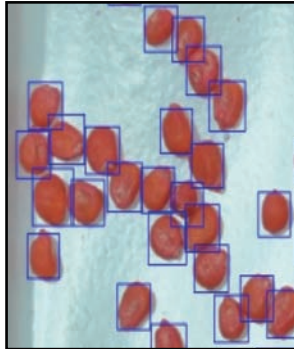
Editor-in-Chief LI Xiaowen
Editor, Publisher Editorial and Publishing Board of Journal of
Image and Graphics
P.O.Box 9718, Beijing, P.R.China
Zip code 100101
E-mail jig@radi.ac.cn
Telephone 010-64807995
Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals
Domestic All Local Post Offices in China
Overseas China International Book Trading Corporation
(P.O.Box 399, Beijing 100048, P.R.China)
Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

CN 11-3758/TB
ISSN 1006-8961
CODEN ZTTXFZ
国外发行代号 M1406
国内邮发代号 82-831
国内定价 60.00元

CONTENTS

JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Detection of maize seeds based on multi-scale feature fusion and extreme learning machine(P0024)



Saliency detection based on deep convolutional neural network(P0053)



MRI denoising based on dual-tree complex wavelet transform(P0104)

Image Processing and Coding

- Spatio-temporal shape prediction and efficient coding
Zhu Zhongjie, Wang Yuer, Jiang Gangyi 1
- Interest point detection by using information entropy of the second small direction derivative
Lu Jian, Huang Jie, Pan Feng 8
- Anti-aliasing algorithm for character rotation based on area sampling
Zheng Kaiwen, Liu Wenbo 17

Image Analysis and Recognition

- Detection of maize seeds based on multi-scale feature fusion and extreme learning machine
Ke Xiao, Du Mingzhi 24

Image Understanding and Computer Vision

- Image fusion of visual and infrared image based on NSCT and compressed sensing
Chen Musheng 39
- Space resection method based on Plücker line
Sheng Qinghong, Chen Shuwen, Xiao Hui, Zhang Bin, Wang Qing, Fei Lijiao 45
- Saliency detection based on deep convolutional neural network
Li Yueyun, Xu Yuelei, Ma Shiping, Shi Hehuan 53

Computer Graphics

- Growth algorithm centered on priority point for constructing the Delaunay triangulation
You Lei, Tang Shouzheng, Song Xinyu 60

Medical Image Processing

- The 2D/3D medical image registration algorithm based on rapid digital image reconstruction
Liu Kun, Lyu Xiaoqi, Gu Yu, Yu Hefeng, Ren Guoyin, Zhang Ming 69
- Inter-slice interpolation for medical images by using the wavelet-lagrange method
Wu Shixiang, Shang Peng, Wang Ligong 78

Remote Sensing Image Processing

- Combining the expectation maximization and genetic algorithms for SAR image segmentation within a MAS framework
Zhang Jinjing, Li Yu, Zhao Quanhua 86

Column of IGIA' 2015

- Automatic registration of aerial stereo imagery to LiDAR data through iterative parallax mutual information computation
Wu Jun, Hu Yanjun, Rao Yun, Peng Zhiyong 95
- MRI denoising based on dual-tree complex wavelet transform
Huang Xueyou, Zhang Changjiang 104
- Three dimensional tracking with fast locating of image scale and area
Zhao Qike, Sun Yankui 114
- Extraction precision of local invariant feature points
Teng Ri, Zhou Jin, Jiang Ping, Cui Xiongwen 122

中图法分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2016)01-0039-06

论文引用格式: Chen M S. Image fusion of visual and infrared image based on NSCT and compressed sensing[J]. Journal of Image and Graphics, 2016, 21(1):0039-0044. [陈木生. 结合 NSCT 和压缩感知的红外与可见光图像融合[J]. 中国图象图形学报, 2016, 21(1):0039-0044.] [DOI: 10.11834/jig.20160105]

结合 NSCT 和压缩感知的红外与可见光图像融合

陈木生

1. 泉州师范学院物理与信息工程学院, 泉州 362000; 2. 信息功能材料福建省高校重点实验室, 泉州 362000

摘要: **目的** 红外成像传感器只敏感于目标场景的辐射, 对热目标的探测性能较好, 但其对场景的成像清晰度低; 可见光图像只敏感于目标场景的反射, 场景图像较为清晰, 但目标不易被清晰观察。因而将两者图像进行融合, 生成具有较好目标指示特性和可见光图像的清晰场景信息, 有利于提高目标识别的准确性和降低高分辨图像传感器研究的技术难度。**方法** 结合非下采样 contourlet 变换 (NSCT) 和压缩感知的优点, 研究一种新的红外与可见光图像融合方法。首先对两源图像进行 NSCT 变换, 得到一个低频子带和多个不同方向、尺度的高频子带。然后对两低频子带采用压缩感知理论获得测量向量, 利用方差最大的方法对测量向量进行融合, 再进行稀疏重建; 高频子带采用区域能量最大的方法进行融合。最后利用 NSCT 逆变换获得融合图像。**结果** 为了验证本文方法的有效性, 与其他几种方法相比较, 并利用主观和客观的方法对融合结果进行评价。提出的新方法融合结果的熵、空间频率、方差明显优于其他几种方法, 运行时间居中。主观上可以看出, 融合结果在较好地显示目标的基础上, 能够较为清晰地保留场景图像的信息。**结论** 实验结果表明, 该方法具有较好的目标检测能力, 并且方法简单, 具有较强的适应性, 可应用于航空、遥感图像、目标识别等诸多领域。

关键词: 图像融合; 非下采样 contourlet 变换; 压缩感知; 红外图像; 可见光图像

Image fusion of visual and infrared image based on NSCT and compressed sensing

Chen Musheng

1. College of physics and information engineering, Quanzhou Normal University, Quanzhou 362000, China;
2. Key Laboratory of Information Functional Material for Fujian Higher Education, Quanzhou 362000, China

Abstract: **Objective** Infrared (IR) images are capable of showing hidden objects in an environment where image quality is low. Visible images have high resolution and good image quality but cannot show hidden objects. Image fusion attempts to combine information content from multiple images to obtain a fused image with IR object features from the IR image and retain the visual details provided by the image. Hence, the fused image has the advantages of visible and IR images and is suitable for subsequent processing tasks. **Method** A new image fusion method based on nonsubsampling contourlet transform (NSCT) and compressed sensing is presented for visual image and IR image. First, the IR and visual images are transformed by NSCT to obtain a low frequency sub-band and a series of high sub-bands with diverse scales and directions. Second, high-frequency sub-bands are fused with the rule of the maximum of local energy. The low-frequency sub-

收稿日期: 2015-04-08; 修回日期: 2015-09-02

基金项目: 福建省科技厅重点项目 (2013H0041); 福建省教育厅科技项目 (JA13262)

第一作者简介: 陈木生 (1980—), 男, 副教授, 2005 年于暨南大学获光学专业硕士学位, 主要研究方向为图像融合、模式识别、数字水印等。E-mail: mushengchen@163.com

Supported by: Foundation of Fujian Educational Committee (JA13262)

band is measured by a scrambled matrix to produce an observed vector, and the observed vectors are fused by the rule of the maximum of standard deviation. Finally, the fusion image is obtained by the inverse NSCT. **Result** Different fusion rules based on NSCT are simulated to compare with the new fusion method. Quantitative analysis is conducted for the fused image under parameters such as entropy, spatial frequency, standard deviation, and structural similarity. Experimental results show that the new proposed method can provide better fusion than other fusion methods in terms of subjective visual quality and objective fusion metric values. The proposed method can also preserve the details of the visible light image and the legible target of the IR image. **Conclusion** The fused image enables the extraction of the target location for easy observation and provides information for the further processing of tasks. This image can be extensively used in many fields such as target detection, target localization, remote sensing, and robotic vision.

Key words: image fusion; nonsubsampling contourlet transform; compressed sensing; infrared image; visual image

0 引言

红外图像反映目标场景的轮廓特征,细节信息不丰富,不受照明条件的影响。可见光图像包含较为丰富场景的细节信息,受照明的影响较大,通常情况下这些信息在红外图像中无法清晰显示。因对红外与可见光图像进行融合,生成一幅同时包含同一场景不同时间、光谱分辨率等特性的图像,该图像既能发现隐蔽目标,又能观察到场景信息,非常有利于人眼观察和计算机识别。图像融合技术在国防、航空、遥感等领域具有重要的应用前景,是目前的一个研究热点^[1-3]。

目前应用最为广泛的是基于多分辨分析的图像融合方法,主要有图像金字塔、小波变换、curvelet 变换、contourlet 变换、非下采样 contourlet 变换(NSCT)等。小波基函数所具有的各向同性和方向局限性,对高度奇异性的边缘不能给出最优解。Contourlet 变换虽然具有良好的时频局部特性和各向异性,然而其不具备平移不变性,在奇异点处容易产生吉布斯效应。NSCT 是在 Contourlet 变换的基础上,采用非下采样的操作有效地去除吉布斯效应,因而在图像融合中能够取得较好的效果^[4-5]。目前,基于 NSCT 的图像融合方法大部分是利用变换系数区域特征的统计特性,如区域能量、标准偏差、空间频率、熵等^[6-9]。经 NSCT 得到的图像低频子带系数近似为零项十分有限,不能稀疏地表示图像的低频图像,若直接融合,不利于提取源图像的特征^[1,10]。

压缩感知理论的提出使图像处理领域得到重大的突破,信号具有稀疏性可以进行压缩时,只需少量测量值,就可以利用重建算法恢复出原始信号,这样可以大大提高算法运行的效率且更好地保存图像的

特征^[5,11]。因而本文研究一种基于 NSCT 和压缩感知的红外与可见光图像融合方法,首先利用 NSCT 将两源图像分解成一个低频分量和多个不同方向的高频分量;低频分量采用基于分块压缩感知获得测量向量,再对测量向量采用方差最大的方法进行融合;高频分量采用基于区域能量最大的方法进行融合。实验结果表明,本文方法能够获得较好的融合结果,融合图像的熵、空间频率、方差优于大部分融合方法。

1 压缩传感理论

1.1 压缩传感原理^[6,10-12]

压缩传感理论是一种新的在采样的同时潜在地实现压缩目的的理论框架。设 1 维离散实值信号 $x \in \mathbf{R}^{N \times 1}$, 在正交基 $\psi = \{\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_N\} \in \mathbf{R}^{N \times N}$ 上是可压缩的,则信号可从相对较少的测量中通过非线性重建得到精确或近似恢复^[1]。具体步骤如下:

1) 求出稀疏变换系数向量 $s = \psi^T x$, 只有 K 个变换系数是非零的,且 $K = N$, 其中 x 是信号的时域表示, s 是信号的频域表示。

2) 在不进行变换的情况下,通过一个与变换基 ψ 不相关的观测矩阵 $\varphi \in \mathbf{R}^{M \times N}$ 对向量 s 进行观测得到观测集合 $y \in \mathbf{R}^M (M = N)$, $y = \varphi x = \varphi \psi s = \Theta s$, 只要恢复矩阵 Θ 满足有限等距性质,利用观测值 y 就可重建信号 x 。

3) 利用范数意义下的优化问题来求解 x , 即

$$\min \|\psi^T x\|_1, \quad \varphi x = y \quad (1)$$

通过求解上述凸优化问题,可得信号 x 的最稀疏解

$$\hat{x} = \arg \min \|\psi^T x\|_1, \quad \varphi x = y \quad (2)$$

范数 $\|x\|_1 = \sum_{i=1}^N |x_i|$ 。

1.2 分块压缩传感

压缩传感是一种将 $I_r \times I_c$ 维图像的所有列向量首尾连成 1 维向量 $x \in \mathbf{R}^{N \times 1}$ ($N = I_r \times I_c$)，由于信号长度 N 值非常大，图像重建时需要的存储量大、重建时间长等特点，因而可以利用分块压缩传感，这样可以极大地节省计算时所需的存储空间，更加有利于算法的快速实现^[7,12-13]。其原理是将 $I_r \times I_c$ 维图像分成 $B \times B$ 大小的子图像，这样就可以得到 $N_s = N_r \times N_c$ 个子块， $N_r = I_r/B$ ， $N_c = I_c/B$ 。将每一子块的首尾相连构成一个 $B^2 \times 1$ 维信号 x_{B_i} ，再对每一子块进行稀疏变换后投影至每个分量的观测矩阵上，得到每个子块的观测值向量，最后对每个 φ_{B_i} 观测值向量进行优化求解^[7]。对整幅图像来说，观测矩阵 φ 是一个块对角矩阵，即

$$\varphi = \begin{bmatrix} \varphi_B & & & \\ & \varphi_B & & \\ & & \ddots & \\ & & & \varphi_B \\ & & & & 0 \\ & & & & & \ddots \\ & & & & & & \varphi_B \end{bmatrix} \quad (3)$$

2 融合新方法

以可见光图像 I_V 和红外图像 I_R 进行融合处理，基本步骤为：

1) 对可见光图像 I_V 、红外图像 I_R 分别进行 NSCT，分解层数为 J ，可得

$$I_V(x, y) = L_J^V(x, y) + \sum_{j=1}^J H_{j,r}^V(x, y) \quad (4)$$

$$I_R(x, y) = L_J^R(x, y) + \sum_{j=1}^J H_{j,r}^R(x, y) \quad (5)$$

式中， j, r 代表分解尺度和方向数， $L_j(x, y)$ 代表低频部分， $H_{j,r}(x, y)$ 代表高频部分。

2) 源图像经 NSCT 分解后，低频代表图像的基本轮廓信息，占据着图像的大部分能量，对低频子带的处理会较大地影响着融合结果。为了能够较好地保存红外目标信息和可见光背景图像，采用的融合方法为：

(1) 将大小为 $I_r \times I_c$ 的低频子图像 $L_J^V(x, y)$ 、 $L_J^R(x, y)$ 分为互不重叠大小为 8×8 子块，得到 $N_r \times N_c$ 个子块，对每一子块利用 9-7 wavelet 小波基进行稀疏化，再进行测量采样，得到压缩感知域测量向量

$\varphi_{I_V}^i, \varphi_{I_R}^i (i = 1, 2, \dots, N_r \times N_c)$ 。

(2) 对压缩感知域测量向量 $\varphi_{I_V}^i, \varphi_{I_R}^i$ 分别计算它们的标准偏差，得到 $s_{I_V}^i, s_{I_R}^i$ ，进行融合，得到融合后的测量向量

$$\varphi_F^i = \begin{cases} \varphi_{I_V}^i & s_{I_V}^i \geq s_{I_R}^i \\ \varphi_{I_R}^i & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

(3) 对融合测量向量 φ_F^i 进行稀疏重建，得到融合图像的低频子带 $L_J^F(x, y)$ 。

3) 虽然 NSCT 分解后得到的各个高频子图像能量比较低，但却包含了主要的目标能量，影响着融合结果的清晰度。为了使融合图像中目标区域更为清晰，采用区域能量最大的融合算法，算法表示为：

(1) 在高频子图像 $H_{j,r}^V(x, y)$ 、 $H_{j,r}^R(x, y)$ 中，分别以点 (x, y) 为中心，取 3×3 大小的子块，并计算两高频子块的区域能量，得到

$$E_{j,r}(x, y) = \sum_{x'=-1}^1 \sum_{y'=-1}^1 H_{j,r}(x+x', y+y')^2 \quad (7)$$

(2) 融合图像的高频子图像为 $H_{j,r}^F(x, y)$ ，采用的融合规则为

$$H_{j,r}^F(x, y) = \begin{cases} H_{j,r}^R(x, y) & E_{j,r}^R(x, y) \geq E_{j,r}^V(x, y) \\ H_{j,r}^V(x, y) & \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

4) 对融合后得到的高、低子带进行 NSCT 逆变换，得到融合结果。

3 融合结果

为了验证本文融合方法的正确性和有效性，利用两组红外与可见光图像进行融合处理，采用 CPU 为 intel core i5 M460 @ 2.53 GB，内存为 4 GB，安装软件 MATLAB 7.8.0 (R2009a) 的计算机进行仿真。并将本文方法与文献[2]、文献[4]、文献[9]、文献[14]、文献[15]的融合方法进行比较。在这些方法中，都采用 NSCT 方式，分解层数为 3，方向数都为 [2, 4, 4]，尺度分解滤波器组采用 'pkva'。实验结果图 1、图 2 所示，主观上从图 1(c) — (h)、图 2(c) — (h) 中可以看出，这些方法都能较好地保留背景信息和红外目标信息，相对于其他融合方法，图 1(c) 的亮度和对比度较大，道路和树丛也更为清晰，具有较好的视觉效果；图 2(c) 能够较清晰地看出目标及左右两边的

树木。为了更加客观地对融合结果进行评价,利用熵、空间频率、标准偏差、结构相似度、运行时间^[15-17]等指标对融合图像进行评价,结果如表1所示。熵是表示图像信息丰富程度的重要指标,熵值越大越好;空间频率反映融合图像的清晰度,空间频率越大,图像越清晰;标准差反映图像对比度的变化,值越大边缘轮廓越清晰;加权结构相似

度越大表示两图像越相似,相对于人类视觉系统、峰值信噪比,该方法能够较好地感知图像失真,较好地评判图像中的结构信息。从表1中可以看出本文算法融合图像的熵、空间频率和标准偏差明显大于其他3种方法,但运行效率适中。客观评价也说明了本文融合结果包含了较高的信息,具有较高的清晰度和对比度。

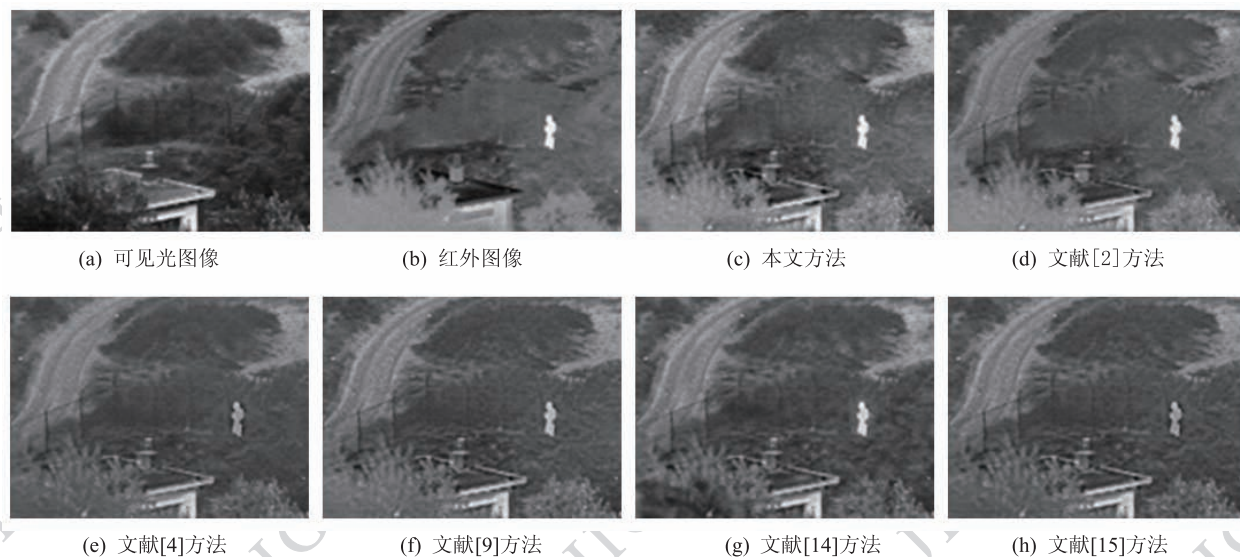


图1 UNcamp 图像组融合结果

Fig. 1 Fusion results of image UNcamp sets ((a) visual image; (b) infrared image; (c) fusion result of this paper; (d) fusion result of reference[2]; (e) fusion result of reference[4]; (f) fusion result of reference[9]; (g) fusion result of reference[14]; (h) fusion result of reference[15])

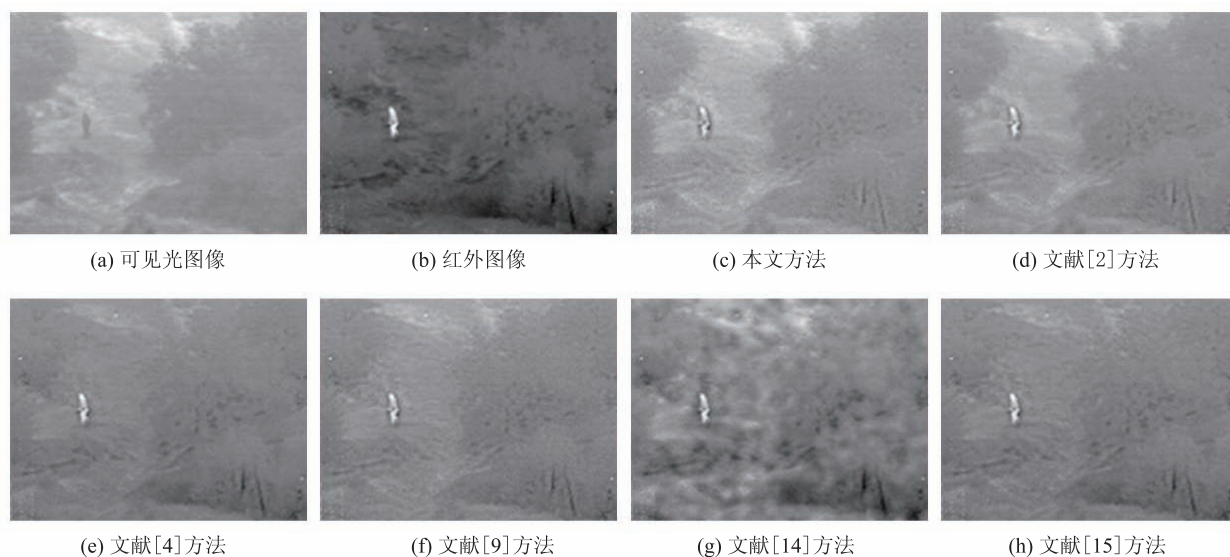


图2 Trees 图像组融合结果

Fig. 2 Fusion results of image Trees sets ((a) visual image; (b) infrared image; (c) fusion result of this paper; (d) fusion result of reference[2]; (e) fusion result of reference[4]; (f) fusion result of reference[9]; (g) fusion result of reference[14]; (h) fusion result of reference[15])

表 1 图像融合结果评价
Table 1 The evaluation of image fusion results

方法	UNcamp 图像组					Trees 图像组				
	熵	空间频率	标准差	结构相似度	时间/s	熵	空间频率	标准差	结构相似度	时间/s
本文	6.75	10.43	29.97	0.82	32.1	6.30	14.34	20.64	0.84	32.2
文献[2]	6.54	9.90	26.53	0.80	30.6	6.21	13.39	19.27	0.84	30.8
文献[4]	6.14	9.01	28.65	0.81	39.8	6.05	13.39	16.47	0.83	39.9
文献[9]	6.48	10.22	25.25	0.79	39.4	6.14	14.41	17.56	0.83	39.8
文献[14]	6.54	10.08	27.35	0.81	27.3	6.02	12.67	18.52	0.82	27.2
文献[15]	6.40	10.35	24.32	0.79	27.4	6.08	13.52	16.71	0.84	27.3

4 结 论

本文提出一种结合 NSCT 和压缩感知的红外与可见光图像融合方法,针对 NSCT 后低频子带稀疏性较差,不利于图像特征提取等问题。利用压缩感知理论对变换后低频系数进行稀疏化获得测量向量,对测量向量采用标准偏差最大的方法进行融合,可节省融合过程所需的计算量,提高运行效率;高频部分采用区域能量最大的方法进行融合。与其他几种基于 NSCT 的融合方法相比较,本文方法能够获得较高的熵、空间频率和方差,能够较好地保留可见光图像的背景和红外目标的信息。不管是主观评价还是客观评价,本文方法都能得到较好的效果,是一种简单有效的融合方法。

参考文献 (References)

[1] Wang J, Peng J Y, He G Q, et al. Fusion method for visible and infrared image based on non subsampled contourlet transform and sparse representation [J]. Acta Armamentarh, 2013, 34(7): 815-820. [王璐, 彭进业, 何贵青, 等. 基于非下采样 Contourlet 变换和稀疏表示的红外与可见光图像融合方法[J]. 兵工学报, 2013, 34(7): 815-820.]

[2] Guo M, Fu Z, Xi X L. Novel fusion algorithm for infrared and visible images based on local energy in NSCT domain [J]. Infrared and Laser Engineering, 2012, 41(8): 2229-2236. [郭明, 符拯, 奚晓梁. 基于局部能量的 NSCT 域红外与可见光图像融合算法[J]. 红外与激光工程, 2012, 41(8): 2229-2236.]

[3] Kong W W, Wang B H, Lei Y. Technique for infrared and visible image fusion based on non-subsampled shearlet transform and spiking cortical model [J]. Infrared Physics & Technology, 2015,

71(6): 87-98.

[4] Xin Z, Xin Y, Rui A L, et al. Infrared and visible image fusion technology based on directionlets transform [J]. Journal on Wireless Communications and Networking, 2013, 42(1): 1-4.

[5] Liu Y, Wang Z F. Multi-focus image fusion based on wavelet transform and adaptive block [J]. Journal of Image and Graphics, 2013, 18(11): 1435-1444. [刘羽, 汪增福. 结合小波变换和自适应分块的多聚焦图像快速融合[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(11): 1435-1444.] [DOI:10.11834/jig.20131106]

[6] Parul A, Shabbir N. Merchant, et al. Multifocus and multispectral image fusion based on pixel significance using multi resolution decomposition [J]. Verlag London Limited, 2013, (7): 95-109.

[7] Chen Z, Zhong X R, Zhang X B. Compressed sensing and its application in medical image fusion [J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2013, 32(9): 149-152. [陈栢, 钟晓荣, 张晓博. 压缩传感及其在医学图像融合中的应用[J]. 传感器与系统, 2013, 32(9): 149-152.]

[8] Liu H X, Zhu T H, Zhao J J. Infrared and visible image fusion based on region of interest detection and non-subsampled contourlet transform [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 18(5): 526-534.

[9] Yin H T. Sparse representation with learned multiscale dictionary for image fusion [J]. Neurocomputing, 2015, 148(7): 600-610.

[10] Wang R, Du L F, Chen J L, et al. Image fusion based on random projection and sparse representation [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2014, 48(10): 1421-1427. [王瑞, 杜林峰, 陈俊丽. 结合随机投影和稀疏表示的图像融合方法[J]. 上海交通大学学报, 2014, 48(10): 1421-1427.]

[11] Yu L, Liu S P, Wang Z F. A general framework for image fusion based on multi scale transform and sparse representation [J]. Information Fusion, 2015, 24(6): 147-164.

[12] She Q S, Xu P, Luo Z Z. A new image reconstruction algorithm of block compressed sensing [J]. Journal of Southeast University, 2011, 9: 27-31. [余青山, 徐平, 罗志增. 一种新的分块压缩传感图像重建算法[J]. 东南大学学报, 2011, 9: 27-31.]

- [13] Zhao C H, Liu W. Block compressive sensing based image semi-fragile zero watermarking algorithm [J]. Acta Automatica Sinica, 2012, 38(4):609-617. [赵春晖, 刘巍. 基于分块压缩感知的图像半脆弱零水印算法[J]. 自动化学报, 2012, 38(4):609-617.]
- [14] Yang G, Tong T, Lu S Y. Fusion of infrared and visible images based on multi-features [J]. Optics and Precision Engineering, 2014, 22(2):489-497. [杨桃, 童涛, 陆松岩. 基于多特征的红外与可见光图像融合[J]. 光学精密工程, 2014, 22(2):489-497.]
- [15] Chen T H, Lin Y C. Infrared and visible image fusion method based on developed NSCT transform [J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2013, 37(6):18-22. [陈天华, 林雨辰. 基于NSCT变换的红外与可见光图像融合方法[J]. 北京交通大学学报, 2013, 37(6):18-22.]
- [16] Zhang Y, Jin W Q. Objective assessment method of night vision fusion image quality [J]. Infrared and Laser Engineering, 2013, 42(5):1360-1366. [张勇, 金伟其. 夜视融合图像质量客观评价方法[J]. 红外与激光工程, 2013, 42(5):1360-1366.]
- [17] Vladimir P, Vladimir D. Focused pooling for image fusion evaluation [J]. Information Fusion, 2015, 22(3):119-126.