

基于彩色传递和信息熵的红外与彩色可见光图像融合

张 强 郭宝龙

(西安电子科技大学机电工程学院 智能控制与图像工程研究所, 陕西 西安 710071)

摘要 结合 $l_{\alpha\beta}$ 颜色空间和非下采样 Contourlet 变换(NSCT),提出了一种基于彩色传递和信息熵的红外与彩色可见光图像融合算法。算法首先对彩色可见光图像的 R, G, B 三个通道图像求均值,得到其灰度分量,进而采用 NSCT 对得到的灰度图像与红外图像进行融合得到灰度融合图像;然后采用一种基于 $l_{\alpha\beta}$ 颜色空间的彩色传递算法将可见光图像的颜色信息传递到融合图像中,得到最终的彩色融合图像。对灰度图像进行融合时,根据红外图像特征以及图像中几何特征信息与噪声在 NSCT 域中的分布差异,分别提出了一种基于局部区域均值和局部区域信息熵的加权低频子带系数选择方案和一种基于局部区域方向信息熵和区域能量相结合的带通方向子带系数选择方案。实验结果表明该算法不仅能够有效地提取可见光图像中的丰富背景信息以及红外图像中的目标位置信息,还能够最大限度地保持可见光图像中的自然彩色信息,得到具有更好视觉效果和更优化量化指标的融合图像。

关键词 信息处理技术; 图像融合; 非下采样 Contourlet 变换; 彩色传递; 信息熵

中图分类号 TP391 **文献标识码** A **doi:** 10.3788/AOS201131.s100418

Infrared and Color Visible Images Fusion Based on Color Transfer and Information Entropy

Zhang Qiang Guo Baolong

(Intelligent Control and Image Engineering Institute, School of Electromechanical Engineering,
Xiidian University, Xi'an, Shaanxi 710071, China)

Abstract Combining with the $l_{\alpha\beta}$ color space and the nonsubsampling contourlet transform (NSCT), a novel fusion algorithm for infrared and color visible images based on the color transfer and information entropy was proposed. Firstly, the R, G, B bands of the color visible image were averaged and then the intensity component image was attained. Secondly, the attained component image and the infrared image were merged based on the NSCT and then a grayscale fused image was obtained. Lastly, a color transfer method based on the $l_{\alpha\beta}$ color space was employed to transfer the color information of the color visible image into the fused grayscale image and then the final fused color image was attained. When the grayscale visible image and the infrared image are fused, according to the physical characters of the infrared image, a weighted averaging scheme based on the local area mean and local area information entropy was proposed for the lowpass subband coefficients. As well, according to the distribution differences of the noise and the geometric characters of the image in the NSCT domain, a selection principle based on the local area direction entropy and the local area energy was proposed for the bandpass directional subband coefficients. Experimental results demonstrated that the proposed algorithm not only can extract the abundant background information of the visible image and the target localization information of the infrared image, but also can make the fused color image maintain the nature color information of the visible image as much as possible.

Key words information processing technology; image fusion; nonsubsampling contourlet transform; color transfer; information entropy

OCIS codes 100.0100; 350.2660; 330.0300

收稿日期: 2011-03-02; 收到修改稿日期: 2011-04-05

基金项目: 国家自然科学基金(10972002, 60736022)和中央高校基本科研业务费专项资金(K50510040003)资助课题。

作者简介: 张 强(1979—),男,博士,副教授,主要从事图像的多尺度几何分析及其在图像融合中的应用等方面的研究。

E-mail: zhangqiang134@163.com

1 引 言

随着小波理论的日益成熟和发展,小波变换已被广泛应用于图像融合领域中,取得了丰富的研究成果^[1~3]。然而,采用小波变换对二维图像进行分析时不能够充分利用图像数据本身所特有的几何特征,挖掘图像中方向边缘信息,也不能够对图像中的直线或曲线稀疏表示,使得融合后的图像容易引入一定的“人为”效应或高频噪声,从而在一定程度上降低了融合图像的质量^[4]。

针对小波变换在图像处理中的缺陷,2006年,Cunha等^[5]提出了一种新的图像多尺度几何分析工具—非下采样 Contourlet 变换(NSCT)。NSCT不仅继承了小波变换的多尺度和时频局部特性,还具有多方向和平移不变特性,能够更好地捕捉图像中的几何特征和有效减少配准误差对融合性能的影响,并已成功应用于遥感图像融合领域中^[4]。

然而,目前多数融合算法研究主要是针对灰度图像的融合。人眼对颜色的分辨能力远远超过对灰度级的分辨,所以彩色图像比灰度图像更利于目标的识别。红外和可见光两类图像特征具有较大的互补性,现今的传感器技术能够方便地获取彩色的可见光图像,在对红外与可见光图像进行融合时,如果能够充分利用可见光图像的彩色信息,那么得到的彩色融合结果会更符合人眼视觉特性,从而能够增强融合图像的可分辨性^[6]。

本文以红外与彩色可见光图像为研究对象,提出了一种基于彩色传递和 NSCT 的图像融合算法。并根据红外图像特征以及图像中几何特征信息与噪声在 NSCT 域中的分布差异,详细讨论了各子带系数的融合规则。实验结果表明,该算法不仅能够有效提取红外图像中目标存在特性和可见光图像中丰富纹理细节信息,还能够最大可能地保持可见光图像中彩色信息。

2 非下采样 Contourlet 变换

与 Contourlet 变换^[7]类似,NSCT^[5]也是将尺度分解与方向分解分开进行。首先采用非下采样塔式滤波器组(NSPFB)获得图像的多尺度分解,然后采用非下采样方向滤波器组(NSDFB)对得到的各尺度子带图像进行方向分解,从而得到不同尺度、方向的子带图像(系数),如图1所示。与 Contourlet 变换不同的是,NSCT在图像的分解和重构过程中,取消了对图像进行降采样和上采样操作,从而使得 NSCT 不仅具有多尺度、良好的空域和频域局部特性以及多方向特性,还具有平移不变特性以及各子带系数与源图像具有相同大小的尺寸等特性。

NSCT 采用的 NSPFB 和 NSDFB 均为二通道非下采样滤波器组。为了实现对图像的多尺度分解,与一维“à trous”小波算法相似,每一级需要对上一级中采用的滤波器按采样矩阵 $D=2I$ (其中 I 为 2 阶单位矩阵) 进行上采样。为对图像的多方向分解,首先对图像采用理想频域支撑区间为扇形的滤波器 $U_0(z)$ 和 $U_1(z)$ 进行二通道方向分解,然后在此基础上,对滤波器 $U_0(z)$ 和 $U_1(z)$ 采用不同的采样矩阵进行上采样,并对上一级方向分解后的子带进行滤波,实现对图像的多方向分解。例如,可以对滤波器 $U_0(z)$ 和 $U_1(z)$ 分别按采样矩阵 $D = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$ 进行上采样得滤波器 $U_0(z^D)$ 和 $U_1(z^D)$,然后再对上一级二通道方向分解后得到的子带图像进行滤波,从而实现四通道方向分解。

图像经 N 级 NSCT 分解后,可得到 1 个低频子带图像和 $\sum_{j=1}^N 2^{l_j}$ 个方向子带图像,其中 l_j 为尺度 j 下方向分解级数,各子带图像与源图像均具有相同大小的尺寸,各子带图像像素之间具有明显的对应关系,从而有利于融合运算的实现。

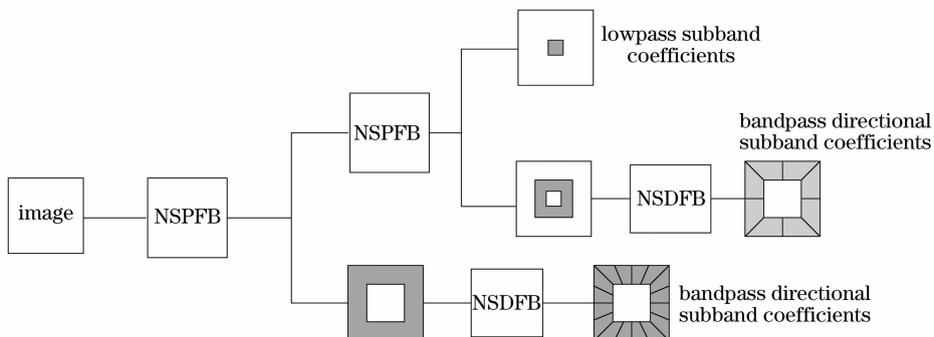


图 1 非下采样 Contourlet 变换

Fig. 1 Nonsampled contourlet transform

3 红外与彩色可见光图像融合

直接的红外图像与彩色可见光图像融合算法是将红外图像与彩色可见光图像的每一彩色通道单独融合。然而,由于彩色图像各彩色通道之间存在着较强的关联性,因而容易导致融合后的彩色图像相对于彩色可见光图像具有较大的颜色失真^[8]。

为了使得融合后的彩色图像尽可能地保持彩色

可见光图像的颜色信息,首先引入 $l\alpha\beta$ 颜色空间^[9]。从 RGB 颜色空间映射到 $l\alpha\beta$ 颜色空间可分两步完成,首先按

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.3811 & 0.5783 & 0.0402 \\ 0.1967 & 0.7244 & 0.0782 \\ 0.0241 & 0.1288 & 0.844 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

将 RGB 颜色空间映射到 LMS 空间,然后再按

$$\begin{bmatrix} l \\ \alpha \\ \beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{3} & 0 & 0 \\ 0 & 1/\sqrt{6} & 0 \\ 0 & 0 & 1/\sqrt{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -2 \\ 1 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lg L \\ \lg M \\ \lg S \end{bmatrix} \quad (2)$$

映射到 $l\alpha\beta$ 颜色空间中。其中 l 表示无色亮度通道, α 和 β 分别表示黄-蓝和红-绿有色通道,且 l, α 和 β 之间具有最小的相关性。从 $l\alpha\beta$ 颜色空间映射到 RGB 颜色空间也相应地分两步完成

$$\begin{bmatrix} \Gamma \\ \Omega \\ \Psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 \\ 1 & -2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/\sqrt{3} & 0 & 0 \\ 0 & 1/\sqrt{6} & 0 \\ 0 & 0 & 1/\sqrt{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} l \\ \alpha \\ \beta \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4.4679 & -3.5873 & 0.1193 \\ -1.2186 & 2.3809 & -0.1624 \\ 0.0497 & -0.2439 & 1.2045 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 10^\Gamma \\ 10^\Omega \\ 10^\Psi \end{bmatrix}. \quad (4)$$

在此基础上,提出了一种基于 NSCT 红外与彩色可见光图像融合算法。图 2 给出了该算法的基本流程(假设红外图像与可见光图像已经经过严格的空配准)。算法具体步骤如下:

1) 对彩色可见光图像 I_{visible} 的 R, G, B 三个通道图像求均值得到灰度图像 I_{vi} ;

2) 对灰度图像 I_{vi} 和红外图像 I_{ir} 分别进行 NSCT 分解,得到图像 $I_{\text{vi}}, I_{\text{ir}}$ 各自的 NSCT 系数 $\{C_{j_0}^{\text{vi}}(m, n), C_{j,l}^{\text{vi}}(m, n) (j \geq j_0, l=1, 2, \dots, 2^j)\}$ 和 $\{C_{j_0}^{\text{ir}}(m, n), C_{j,l}^{\text{ir}}(m, n) (j \geq j_0, l=1, 2, \dots, 2^j)\}$, 其中 $C_{j_0}(m, n)$ 为位置 (m, n) 处最粗糙尺度 j_0 下的低频子带系数, $C_{j,l}(m, n)$ 为相应位置处尺度 j 、方向 l 下的带通子带系数, l_j 为尺度 j 下方向分解级数;

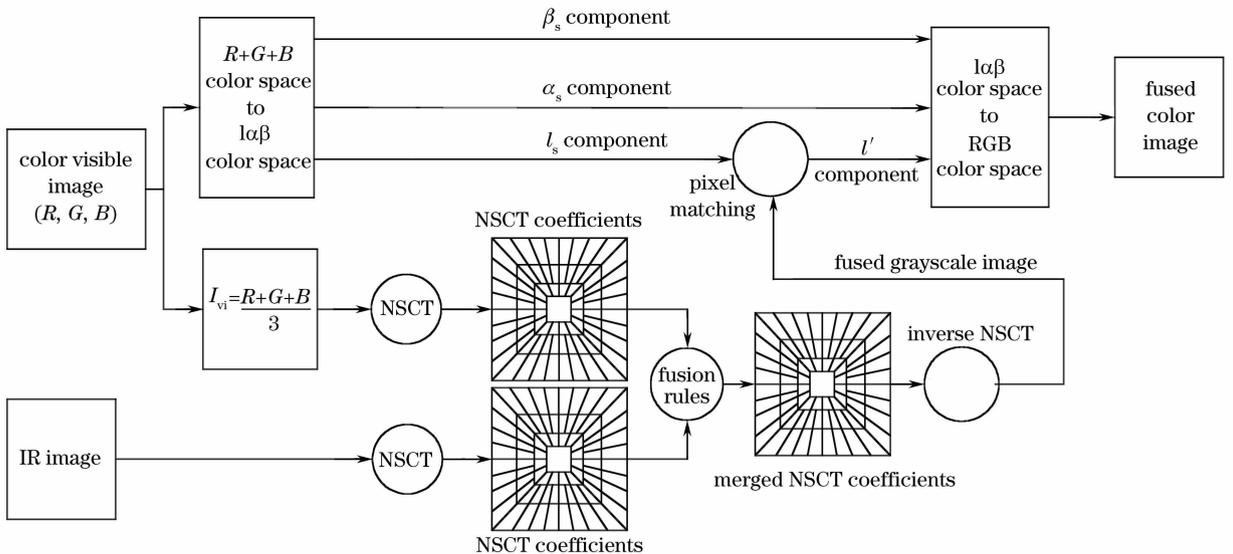


图 2 图像融合算法框图

Fig. 2 Block diagram of the proposed image fusion algorithm

3) 采用一定的融合规则对上述 NSCT 系数进行组合,得到灰度融合图像 $I_{\text{fused_gray}}$ 的 NSCT 系数 $\{C_{j_0}^{\text{F}}(m,n), C_{j,l}^{\text{F}}(m,n) (j \geq j_0, l=1,2,\dots,2^l)\}$;

4) 对得到的 NSCT 系数进行 NSCT 逆变换,从而得到灰度融合图像 $I_{\text{fused_gray}}$;

5) 将图像 I_{visible} 从 RGB 颜色空间映射到 $l\alpha\beta$ 颜色空间中,得到 l_s, α_s, β_s 分量;

6) 为了使图像 I_{visible} 中的颜色信息正确地传递到图像 $I_{\text{fused_gray}}$ 中,避免因亮度差异造成颜色信息失真,需要按照

$$l_T = \sqrt{3} \lg I_{\text{fused_gray}}, \quad (5)$$

$$l' = (l_T - \langle l_T \rangle) \cdot \frac{\sigma_s^l}{\sigma_T^l} + \langle l_s \rangle, \quad (6)$$

对图像 $I_{\text{fused_gray}}$ 处理,得到新的亮度分量 $l'^{[10]}$,其中 $\langle \cdot \rangle$ 表示均值, σ 表示标准方差。

7) 将分量 l' 代替分量 l_s ,保持分量 α_s, β_s 不变,并对 l', α_s, β_s 分量从 $l\alpha\beta$ 颜色空间映射到 RGB 颜色空间,从而完成从彩色可见光图像到图像 $I_{\text{fused_gray}}$ 的

彩色传递,得到最终的彩色融合图像 $I_{\text{fused_color}}$ 。

在上述步骤中,图像 I_{vi} 与红外图像 I_{ir} 进行融合时如何选取 NSCT 域中各子带系数,即融合规则,也是一个至关重要的环节。下面将根据红外图像的特征以及图像中几何特征信息与噪声在 NSCT 域中的分布差异,详细阐述低频子带系数和各带通方向子带系数的系数选择方案。

对于低频子带系数常采用平均法,但该方案容易降低融合图像的对比度。对于红外图像而言,红外目标往往表现为灰度值具有较高的局部均值且分布均匀,而对于可见光图像而言,具有丰富背景信息的区域往往表现为局部区域灰度均值以及灰度离散性均较大。图像的局部区域信息熵(LAE)能够很好地表征图像灰度值分布的离散程度^[11]。为此,为了更好地将红外图像中的目标特性和可见光图像中的丰富背景信息有机地结合在一起,我们引入了下列基于局部区域均值和 LAE 的加权系数选择方案

$$C_{j_0}^{\text{F}}(m,n) = \frac{C_{j_0}^{\text{Ivi}}(m,n) \times \omega_{\text{Ivi}}(m,n) + C_{j_0}^{\text{Iir}}(m,n) \times \omega_{\text{Iir}}(m,n)}{\omega_{\text{Ivi}}(m,n) + \omega_{\text{Iir}}(m,n)}, \quad (7)$$

其中,红外图像和可见光图像的权重系数 $\omega_{\text{Iir}}, \omega_{\text{Ivi}}$ 分别定义为

$$\omega_{\text{Iir}} = \frac{\bar{m}_{\text{Iir}}^l(m,n) \times [1 + S_{\text{Iir}}^l(m,n)]}{\max_{(m,n)} \{ \bar{m}_{\text{Iir}}^l(m,n) \times [1 + S_{\text{Iir}}^l(m,n)] \}}, \quad (8)$$

$$\omega_{\text{Ivi}} = \frac{\bar{m}_{\text{Ivi}}^l(m,n) / [1 + S_{\text{Ivi}}^l(m,n)]}{\max_{(m,n)} \{ \bar{m}_{\text{Ivi}}^l(m,n) / (1 + S_{\text{Ivi}}^l(m,n)) \}}, \quad (9)$$

$\bar{m}^l(m,n), S^l(m,n)$ 分别表示图像的低频子带系数 $C_{j_0}(m,n)$ 的局部区域均值和 LAE,定义分别如下(局部区域尺寸 $M_1 \times N_1$ 一般取为 $3 \times 3, 5 \times 5$ 等)

$$\bar{m}^l(m,n) = \frac{\sum_{r=-(M_1-1)/2}^{(M_1-1)/2} \sum_{s=-(N_1-1)/2}^{(N_1-1)/2} [C_{j_0}(m+r,n+s)]}{M_1 \times N_1}, \quad (10)$$

$$S^l(m,n) = - \sum_{r=-(M_1-1)/2}^{(M_1-1)/2} \sum_{s=-(N_1-1)/2}^{(N_1-1)/2} P(m+r,n+s) \lg P(m+r,n+s), \quad (11)$$

其中, $P(m+r,n+s)$ 定义为

$$P(m+r,n+s) = \frac{C_{j_0}(m+r,n+s)}{\sum_{r=-(M_1-1)/2}^{(M_1-1)/2} \sum_{s=-(N_1-1)/2}^{(N_1-1)/2} C_{j_0}(m+r,n+s)}, \quad (12)$$

对于带通方向子带系数的选择,常采用“模值取大”的系数方案,以便能够尽可能地提取源图像中的细节信息。但红外图像对比度较低,并且容易带有一定的噪声,为了避免将红外图像中的噪声作为有用信息提取并注入到融合图像中,必须将有意

义的图像特征信息和噪声区分开。局部区域内有意义的图像特征往往表现出多尺度性和较强的方向性^[12],在 NSCT 域中表现为只在少数方向上具有较大的能量(强度),即能量在各方向上分布变化较为剧烈。相对于图像特征信息,噪声点虽然也有局部

能量极大值,但缺少方向性^[12],在 NSCT 域中表现为局部能量平坦分布在所有方向上,即噪声能量在各方向上分布变化较为平缓。

为了恰当地区分图像中的特征信息和噪声,类似于文献[12],在 NSCT 域中引入方向信息熵

(DE)的概念,过程如下:

1) 在尺度 j 下,位置 (m, n) 处引入 2^j 维方向向量 $\mathbf{V}_j(m, n)$ 以表示图像在该尺度下(频带范围内)各方向上的能量强度,其中 l_j 为 j 尺度下方向分解级数。

$$\mathbf{V}_j(m, n) = [|C_{j,1}(m, n)|, |C_{j,2}(m, n)|, \dots, |C_{j,2^j}(m, n)|]^T, \quad (13)$$

2) 将 $\mathbf{V}_j(m, n)$ 用局部能量归一化,得到局部方向能量密度分布

$$\mathbf{P}_j(m, n) = [p_{j,1}(m, n), p_{j,2}(m, n), \dots, p_{j,2^j}(m, n)]^T = \mathbf{V}_j(m, n)/E_j(m, n), \quad (14)$$

其中,局部能量定义为该尺度下所有方向子带中系数模值之和,即 $E_j(m, n) = \sum_{l=1}^{2^j} |C_{j,l}(m, n)|$ 。

3) 得到尺度 j 下,位置 (m, n) 处方向信息熵 $D_j(m, n)$

$$D_j(m, n) = - \sum_{l=1}^{2^j} p_{j,l}(m, n) \lg[p_{j,l}(m, n)], \quad (15)$$

规定, $0 \lg 0 = 0$ 。在此基础上,在尺度 j , 方向 l 下,位置 (m, n) 处引入显著性因子 $S_{j,l}(m, n)$

$$S_{j,l}(m, n) = |C_{j,l}(m, n)| / [1 + D_j(m, n)], \quad (16)$$

(16)式表明,如果图像在尺度 j , 方向 l 下,位置 (m, n) 处具有较大的强度[$|C_{j,l}(m, n)|$ 值较大],同时能量在各方向上分布较为剧烈[$D_j(m, n)$ 值较小],表明在该位置处具有较明显的图像特征。同时,由于图像的局部特征往往并不是孤立地由单一像素所能表征的,而是由某一区域内的多个像素共同体现的。因此,为了提高算法的稳健性,我们提出了带通系数选择方案

$$C_{j,l}^F(m, n) \begin{cases} C_{j,l}^{lv}(m, n), & P_{j,l}^{lv}(m, n) \geq P_{j,l}^{hr}(m, n), \\ C_{j,l}^{hr}(m, n), & P_{j,l}^{lv}(m, n) < P_{j,l}^{hr}(m, n), \end{cases} \quad (17)$$

其中, $M_1 \times N_1$ 为局部区域尺寸大小

$$P_{j,l}(m, n) = \sum_{r=-(M_1-1)/2}^{(M_1-1)/2} \sum_{s=-(N_1-1)/2}^{(N_1-1)/2} |S_{j,l}(m+r, n+s)|^2.$$

利用上述低频子带系数选择方案和带通方向子带系数选择方案得到融合图像的 NSCT 系数,进而进行 NSCT 逆变换得到融合后的灰度图像,再利用彩色传递算法得到最终的彩色融合图像。

4 融合效果仿真实验及其性能分析

图 3(a), (b) 给出了一组同一场景的彩色可见光图像和红外图像。为了更好地比较,还采用了其它 5 种融合算法进行图像融合比较。前 4 种算法分别采用离散小波变换(DWT), 离散小波框架变换(DWFT), Contourlet 变换(CNT)以及 NSCT 作为图像的多尺度分解工具,灰度图像融合规则采用简单的低频系数取平均,高频系数模值取大的融合规则,同时采用与本文算法中相同的彩色传递算法,分别简记为 DWT_AVE, DWFT_AVE, CNT_AVE, NSCT_AVE 算法,以验证不同的图像多尺度分解和重构工具对融合性能的影响。第 5 种算法采用与

本文算法相同的图像多尺度分解工具以及灰度图像融合规则,所不同的是红外图像与彩色可见光图像的 R、G、B 三个通道图像单独融合,简记为 NSCT_RGB 算法。第 6 种算法为本文所提出的融合算法,简记为 NSCT_LAB 算法。图 3(c)~(h) 给出了各融合算法的融合结果。

从颜色失真角度,可以看出采用 NSCT_RGB 算法得到的融合图像图 3(g) 较彩色可见光图像图 3(a) 具有较大的颜色失真,而其他五种算法能够很好地保持可见光图像中的颜色信息,从而表明采用基于 $l_{\alpha\beta}$ 颜色空间的彩色传递算法能够很好地将可见光图像中的颜色信息传递到融合图像中。

从融合图像空间质量角度,可以看出采用 DWT_AVE 算法和 CNT_AVE 算法得到的融合图像图 3(c) 和图 3(d) 引入了较为明显的“块”效应。这主要是因为 DWT 和 CNT 在对图像进行分解和重构过程中需要对图像进行降采样和上采样,引入了一定的频率混叠项,从而使得融合图像具有较明显的“块”效应。而

DWFT 和 NSCT 能够很好地抑制这种“块”效应的引入。因而采用 DWFT_AVE 算法、NSCT_AVE 算法

和 NSCT_LAB 算法得到的融合图像图 3(e)、图 3(f) 和图 3(h) 具有较好的视觉效果。

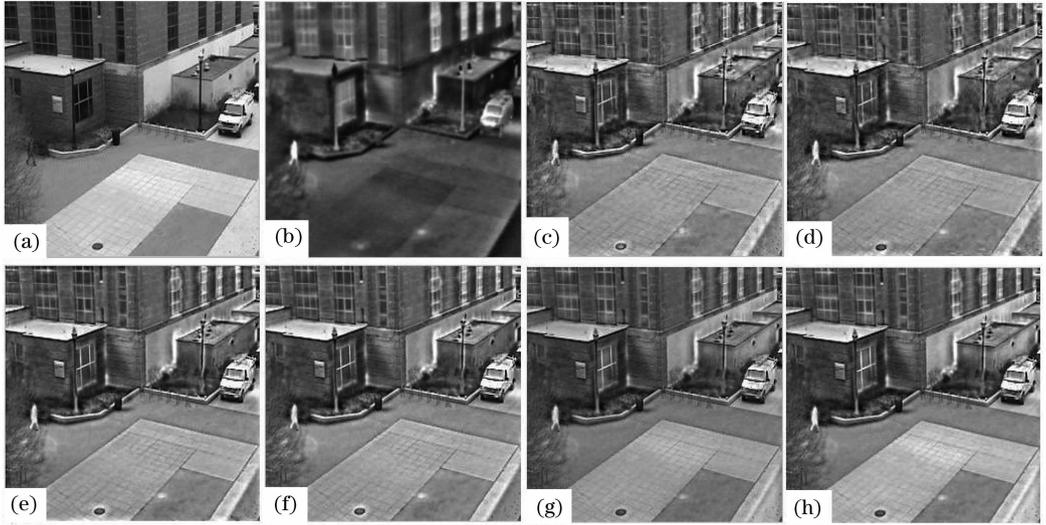


图 3 测试图像及融合结果。(a) 彩色可见光图像；(b) 红外图像；(c)~(h) 分别为采用 DWT_AVE, CNT_AVE, DWFT_AVE, NSCT_AVE, NSCT_RGB 和 NSCT_LAB 算法得到的融合结果图像

Fig. 3 Test images and fusion results. (a) Color visible image; (b) infrared image; (c)~(h) fusion results of the DWT_AVE, CNT_AVE, DWFT_AVE, NSCT_AVE, NSCT_RGB and the proposed NSCT_LAB methods respectively

为了更好地对融合性能进行评价,采用基于图像边缘梯度信息的性能评价算子(Q)^[13]以及通用彩色图像指标(UCIQ)^[14]作为融合结果的客观评价指标。

Q 因子主要是针对灰度图像融合性能提出的,衡量了融合图像包含源图像特征信息的多少,其值越高,融合性能越好,具体定义可参考文献[13]。为了计算 Q 值,首先将彩色可见光图像和融合后彩色图像的 R 、 G 、 B 通道图像分别求均值,得到相应的灰度可见光图像 I_{vi_g} 和融合后灰度图像 I_{f_g} 。采用 $Q(I_{vi_g}, I_{f_g})$ 、 $Q(I_{ir}, I_{f_g})$ 分别表示图像 I_{f_g} 相对于图像 I_{vi_g} 以及红外图像 I_{ir} 的信息保留量,采用 $Q(I_{vi_g}, I_{ir}, I_{f_g})$ 表示融合图像相对于两种输入图像的整体信息保留量。UCIQ 因子是在通用图像性能指标(UIQI)^[15]的基础上,针对彩色图像融合性能提出的一种评价因子,其值越高,表明融合后彩色图像相对于原彩色图像颜色失真越小。为了计算融合后彩色图像 I_{f_c} 和原彩色可见光图像 I_{vi_c} 之间的 UCIQ 值 $UCIQ(I_{vi_c}, I_{f_c})$,首先将图像 I_{f_c} 、 I_{vi_c} 分别从 RGB 颜色空间映射到 $l\alpha\beta$ 颜色空间,得到相应的 l 、 α 、 β 分量;然后针对三个分量分别计算其 UIQI 值,并对结果加权求和得到最终的 UCIQ 值,具体计算

方法可参考文献[14]。

表 1 给出了各融合算法的性能比较数据。从表 1 中的数据可以看出,采用 NSCT_RGB 算法得到的 UCIQ 值明显低于其它五种算法的 UCIQ 值,从而表明 NSCT_RGB 算法具有最大的颜色失真度。

采用 DWT_AVE 算法和 CNT_AVE 算法得到的 Q 值明显低于其它三种算法的 Q 值,表明采用 DWT_AVE 算法和 CNT_AVE 算法得到的融合图像空间质量性能相对较差,这与前面分析的完全一致。

比较 NSCT_AVE 算法和 DWFT_AVE 算法的性能数据,可以看出 NSCT_AVE 算法能够从源图像中获取更多的有用空间信息,而这主要是由于 NSCT 较 DWFT 具有更好的稀疏表达能力,变换后能量更加集中,更利于跟踪和分析图像的重要特征,从而获得更高的性能评价指标。

不论 Q 值还是 UCIQ 值,本文所提出的 NSCT_LAB 融合算法较 NSCT_AVE 算法都具有更好的性能,从而表明在灰度图像融合中,本文制定的融合规则能够恰当地表征红外图像和可见光图像的特征,以及能够恰当地区分噪声和有意义的图像几何特征,从而获得更优的融合性能。

表 1 不同融合算法性能比较数据
Table 1 Performance of different fusion methods

Methods	DWT_AVE	DWFT_AVE	CNT_AVE	NSCT_AVE	NSCT_RGB	NSCT_LAB
$Q(I_{v_r}, I_{l_r})$	0.2652	0.2894	0.2559	0.3409	0.3475	0.3250
$Q(I_{ir}, I_{l_r})$	0.1834	0.1997	0.1637	0.2159	0.2101	0.2093
$Q(I_{v_r}, I_{ir}, I_{l_r})$	0.2370	0.2576	0.2368	0.2603	0.2654	0.2677
UCIQ(I_{v_c}, I_{l_c})	1.2825	1.2540	1.2866	1.2513	1.1434	1.3571

5 结 论

基于 $l\alpha\beta$ 颜色空间彩色传递和 NSCT, 提出了一种新的红外与彩色可见光图像融合算法。 $l\alpha\beta$ 颜色空间中, l 、 α 和 β 通道之间具有最小的相关性, 比较适合颜色信息处理。本文将基于 $l\alpha\beta$ 颜色空间的彩色传递算法引入红外与彩色可见光图像的融合中, 使得融合后的彩色图像最大程度上保持了可见光图像中的自然彩色信息, 更符合人眼视觉感受, 从而大大提高了融合图像的解释质量。NSCT 作为一种新的图像多尺度几何分析工具, 不仅具有良好的空域和频域局部特性, 多方向特性以及各向异性特性, 能够更好地捕捉图像的几何特征, 还具有平移不变特性, 分解得到的各子带图像与源图像具有相同尺寸大小等特点, 能够有效减少配准误差对融合性能的影响, 以及容易找到各子带图像之间的空间对应关系, 便于融合运算的实现。因此, 本文将 NSCT 引入图像融合中, 并根据红外图像的特征以及图像中几何特征信息与噪声在 NSCT 域中的分布差异, 详细讨论了低频子带系数和各带通方向子带系数的选择方案。实验结果表明, 相对于传统的小波变换融合算法以及 Contourlet 变换融合算法, 本文提出的融合算法具有更高的性能, 能够将红外图像中的目标存在特性和可见光图像中的丰富背景信息有机地结合在一起; 相对于采用简单的 R 、 G 、 B 颜色通道单独融合算法, 该算法颜色失真度较低, 能够最大限度地保持彩色可见光图像中的自然彩色信息, 得到更好视觉效果的融合图像。

参 考 文 献

- G. Pajares, J. M. de la Cruz. A wavelet-based image fusion tutorial [J]. *Pattern Recognition*, 2004, **37**:1855~1872
- Zhang Qiang, Guo Baolong. Fusion of multispectral and panchromatic images based on the physical characteristics of imaging system[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(2): 243~248
张 强, 郭宝龙. 基于成像系统物理特性的多光谱图像与全色波

- 段图像融合[J]. *光学学报*, 2007, **27**(2): 243~248
- Liu Bin, Peng Jiaxiang. Image fusion based on non-separable orthogonal compact supported wavelet[J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(9): 1214~1218
刘 斌, 彭嘉雄. 具有紧支撑正交非张量积小波的图像融合[J]. *光学学报*, 2004, **24**(9): 1214~1218
- Zhang Qiang, Guo Baolong. Remote sensing image fusion based on the nonsubsampling contourlet transform [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(1): 74~80
张 强, 郭宝龙. 基于非采样 Contourlet 变换的遥感图像融合算法[J]. *光学学报*, 2008, **28**(1): 74~80
- A. L. Cunha, J. P. Zhou, M. N. Do. The nonsubsampling contourlet transform: theory, design, and applications[J]. *IEEE Trans. Image Proc.*, 2006, **15**(10): 3089~3101
- Li Guangxin, Wang Ke. Color image fusion algorithm using the contourlet transform [J]. *Acta Electronica Sinica*, 2007, **35**(1): 112~117
李光鑫, 王 珂. 基于 Contourlet 变换的彩色图像融合算法[J]. *电子学报*, 2007, **35**(1): 112~117
- M. N. Do, M. Vetterli. The contourlet transform: an efficient directional multiresolution image representation [J]. *IEEE Trans. Image Proc.*, 2005, **14**(12): 2091~2106
- L. Bogoni, M. Hansen. Pattern-selective color image fusion[J]. *Pattern Recognition*, 2001, **34**: 1515~1526
- D. L. Ruderman, T. W. Cronin, C. C. Chiao. Statistics of cone responses to natural images: implications for visual coding [J]. *J. Opt. Soc. Am.*, 1998, **15**(8): 2036~2045
- Z. H. Li, Z. L. Jing, X. H. Yang *et al.*. Color transfer based remote sensing image fusion using non-separable wavelet frame transform [J]. *Pattern Recognition Letters*, 2005, **26** (13): 2006~2014
- Chen Xiangping, Wang Zhicheng, Tian Jinwen. Fusion detection of small infrared target based on local entropy and local gradient strength[J]. *Computer and Digital Engineering*, 2006, **34**(10): 1~3
陈湘凭, 王志成, 田金文. 基于局部梯度和局部熵的红外小目标融合检测[J]. *计算机与数字工程*, 2006, **34**(10): 1~3
- Yang Zhi, Mao Shiyi, Chen Wei. Local orientation energy based robust image fusion algorithm[J]. *J. Electronics & Information Technology*, 2006, **28**(9): 1537~1541
杨 志, 毛士艺, 陈 炜. 基于局部方向能量的鲁棒图像融合[J]. *电子与信息学报*, 2006, **28**(9): 1537~1541
- C. S. Xydeas, V. Petrovic. Objective image fusion performance measure[J]. *Electron. Lett.*, 2000, **36**(4): 308~309
- A. Toet, M. P. Lucassen. A universal color image quality metric[C]. *SPIE*, 2003, **5108**: 12~23
- Z. Wang, A. C. Bovik. A universal image quality index[J]. *IEEE Signal Processing Letters*, 2002, **9**(3): 25~37