

基于树状小波分解的多传感器图像融合*

李树涛 王耀南

(湖南大学电气与信息工程学院, 湖南, 长沙, 410082;
中国科学院模式识别国家重点实验室, 北京, 100080)

摘要 提出了基于树状小波分解的多传感器图像融合方法, 它能够在一定的能量准则下, 自适应地根据图像特征进行子带分解和融合。对可见光图像与红外图像、可见光图像与毫米波图像进行融合的实验结果表明, 所提出的方法比传统的金字塔形小波分解具有更好的融合效果。

关键词 多传感器图像融合, 小波变换, 树状小波。

MULTISENSOR IMAGE FUSION BASED ON TREE-STRUCTURE WAVELET DECOMPOSITION*

LI Shu-Tao WANG Yao-Nan

(College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha, Hunan 410082, China;
National Laboratory of Pattern Recognition, Institute of Automation, CAS, Beijing 100080, China)

Abstract An algorithm for multisensor image fusion was proposed based on tree-structure wavelet decomposition. Under some special energy rules, it can adaptively implement subband decomposition and image fusion according to the image features. Experimental results of visible image and infrared image fusion, visible image and millimeter wave image fusion were given, which show the proposed method can achieve better fusion performance than the traditional pyramid wavelet decomposition.

Key words multisensor image fusion, wavelet transform, tree-structure wavelet.

引言

近年来, 多传感器图像融合技术在机器视觉、遥感、医学、军事、法律等领域得到了广泛的关注^[1~3]。多传感器图像融合是指多个传感器采集的关于同一目标或场景的图像进行适当的处理, 产生一幅新的图像, 使之更适合于人眼感知或计算机后续处理, 如图像分割、目标识别等。由于多传感器获取的图像间既存在冗余性又存在互补性, 所以多传感器图像融合技术既可提高系统的可靠性又可以提高图像信息的利用效率。

一般认为图像融合分为 3 个层次, 即像素级融合、特征级融合和决策级融合^[4]。像素级融合是作用于图像像素点最底层的融合, 本文所指的图像融合是像素级图像融合。

图像融合最简单的方法是对源图像相应像素进

行算术平均运算, 这种方法的缺点是融合后图像的对比度很差。为了克服这一问题, 人们又提出了基于金字塔的图像融合方法, 其中包括梯度金字塔、比率低通金字塔、形态学金字塔等^[5~8]。80 年代中期发展起来的小波变换技术为图像融合提供了新的工具, 小波分解的紧致性、对称性和正交性赋予它优于金字塔分解的图像融合性能^[9~11]。

本文提出了基于树状小波分解的多传感器图像融合方法。树状小波分解能够按一定的规则自适应地根据图像的子带能量决定图像的分解, 图像融合的过程是首先对已配准的源图像进行树状小波分解, 然后对源图像的树状小波分解系数进行融合, 再对融合后的树状小波分解系数进行相应的树状小波逆变换, 即得到了融合的图像。实验结果表明, 基于树状小波分解的方法比金字塔形小波分解具有更好的融合效果。

* 国家自然科学基金(编号 60075008)资助项目
稿件收到日期 2000-05-08, 修改稿收到日期 2001-02-19

* The project supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 60075008)

Received 2000-05-08, revised 2001-02-19

1 树状小波分解

传统的金字塔形小波分解是利用正交小波变换对原图像进行正交小波分解,得到表示低频信息、水平方向信息、垂直方向信息和对角方向信息的4个子图像,再将低频子图像进一步分解成4个子图像.

树状小波分解与传统的金字塔形小波分解的不同之处在于它不仅将低频信息进行分解,而是根据图像的特征按子带图像的能量自适应地对各个子带信息进行分解.在树状小波分解过程中,需要有某种准则来确定对一个子带信号是否继续进行分解.本文选用图像矩阵的1范数 L_1 作为确定主要频段的能量函数.树状小波分解的步骤如下:(1)计算出大小为 $M * N$ 的图像 $F(x,y)$ 的能量

$$E_i = \frac{1}{M * N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |F(x,y)|; \quad (1)$$

(2) 将图像 $F(x,y)$ 分解成4个子带,计算每一个子带的能量 E ; (3) 如果子带能量 $E < cE_0$ (c 为预设常数),即能量过小则终止分解; (4) 如果子带能量 $E > cE_0$,则对子带按上述步骤继续进行分解.

2 基于树状小波分解的图像融合过程

基于树状小波变换的图像融合过程如图1所示,融合的具体步骤如下.

(1) 对两幅已经配准的源图像进行树状小波分解,设两个图像的树状小波分解系数分别为 $DWD_1(\vec{P})$ 和 $DWD_2(\vec{P})$,其中 $\vec{P} = (i,j,k,l)$, (i,j) 为分解系数的空间位置, k 为分解层数, l 为子带频段 ($l = 1,2,3,4$);

(2) 计算两幅图像树状小波分解系数的活性测度,设两组分解系数的活性测度分别为 $A_1(\vec{P})$ 和 $A_2(\vec{P})$,采用基于窗口的测度,窗口大小为 $3 * 3$,窗口

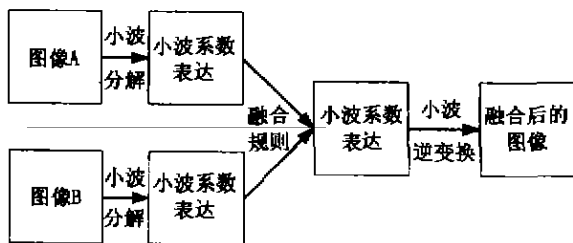


图1 基于树状小波分解的图像融合过程
Fig.1 Scheme of image fusion based on tree-structure wavelet transform

模板系数为

$$\omega(s,t) = \begin{bmatrix} \frac{1}{16} & \frac{1}{16} & \frac{1}{16} \\ \frac{1}{16} & \frac{1}{2} & \frac{1}{16} \\ \frac{1}{16} & \frac{1}{16} & \frac{1}{16} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

则活性测度为

$$A_I(\vec{P}) = \sum_{\substack{s \in S \\ t \in T}} \omega(s,t) |D_I(t+s, j-t, k, l)|, \quad I = 1,2. \quad (3)$$

(3) 根据取极大值的规则对两组树状小波系数进行融合,得到新的树状小波系数表达.设融合后的树状小波系数为 DWD_i ,即

$$DWD_j(\vec{P}) = \begin{cases} DWD_1(\vec{P}), & A_1(\vec{P}) \geq A_2(\vec{P}) \\ DWD_2(\vec{P}), & A_1(\vec{P}) < A_2(\vec{P}) \end{cases} \quad (4)$$

(4) 对新的树状小波系数 DWD_i 进行相应的树状小波逆变换,即可得到融合后的图像.

具体采样哪种树状小波基进行分解目前国际上还没有合适的标准,本文采用的是 Daubechies 的 8-系数小波(效果不一定最优)^[1-3].

3 实验结果

本文对可见光与毫米波图像、可见光与红外图像分别进行了融合实验研究,图像融合结果的性能评价采用熵和交叉熵两个测度.图像的熵定义为

$$EN = - \sum_{i=1}^m p_i \ln p_i, \quad (5)$$

其中 p_i 为灰度等于 i 的像素数与图像总像素数的比,令 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_1, \dots, p_m\}$, $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_1, \dots, q_m\}$,则 P 与 Q 的交叉熵为

$$CEN(P,Q) = \sum_{i=1}^m p_i \ln(p_i/q_i), \quad (6)$$

交叉熵直接反映了两幅图像对应像素的差异,因此可以用来确定各种融合效果的优劣.设 CEN_1 和 CEN_2 分别为源图像与融合结果的交叉熵,则融合图像与两幅原始图像的总体交叉熵为

$$\overline{CEN} = \sqrt{(CEN_1^2 + CEN_2^2)/2}, \quad (7)$$

图2(a)和(b)分别为用于检查隐匿武器的可见光图像和毫米波图像^[2],从(b)中可以发现枪支的成像,通过图像融合的技术可以清楚地看出枪支藏匿在左起第3个人身上,分别采用金字塔形小波分解和树状小波分解进行融合,分解层数为3,树状小波

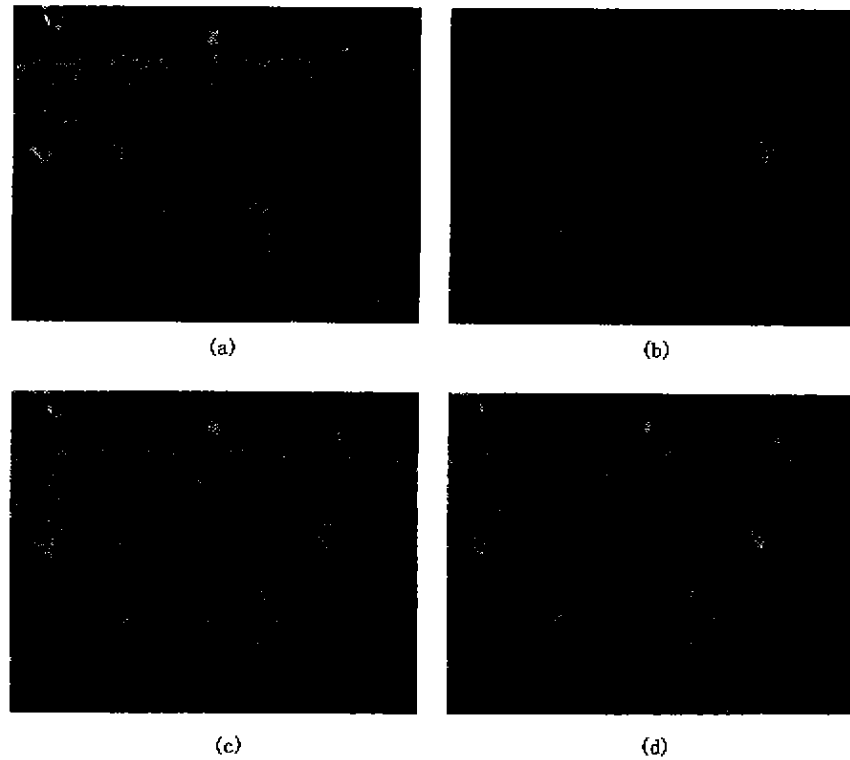


图 2 可见光图像与毫米波图像融合结果

(a) 可见光图像, (b) 毫米波图像, (c) 金字塔形小波分解的融合结果, (d) 树状小波分解融合结果

Fig. 2 Fusion results of visual image and millimeter wave image

(a) visual image, (b) millimeter wave image, (c) fused image by pyramid wavelet,

(d) fused image by tree-structure wavelet

分解的能量比例常数 c 为 $1/30$, 结果如图 2(c)~(d)所示, 分解结果的熵值和总体交叉熵如表 1 所示. 可以看出与基于金字塔形小波分解的结果相比, 基于树状小波分解的结果熵值较大, 交叉熵值较小, 即表明这种方法的融合结果携带的信息量较大, 与两幅源图像的差异较小.

图 3(a) 示出了某一场景的可见光图像, 图像背景是山和烟雾, 从中可以清晰地看出一部卡车. 图 3(b) 示出该场景的红外图像, 红外图像能够穿透烟雾拍摄, 从图中可以看出卡车和直升飞机的部分成像. 分别采用金字塔形小波和树状小波分解对图 3(a) 和

(b) 进行融合, 分解层数为 3. 树状小波分解的能量比例常数 c 为 $1/30$, 融合结果如图 3(c)~(d)所示. 融合结果中卡车和直升飞机清晰可辨, 仔细观察可以发现, 基于树状小波分解融合后的图像细节更为清晰.

4 结论

本文提出了基于树状小波分解的多传感器图像融合方法, 所提出的算法能够在一定的能量准则下, 自适应地根据图像的特征进行子带分解和融合. 实验结果表明, 树状小波分解能够得到比金字塔形小波分解更好的融合效果.

表 1 基于金字塔形小波分解和树状小波分解的图像融合结果的熵和交叉熵

Table 1 Entropy and cross entropy of fusion results obtained by pyramid wavelet decomposition and tree-structure wavelet decomposition

	可见光图像与毫米波图像		可见光图像与红外图像	
	金字塔形小波	树状小波	金字塔形小波	树状小波
熵	1.7529	1.9230	4.8970	5.0734
交叉熵	0.3012	0.2436	0.4354	0.4413

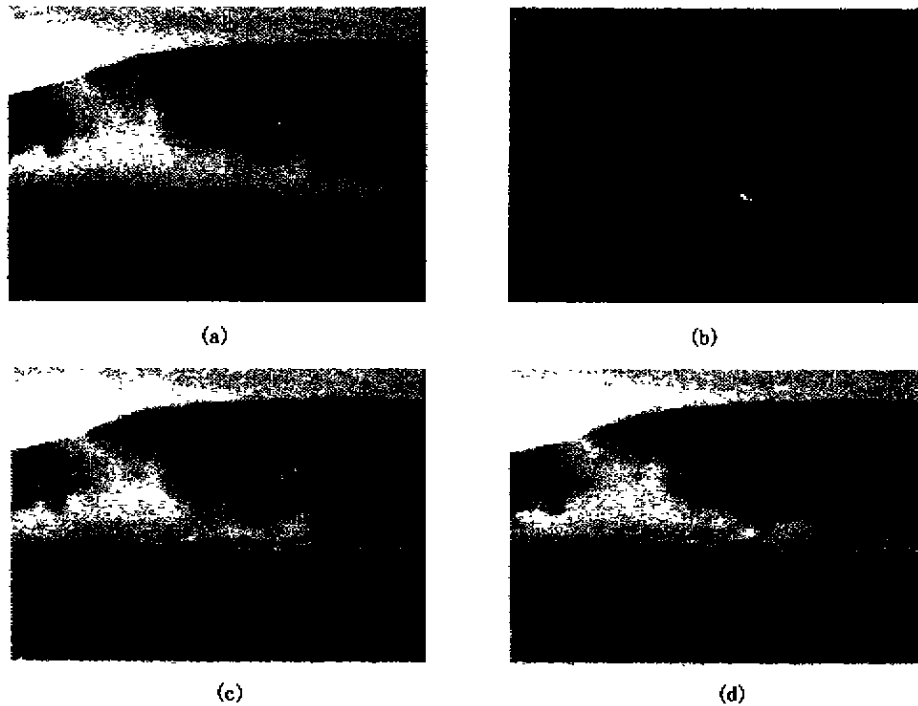


图3 红外与可见光图像的融合比较

(a) 可见光图像, (b) 红外图像, (c) 金字塔形小波分解的融合结果, (d) 树状小波分解融合结果

Fig. 3 Comparison of fused results of thermal infrared image and visual image

(a) visual image of some scene, (b) thermal infrared image of the same scene, (c) fused result by pyramid wavelet, (d) fused image by tree-structure wavelet

REFERENCES

- [1] Hall D L, Liras J. An introduction to multisensor data fusion. *Proc. IEEE*, 1997, **85**(1): 6—23
- [2] Varshney P K. Multisensor data fusion. *Electron. Commun. Eng. J.*, 1997, **9**(6): 245—253
- [3] Aggrawal J K. *Multisensor Fusion for Computer Vision*. Berlin; Springer-Verlag, 1993
- [4] Pohl C. Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and application. *Int. J. Remote Sensing*, 1998, **9**(5): 823—854
- [5] Burt P T, Loiczynski P J. Enhanced image capture through fusion. In: *Proc. of the 4th Internat. Conf. on Computer Vision*. Berlin, Germany, 1993. 173—182
- [6] WANG Li-Ping, SUN Shao-Yuan, ZHANG Bao-Min. Fusion technology of pseudorandom instantaneous laser assistant vision image and low light level image. *J. Infrared Millim. Waves* (王利平, 孙韶远, 张保民. 伪随机瞬态激光助视图像与常态微光图像融合技术研究. *红外与毫米波学报*), 1999, **18**(6): 455—459
- [7] Toet A, Van Ruyven L J, Valeton J M. Merging thermal and visual images by a contrast pyramid. *Opt. Eng.*, 1989, **28**(7): 789—792
- [8] Toet A. Hierarchical image fusion. *Machine Vision and Applications*, 1990, **3**(2): 1—11
- [9] Li H, Manjunath B S, Mitra S K. Multisensor image fusion using the wavelet transform. *Graphical Models and Image Processing*, 1995, **57**(3): 235—245
- [10] David A Y. Image merging and data fusion by means of the discrete two-dimensional wavelet transform. *J. Opt. Soc. A.*, 1995, **12**(9): 1834—1841
- [11] Zhang Z, Blum R S. A categorization of multiscale-decomposition-based image fusion schemes with a performance study for a digital camera application. *Proc. IEEE*, 1999, **87**(8): 1315—1326
- [12] Daubechies I. The lectures on wavelet. SIAM, *Technical Report/CBMS-NSF Lecture Notes*, 1992