

一种基于小波变换的图像融合新方法

李晓春, 陈 鲸

(西南电子电信研究所, 四川 成都 610041)

摘 要:图像融合是多传感器信息融合在图像处理领域的一个重要应用,以小波变换为工具是这一领域研究方法上的重大突破。在小波变换的基础上,对基于区域的融合算法进行了深入研究,提出了一种多光谱图像融合的新算法,并与其它几种算法进行了比较,仿真结果表明该算法简单,稳定性好,图像增强效果好,在图像增强中是一种比较可取的有效算法。

关键词:小波变换;金字塔数据结构;图像融合;图像增强

中图分类号:TN911.73 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2003)02-0055-04

图像融合是多传感器信息融合领域的一个重要分支^[1],它是指将来自同一目标的不同传感器的信息通过一定的算法融合到一幅图上,从而获得比在单幅图上更完整、更精确的信息。图像融合在军事(如军事侦察、识别伪装)和非军事(如医疗诊断、遥感、计算机技术等)领域得到广泛的应用。就遥感图像融合而言,目前大致分4种类型:多种分辨率的融合处理、多时相的融合处理、多种传感器类型的融合处理、多波段大容量的融合处理。本文研究的对象属于最后一种,即不同光谱获得的图像。

这里使用基于小波变换的塔式结构的优点是:小波变换具有紧豪性、正交性、很好的方向性,这使得小波变换可以很好地提取不同尺度上的显著特征,相对于高斯-拉普拉斯金字塔技术而言,不仅可以产生更好的融合结果,而且进行反向变换时稳定性更好;另外小波变换的塔式结构还使得不管原图像的长度是否2的幂次方,最终变换后的图像与原图像尺寸相同,这使得开发实用的并行算法系统成为可能。

本文正是基于这点,在对图像小波多分辨分解叙述的基础上,构造了一种图像融合算法,最后对算法进行了仿真,并对结果进行了分析。

1 图像的小波变换

定义 1 多分辨分解

设 $f_{j+1} \in V_{j+1}^2$, 由 $V_{j+1}^2 = V_j^2 \oplus W_j^2$ 可得,存在 $f_j \in V_j^2, g_j \in W_j^2$, 有 $f_{j+1} = f_j + g_j$

对于图像 $f(x, y)$ 而言,由文献[2]可得图像的 Mallat 二进小波的塔式分解为

$$f_{j+1}(x, y) = \sum_{k,m} C_{j,k,m} \phi_{j,k,m} + \sum_{\epsilon=1,2,3} \sum_{k,m} D_{j,k,m}^{\epsilon} \Psi_{j,k,m}^{\epsilon} \quad (1)$$

式中:

$$\begin{aligned} C_{j,k,m} &= \sum_{l,n} h_{l-2k} h_{n-2m} C_{j+1,l,n}; & D_{j,k,m}^1 &= \sum_{l,n} h_{l-2k} g_{n-2m} C_{j+1,l,n} \\ D_{j,k,m}^2 &= \sum_{l,n} g_{l-2k} h_{n-2m} C_{j+1,l,n}; & D_{j,k,m}^3 &= \sum_{l,n} g_{l-2k} g_{n-2m} C_{j+1,l,n} \end{aligned}$$

在图像小波分解的表达式中 $C_{j,k,m}, D_{j,k,m}^1, D_{j,k,m}^2, D_{j,k,m}^3$, 分别对应图像的低频子带及水平、垂直与对角线3个方向的高频子带, $C_{j,k,m}$ 为图像在 2^j 分辨率下的离散逼近, $D_{j,k,m}^1, D_{j,k,m}^2, D_{j,k,m}^3$ 为 2^j 分辨率下的离散细

收稿日期:2002-06-12

基金项目:军队科研基金资助项目(WQS004)

作者简介:李晓春(1974-),女,河南焦作人,博士生,主要从事遥感图像与模式识别研究;

陈 鲸(1940-),男,安徽怀宁人,教授,博士生导师,主要从事空间目标信息获取与处理研究。

节。 $\{h_k\}_{k \in z}$ 可看作低通滤波器系数, $\{g_k\}_{k \in z}$ 可看作高通滤波器系数, ϕ 为尺度函数, Ψ 为正交小波函数。 $\{\phi_{j,k,m} | k, m, \in z\}$ 构成 V_j^2 的规范正交基, $\{\Psi_{j,k,m} | j, k, m, \in z\}$ 构成 W_j^2 的规范正交基。

另外,通过小波分解,除了低频子带都是一些正的变换值外,其它的3个高频子带都包含了一些在零附近的变换值,在这些子带中,较大的变换值对应着亮度急剧变化的点,也就是图像中的显著特征,如边缘、亮线及区域轮廓。既然小波变换具有很好的空域及频域局部性,融合的效果就是:对来自同一目标的两个不同传感器所获解的图象A和B,融合前在图象A中若比图象B中显著,融合后图象A中的目标就被保留,图象B中的目标就被忽略;对不同的场景,比如图象A中的目标的外部轮廓比较明显,图象B中目标的内部轮廓比较明显,这种情况,图象A、B中目标的小波变换系数将在不同的分辨率水平上占统治地位,从而在最终的融合图像中,图象A中的外部结构与图象B中的内部结构都被保留。因此通过融合可以实现在单幅图像上的片面的、不完整、不精确的信息得到更一致更精确的体现。

最后对组合后的变换系数进行反向小波变换,就可得到融合后的图像。基于小波变换的图像融合的方框图如图1所示。

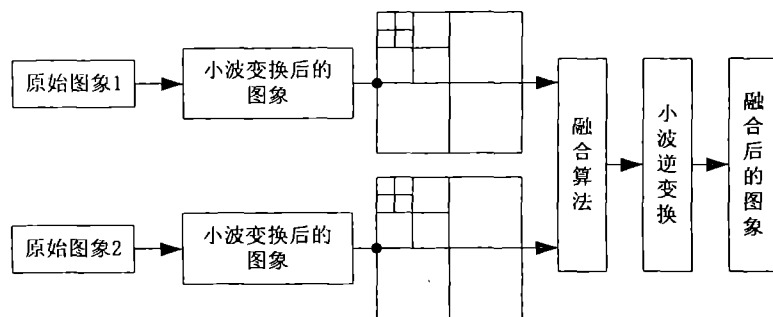


图1 基于小波变换的图像融合框图

2 基于区域的图像增强算法

在图像的融合算法中,图像不同,图像的数据表征不同,融合算法也各不相同,目前采用的融合方法主要有^[3]:基于像素的代数组合法、统计/数值法以及与颜色有关的技术。但是我们知道图像中的有用特征通常大于1个像素,因此基于像素的选择方法可能不是最适合的,近几年又提出了基于区域的选择方法,比较具有代表性的是文献[4]中提出的基于区域的均值选择法,该方法用一 $M \times N$ 的窗口对图像块进行求方差运算,计算结果作为与窗口中心像素对应的一种度量方法,中心像素的选择方法为:如果两幅图像方差在对应位置上的度量值相近,取2者的均值作为输出的新值,否则取较大的值作为输出。文献[5]中提出利用不同的特征选择算子,有方向的计算对应细节图像的局域能量,由局域能量构造匹配度及加权因子,从而对图像进行加权运算。这里以均值、方差、相关等统计参量构造一种新的区域融合算法。以下计算以两幅图像为例,对3幅以上的图像融合算法与此类似,具体步骤如下:

首先,利用 $M \times N$ (一般选 M, N 为奇数,常用的窗口为 3×5 或 5×5) 窗口计算小波分解各子带系数的均值和方差,子带中以 (x, y) 位置为中心的区域均值与方差分别为

$$m_i(x, y) = \frac{1}{M \times N} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N f_i(x + m - \frac{M+1}{2}, y + n - \frac{N+1}{2}) \quad (2)$$

$$\sigma_i^2(x, y) = \frac{1}{M \times N} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (f_i(x + m - \frac{M+1}{2}, y + n - \frac{N+1}{2}) - m_i(x, y))^2 \quad (3)$$

图像1以 (x, y) 位置为中心与图像2对应区域的协方差为

$$\beta^2(x, y) = \frac{1}{M \times N} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (f_1(x + m - \frac{M+1}{2}, y + n - \frac{N+1}{2}) - m_1(x, y)) \times (f_2(x + m - \frac{M+1}{2}, y + n - \frac{N+1}{2}) - m_2(x, y)) \quad (4)$$

构造匹配度 ρ 及加权系数 W : $\rho = \frac{\beta^2}{\sigma_1 \sigma_2}$; $W_{\max} = 1 - \frac{1}{2}\rho$; $W_{\min} = 1 - W_{\max}$

然后,利用下式对两幅图像中的对应子带像素进行融合计算

$$f(x, y) = W_{\max} \cdot \text{MAX}(f_1(x, y), f_2(x, y)) + W_{\min} \cdot \text{MIN}(f_1(x, y), f_2(x, y)) \quad (5)$$

这里 $f_1(x, y), f_2(x, y)$ 是上述对应窗口中心位置的两幅图像的像素灰度值。这样就完成了 2^j 分辨率下

的数据融合,最后对融合后的子带系数进行反变换就可得到融合后的图像。

3 实验及结果分析

实验中使用的数据与文献[5]相同,实验结果如图 2 所示。目标是草地上的迷彩服,图 2(a)和(b)分别是采用普通黑白 CCD 摄像机配滤光片获得的两幅可见光图像,这里选择图 2(a)和(b)进行实验,目的是使原始图像中图像特征的灰度明显不同,增加图像融合的难度。

图 2(c)是采用本文方法融合后的结果。从图可以看出,2 幅原始图像中的明显特征同时在融合图像中得到体现。

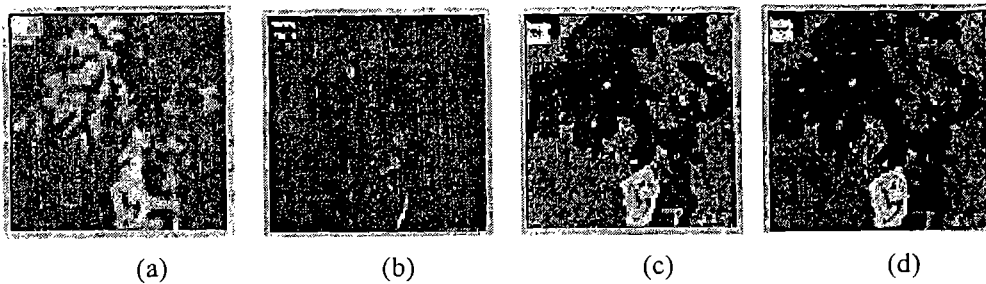


图 2 采用本文方法对 2 幅图像融合的结果

为进行比较,对文献[4~5]中的算法也进行了仿真,图 3(a)是使用文献[4]中算法得到的结果,图 3(b),(c)与(d)是采用文献[5]中算法得到的结果,图 3(b)是不采用方向性算子时的结果,图 3(c)是采用文献[6]中 Prewitt 算子时的结果,图 3(d)是采用文献[6]中 Kirsch 算子时的结果。经比较可知:文献[4]中基于区域的均值法在这里仍然可以得到较好的结果,而且处理时间最快,但简单的局部平均使图像模糊,特别是黑白交界处轮廓变得不清楚;本文所提的方法由于视不同图像像素贡献的大小进行适当的加权运算,更能体现两幅图像中的明显特征,处理的时间仅次于基于区域的均值法;文献[5]中基于方向特征选择算子的方法,虽然思想很好,而且在文献[5]中确实效果也很好,但算法可移动性较差,对不同的图像而言,如果方向特征选择算子与阈值选择不合适,算法不仅可能得不到满意的结果,而且有时可能失效,另外有时还需对融合后的子带图进行比例变换和量化,算法比较繁琐,花费的时间也最长。

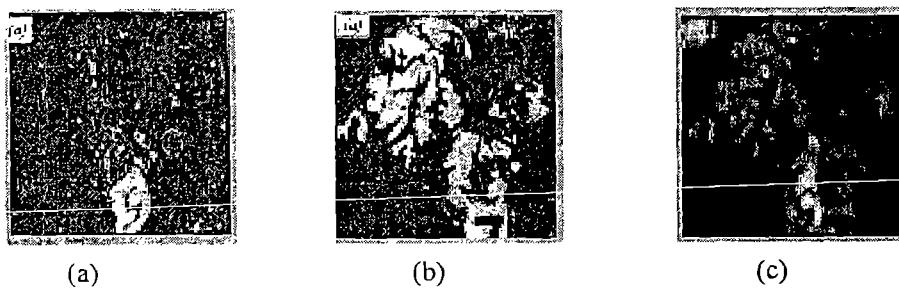


图 3 采用文献[4~5]中算法对 2 幅图像融合的结果

表 1 是在主频为 1.8 GHz 的计算机上对图 2(a)、(b)的原始图像(尺寸为 238 × 246)使用各融合算法的计算时间。

表 1 各融合算法的时间比较

融合算法	窗口尺寸	计算时间(S)
文献[4]方法	3 × 3	23
	5 × 5	50
文献[5]方法	3 × 3	32
	5 × 5	72
本文方法	3 × 3	26
	5 × 5	62

图4是3幅图像的融合结果,图4(a)是摄像机得到的一幅红外图,将上面得到的融合结果(图2(c))与图3(a)进行进一步的融合计算,图4(b)是利用文献[4]方法得到的3幅图像的融合结果,图4(c)是本文方法得到的融合结果。由图可见,在3幅图像的融合中,利用文献[4]方法增强后的图像模糊性越来越严重,这对目标的检测是不利的;利用本文所提方法,3幅图像的特征在融合图像中得到了较好的体现,相对于其它两种算法而言,本文所提方法算法稳定,对图像的增强效果也较好,对其它多幅图像的仿真也表明该算法是有效的。

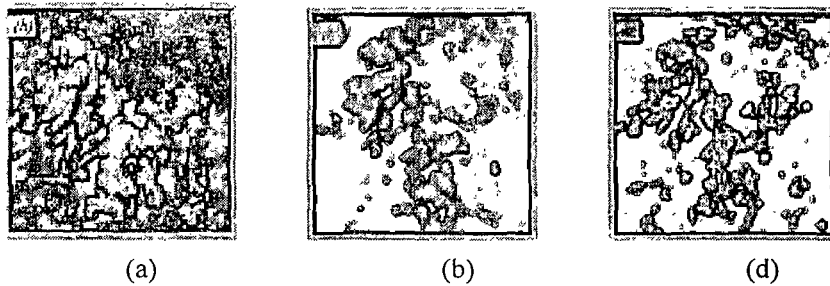


图4 采用文献[4]与本文算法对3幅图像融合结果的比较

4 结束语

本文在小波变换的基础上提出了一种基于区域的图像融合算法,实现了多光谱图像的增强。并将其与现存的方法进行了比较,结果表明该算法简单,稳定性好,图像增强效果明显,在图像增强中是一种比较可取的有效算法。当然就目前的文献来看,关于图像融合算法的定量的性能评价方法还很少,对融合结果大部分还是基于视觉的观点进行评价的。因此如何开发兼有稳健性与准确性的融合算法,满足融合系统的实时性要求,仍是图像融合研究的一个热点,另外如何对融合后的图像提出有效的评价标准也是非常重要的。

参考文献:

- [1] 曾安军,陈京.多传感器数据融合的理论、方法和应用[J].电信技术研究,1999,(1):1-8.
- [2] 李弼程.小波分析与应用讲义[M].郑州:信息工程大学,2001.
- [3] POHL C,VAN GENDERENJ L. Multisensor image fusion in remote sensing : concepts, methods and applications[J]. INTJREMOTE SENSING,1998,19(5):823-845.
- [4] Li H MANJUNATH B S,MITRA S K. Multisensor Image Fusion Using the Wavelet Transform[J]. GRAPHICAL MODELS and IMAGE PROCESSING,1995,57(3):235-245.
- [5] 蒋晓瑜,高稚允.小波变换在多光谱图像融合中的应用[J].电子学报,1997,(8):105-109.
- [6] RANDY CRANE. A Simplified Approach to Image Processing[M]. Prentice Hall PTR,1997.
- [7] 薛晓暄,郭春良.小波域分形压缩方法的改进[J].空军工程大学学报(自然科学版),2001,2(4):58-61.

(编辑:门向生)

The Research of Multispectral Image Fusion Algorithm Using Wavelet Transform

LI Xiao - chun, CHEN Jing

(Southwest Electrical Telecommunication Institute ,393 Mail Box B06 ,Chengdu ,Sichuan 610041 ,China)

Abstract: Image fusion is an important application in the field of image processing using multisensors information , and taking wavelet transform as a tool is a great breakthrough in research method of this field. On the basis of wavelet transform , the paper proposes a kind of multispectral image fusion algorithm after the study of area - based selection rule , and compares this algorithm with other algorithms in existence . The results show that this algorithm is not only simple and of high stability but effective in image enhancement , therefore it is a advisable algorithm in image enhancement.

Key words: wavelet transform; pyramid data structure; image fusion ; image enhancemen