

基于特征级数据融合的遥感图像重构模式研究

付 炜

(燕山大学信息学院通信与电子工程系, 河北秦皇岛 066004)

摘 要: 基于图像特征级数据融合的遥感图像重构是在突出目标地物的空间结构和纹理特征情况下的信息融合. 本文在数字图像小波多分辨率分析理论上, 采用小波变换方法对高分辨率遥感图像的目标地物边缘进行信息增强, 然后与多光谱遥感图像进行特征信息融合. 在融合过程中, 首先对多光谱图像中的 R、G、B 三个波段的图像进行小波分解, 得到相应的低频图像, 然后对特征增强后的高分辨率图像进行小波分解, 再将分解后的高频图像分别与低频图像进行融合, 最后经 RGB 合成为彩色图像. 该方法既改善了图像的清晰度和分辨率, 同时也保留了原图像的光谱信息. 本文最后通过融合实验验证了上述结论.

关键词: 小波变换; 特征融合; 边缘增强

中图分类号: TP752. 4 文献标识码: A 文章编号: 0372-2112(2005)06-1143-03

Research on Model of Remote Sensing Image Rebuilding Based on Feature Level Data Fusion

FU Wei

(Department of Communication & Electronic Engineering of Information Institute, Yanshan University, Qinhuangdao, Hebei 066004, China)

Abstract: Remote Sensing(RS) image rebuilding based on image feature level data fusion is a kind of image data fusion that is a sort of approach based upon spectral structure and texture feature of the objects. This paper presents feature fusion approach after enhancing remote sensing image edge with wavelet's multiresolution analysis, and largely improve image's definition and resolving power. In the fusion process, instead of using the conventional HIS Wavelet fusion, the author used low frequency parts of the R、G、B bands of the multispectral image which is decomposed by the wavelet and high frequency parts of the high resolution image which is also decomposed by the wavelet to process the image fusion separately, and finally the new fusion image is composed by the new R、G、B bands. In this way, the author not only improves the definition and resolution of the multispectral image, but also retains the color feature which is important for multispectral fusion. At last the author validates the conclusion mentioned above with an experiment.

Key words: wavelet transform; feature fusion; edge enhancement

1 引言

遥感(Remote Sensing, RS)图像融合是指将不同传感器获得的同一区域的不同空间分辨率图像的信息融合在一起, 并利用它们在时空上的相关性及信息熵的互补性来获得对地表景物更全面、清晰的描述, 以便于遥感图像的解译与分析.

遥感图像融合分为三个层次: 基于像素级融合、基于特征级融合和基于知识和影像理解的决策层融合. 像素级融合是在图像配准条件下, 进行像素与像素之间的融合, 以增加图像中有用信息成分, 提高图像解译效果. 特征级融合是使用参数模板、统计分析、模式相关等方法进行几何关联和特征提取, 以突出目标物体的主要特征的融合方法. 基于知识和影像理解的决策层融合, 主要是基于认知模型的方法, 采用数据库和专家判决系统模拟人的分析、推理、判决过程, 对多源遥感图像信息进行智能化

识别与理解, 并在此基础上进行图像识别.

目前特征级图像融合有多种方法, 如 HIS 小波变换等. 本文提出了一种基于图像特征的遥感图像新的融合方法, 该方法利用一幅高分辨率遥感图像和一幅多光谱遥感图像进行融合. 首先采用小波变换方法对高分辨率遥感图像进行边缘增强, 主要是通过小波变换后的图像三个高频系数加权获得. 在此基础上分别利用多光谱遥感图像的 R、G、B 三个波段与高分辨率边缘增强后的图像进行融合, 最后再通过 RGB 三个波段合成最终的彩色融合图像. 该方法与 HIS 小波变换不同, HIS 小波变换需要将多光谱低分辨率图像由 RGB 空间变换到 HIS 空间(色调、饱和度、亮度), 再对高分辨率图像边缘进行增强处理, 以突出其特征信息. 然后将边缘增强后的高分辨率图像与 HIS 空间的 I 分量进行融合, 最后由 HIS 反变换到 RGB 空间获得融合后图像. 比较两种方法得到的融合后

图像可以发现,本文提出的方法一方面在融合过程中增加了多光谱遥感图像的空间分辨率和地物的边缘特征,同时也很好地保持了原多光谱图像的色调和色彩,并且避免了HIS小波变换中颜色失真问题.本文从边缘特征增强、RGB合成方法和实验结果分析比较三方面对该方法进行讨论.

2 高分辨率遥感图像边缘增强

遥感图像增强是为了突出图像中的某些信息(如强化图像高频分量,可使图像中地物轮廓清晰,细节明显),同时抑制或去除某些不需要的信息来提高遥感图像质量的处理方法.遥感图像增强可以改善图像质量,突出图像中目标地物的影象特征,使之更适于人的目视解译与分析.

2.1 遥感图像增强

在图像增强之前首先将融合前的多光谱遥感图像和高分辨率灰度图像进行几何配准,然后对低分辨率多光谱图像进行插值处理,以使待融合图像具有统一的制图比例尺.

本文采用小波变换方法对高分辨率遥感图像边缘进行增强处理,以突出它的边缘轮廓细节特征.由于小波基函数是有限宽度的,而且在频率域和空间区是可变换的,所以小波变换能有效地增强影象边缘特征,同时可有效地消除噪声对影象边缘的影响,对各尺度下的细节图像进行噪声抑制,以减少噪声对影象边缘特征的影响.抑制噪声方法的基本出发点为:在含噪声影象的小波分解细节图像上,一般影象边缘在小波的不同尺度都具有相对不同的能量,而噪声的能量随着尺度的增大而相对减小,因此可以分别对每个通道分量进行不同的阈值处理,这样既达到抑制噪声的目的,又不至于由于采用相同的阈值而丢掉细节信息.该方法解决了一些边缘增强方法中由于灰度值溢出而使影象失真的问题.本文采用基于小波多分辨分析的理论^[1,2],利用小波变换方法进行影象的边缘增强.本实验构建了下述模型对遥感图像进行二维小波分解重构:

设任意 $L^2(R^2)$ 空间二维信号 $f(x, y) \in \tilde{V}_0$, 尺度空间满足 $\tilde{V}_{j-1} = \tilde{V}_j \otimes \tilde{W}_j^x \otimes \tilde{W}_j^y \otimes \tilde{W}_j^z$, 则有分解方程:

$$f_{k,m}^{j-1} = f_{i,l}^j + \alpha_{i,l}^j + \beta_{i,l}^j + \gamma_{i,l}^j \quad (1)$$

式(1)中, j 代表尺度, k, m 代表两个方向的位移.令 h_0 和 h_1 分别为小波变换的低通滤波器和高通滤波器,二维图像多分辨分析快速分解算法可表示为:

$$\begin{cases} f_{i,l}^j = \sum_{k,m} h_0(k-2i) h_0(m-2l) f_{k,m}^{j-1} \\ \alpha_{i,l}^j = \sum_{k,m} h_1(k-2i) h_0(m-2l) f_{k,m}^{j-1} \\ \beta_{i,l}^j = \sum_{k,m} h_0(k-2i) h_1(m-2l) f_{k,m}^{j-1} \\ \gamma_{i,l}^j = \sum_{k,m} h_1(k-2i) h_1(m-2l) f_{k,m}^{j-1} \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中 $f_{i,l}^j$ 表示小波分解第 j 层上的低频系数,它体现影象的逼近部分,即影象的主要信息部分, $\alpha_{i,l}^j, \beta_{i,l}^j, \gamma_{i,l}^j$ 分别表示小波分解第 j 层上的三个高频系数,他们分别体现图像的垂直方向、水平方向、对角线方向的影象边缘纹理细节部分.

2.2 遥感影象的小波变换边缘增强

本文采用 Daubechies-8 紧支撑正交小波对遥感影象的边

缘进行增强,其方法如下:

(1) 对高分辨率图像 F 进行小波分解:

$$F = LL_4 + \sum_{i=1}^4 (HL_i + LH_i + HH_i) \quad (3)$$

式(3)中,小波分解4层, LL_4 为第四层低频系数, LH_i, HL_i, HH_i 分别代表小波分解每层的三个高频系数,即水平方向、垂直方向、对角线方向的细节信息部分.除了低频系数为正值外,其他细节影象系数均在零值左右摆动.其中幅度较大的位置对应于图像的灰度突变处,即对应着地物纹理、线状地物和区域的边界等显著特征,通过三个高频系数加权的方式进行小波边缘影象增强.

$$(2) \text{ 计算 } \rho_i: \rho_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N HL_{ij} + LH_{ij} + HH_{ij} \quad (4)$$

式(4)中, ρ_i 是第 i 层高频系数均值, N 是第 i 层每个高频系数的个数.

(3) 计算第 i 层去噪的阈值 $k\rho_i$, 其中 $0 < k < 1$, 这样就能根据噪声分布的各层特点确定不同的噪声阈值.

(4) 对于 $LH_i, HL_i, HH_i, i = 1 \sim 4$, 依次比较各点与阈值的大小,凡是小于阈值的认为是噪音,将灰度值置为0,大于阈值的认为是影象边缘特征,将灰度值置为原值的 l_i 倍, $1 < l_i < l_{i-1}$ 这样即可得到去噪和影象边缘增强后的 HL'_i, LH'_i, HH'_i .

(5) 图像重构 F' :

$$F' = LL_4 + \sum_{i=1}^4 (HL'_i + LH'_i + HH'_i) \quad (5)$$

通过上述二维小波分解重构步骤,可以得到经过边缘增强后的高分辨率遥感图像.

3 RGB小波融合方法

RGB空间中遥感图像的色彩信息与三个R、G、B通道的耦合性较强,即R、G、B中任一分量的改变都将改变遥感图像的色彩信息.因此,遥感图像融合中常将RGB空间变换到HIS空间中,在HIS空间中遥感图像的色彩信息主要体现在色调H和饱和度S上.从视觉特点上分析,强度I的改变对遥感图像的色彩信息影响较小,便于处理,它能够突出目标的光谱特性,但是HIS变换的颜色偏差往往不能满足忠实反映原多光谱图像光谱特征的要求.

鉴于以上情况,为减少遥感图像融合前后的颜色差别,本文采用RGB颜色模型与小波变换结合的方法进行遥感图像的融合.利用某地区的10m分辨率多光谱图像与一幅2.5m高分辨率灰度图像进行图像融合,旨在保持原多光谱图像的光谱特征.融合实验方法如下:

(1) 将多光谱图像D和高分辨率灰度图像进行融合前的预处理后,将10m分辨率多光谱图像按RGB模型分成R、G、B三个波段,分别对三个波段进行小波分解:

$$\begin{cases} \text{Band}_R = LL_{R4} + \sum_{i=1}^4 (HL_{Ri} + HL_{Ri} + HH_{Ri}) \\ \text{Band}_G = LL_{G4} + \sum_{i=1}^4 (HL_{Gi} + HL_{Gi} + HH_{Gi}) \\ \text{Band}_B = LL_{B4} + \sum_{i=1}^4 (HL_{Bi} + HL_{Bi} + HH_{Bi}) \end{cases} \quad (6)$$

(2) 对边缘增强后的 2.5m 分辨率灰度图像 F' 进行小波分解:

$$F' = LL_4 + \sum_{i=1}^4 (HL_i + LH_i + HH_i) \quad (7)$$

式(7)中, i 表示分解层数, 本文分解为四层.

(3) 图像融合: 取 $Band_R$, $Band_G$, $Band_B$ 分解后的低频系数即 LL_{R4} , LL_{G4} , LL_{B4} , 它们体现了多光谱图像的主要信息, 将其与高分辨率图像 F' 的三个高频系数也就是体现边缘增强后影像的边缘细节部分 ($\sum HL_i$, $\sum LH_i$, $\sum HH_i$) 进行小波合成, 其公式如下:

$$\begin{cases} Band_R = LL_{R4} + \sum_{i=1}^4 (HL_i + LH_i + HH_i) \\ Band_G = LL_{G4} + \sum_{i=1}^4 (HL_i + LH_i + HH_i) \\ Band_B = LL_{B4} + \sum_{i=1}^4 (HL_i + LH_i + HH_i) \end{cases} \quad (8)$$

对得到的三个波段图像采用 R、G、B 三通道合成, 即可获得融合后的图像 D' .

4 实验结果及评价

实验所用的原始图像为 2.5m 分辨率遥感图像(见图 1, 图像尺寸为 512×512)和经插值后的多光谱遥感图像(见图 2, 图像尺寸 512×512). 采用本文方法得到的融合后图像见图 3. 作为对比, 采用 HIS 小波变换方法融合后获取的图像见图 4.

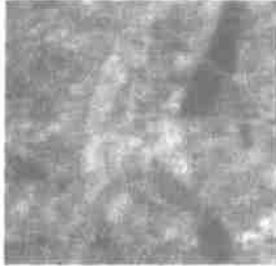


图 1 2.5m 分辨率原始图像 图 2 10m 分辨率多光谱原始图像



图 3 基于 RGB 与小波变换的融合图像

图 4 基于 HIS 与小波变换的融合图像

基于多光谱图像融合的目的不同, 要达到的效果也不同. 由于不同类型的图像反映的特征不同, 即使融合方法相同, 融合的效果也不尽相同, 而不同的融合方法又会使图像产生不同的适用性. 为定量评价本文方法的优劣性, 这里采用清晰度、空间频率、信息熵、小波能量、偏差度 5 个指标对图 3 基于 RGB 与小波变换获取的融合图像和图 4 基于 HIS 小波变换获取的融合图像进行比较. 其融合图像效果比较情况见表 1, 其中表 1 中偏差度都是融合后图像与原多光谱图像比较后得到的.

表 1 融合图像效果评价表

比较内容 \ 评价因子	清晰度	空间频率	信息熵	偏差度	小波能量
本文方法融合图 3	78.6037	12084.2	6.50085682809	85.7499	96.4313
HIS 小波融合图 4	76.6795	11180.3	6.52089489133	81.8855	54.7902

从评价指标来看, 清晰度反映图像模糊程度及图像中微小细节反差与纹理变化特征, 灰度级变化率越大, 清晰度也越大; 空间频率反映了一幅图像的空间域的总活跃程度, 从这两个指数来看本文方法要比 HIS 小波融合方法高; 信息熵表示图像的平均信息量, 偏差度则反映融合前后图像间灰度变化程度, 从这两个指标看本文方法却略低于 HIS 小波融合方法. 而小波能量有时更能反映图像的分辨率及清晰度, 所以从两幅融合结果图像的小波能量来看, 本文方法的效果高于 HIS 小波变换的结果. 从总体评价结果来看, 本文方法不但提高了多光谱遥感图像的空间分辨率, 也提高了地物影像边缘的清晰度, 而且在保持原多光谱图像的颜色特征上, 特别是从视觉效果上看好于 HIS 小波融合.

参考文献:

- [1] S Mallat. A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation [J]. IEEE Trans Patt Anal Machine Intell, 2002, 7(4): 674- 693.
- [2] Martin Wavelet, Filter Banks. Theory and design [J]. IEEE Trans Signal Processing, 2004, 40(6), 2207- 2232.

作者简介:

付 炜 男, 1949 年生于山东青岛, 燕山大学信息学院通信与电子工程系教授, 博士, 博导, 新疆大学电子科学与信息工程学院兼职教授. 1992 年 6 月毕业于北京大学资源环境遥感与地理信息系统应用研究所, 获理学博士学位, 主要从事遥感、资源环境信息系统与计算机信息处理的科研与教学工作, 发表科研论文 80 余篇, 科研专著一部. E-mail: xyweifu@sina.com.