

基于小波变换的多源遥感数据融合方法研究

牟凤云¹, 朱博勤², 贺华中¹

(1. 武汉大学资源与环境科学学院, 武汉 430079; 2. 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101)

摘要: 以北京亚运村 TM 和 QuickBird 图像为数据源, 根据 Mallat 小波算法, 结合 HIS 数据融合理论, 提出了基于小波局部高频替代融合法。该方法使融合图像既具有高空间分辨率图像的结构信息, 又保持了多光谱图像的光谱特征, 提高了多光谱图像的分类精度和量测能力。

关键词: 图像融合; 小波变换; HIS 变换; Mallat 算法; 局部高频替代融合法

中图分类号: TP 75 文献标识码: A 文章编号: 1001-070X(2003)04-0030-05

0 引言

随着多种遥感卫星的成功发射, 从不同遥感平台获得不同空间分辨率和时间分辨率的遥感图像形成了多级多分辨率的图像金字塔序列, 给遥感用户提供了从粗到精、从多光谱到细分光谱段的对地观测数据源, 这是现代遥感技术的特点。面对如此巨大的不同尺度、不同光谱、不同时相的图像数据, 如何充分利用尚是一大难题。而如何充分融合这些已有资源, 为遥感图像研究者和用户提供更丰富和更有用的信息, 是目前遥感应用中一个非常有意义的研究课题。

图像融合技术的发展大体可以分为 3 个阶段:

(1) 简单的图像融合方法。主要是针对图像通道, 利用一些如替换、算术等简单的方法来实现。应用较广的有 RGB 假彩色合成、HIS 彩色变换、PCA 主分量变换、分量置合法、Lab 变换融合法、线性复合与乘积运算法、比值运算融合法及 Brovey 变换融合法等, 这些方法简单易行, 在不同的领域得到应用。

(2) 80 年代中期, 随着塔式算子的提出, 在融合领域也出现了一些较为复杂的模型。塔式算法的基本思路是: 首先, 把原始图像进行塔式分解, 在不同的分解水平上对图像进行融合; 然后, 再通过塔式反变换来获得融合图像。

(3) 进入 90 年代, 小波变换应用到图像融合领域, 用小波变换的多尺度分析替代塔式算法。小波变换作为一种新的数学工具, 它是介于函数的时间

域(空间域)和频率域之间的一种表示方法。它在时间域和频率域上同时具有良好的局部化性质, 它能够将一个信号分解成信号对空间和时间的独立部分, 同时又不丢失原信号所包含的信息, 并且可以找到正交基, 实现无冗余的信号分解。

上述融合方法各有优缺点, 已有文献都进行过详细描述, 这里就不再陈列。本文主要综合 HIS 融合方法和小波变换方法来进行研究。

1 遥感图像融合及其原理

遥感数据的融合是指采用一种复合模型结构, 将不同传感器提供的图像数据加以综合, 以获取高质量的图像信息, 同时消除多传感器信息间的冗余和矛盾, 加以互补, 降低其不确定性, 减少模糊度, 以增强图像中信息清晰度, 改善解译精度、可靠性和使用率, 以形成对目标相对完整一致的信息描述^[1]。

遥感图像数据融合的主要任务概括为两个方面: 通过多种传感器数据处理过程增进对目标的解读; 通过相同传感器系列数据处理, 克服单一波段对目标识别的不确定性^[2]。

1.1 HIS 融合法

HIS 融合法在多传感器像元融合方面应用较广, 最早由 Haydan 等人(1982)提出。该方法可以对一幅低分辨率 3 波段图像与一幅高分辨率单波段图像进行融合处理: 首先, 这种方法将 3 个波段中低分辨率数据通过 HIS 变换到 HIS 空间, 同时将单波段高分辨率图像进行对比度拉伸, 以使其灰度的均值

和方差与 HIS 空间中亮度分量图像一致;然后将拉伸过的高分辨率图像作为新的亮度分量代入 HIS 反变换,还原到原始空间中。这样获得的高分辨率彩色图像既具有较高空间分辨率,又具有和该原图像相同的色度与饱和度,有利于目视判读和计算机自动化处理。

1.2 基于小波变换的图像融合法

采用离散二进小波变换的塔式算法,可将两幅待融合的图像分解成多级小波系数图像。融合在每一级小波系数图像上进行,最后通过小波逆变换由每一级的融合图像生成最终的融合结果。一般准则有基于像元的,也有基于特征的。基于像元的准则是取对应点灰度绝对值的最大值。因为小波具有紧支性、正交性和提供方向信息的能力,所以从小波系数图像上提取特征是很有效的^[2]。

1.2.1 小波分析基础

小波分解方法是指把图像按照局域频率成分分解成多个通道^[3]。小波变换提供了基本框架,由于把图像分解成一系列新图像,其中各个新图像具有不同的分辨率。

小波是一个满足条件 $\int_R \Psi(x)dx = 0$ 的函数 Ψ 通过平移和伸缩而产生的一个函数簇 $\Psi_{a,b}$,即

$$\Psi_{a,b}(x) = |a|^{-1/2} \Psi\left(\frac{x-b}{a}\right) \quad a, b \in R; a \neq 0 \quad (1)$$

式中 a 为伸缩因子; b 为平移因子。 Ψ 称为基本小波。对于任意的 $f \in l^2(R)$,若 $\Psi \in l^2(R)$,则给出如下定义:

(1) f 的连续小波变换定义为

$$\phi(f)\chi(a,b) = \int_R \overline{\Psi_{a,b}(t)} f(t) dt \quad (2)$$

其中 $\overline{\Psi_{a,b}(t)}$ 表示 $\Psi_{a,b}(t)$ 的共轭函数。

(2) f 的离散小波变换定义为

$$\phi(f)\chi(a,b) = |a|^{-1/2} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \phi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (3)$$

其中 $\phi\left(\frac{t-b}{a}\right)$ 为函数基。每一个基函数都是母函数 ϕ 经过缩放和变换后的版本。这些基函数满足

$$\int \phi\left(\frac{t-b}{a}\right) = 0 \quad (4)$$

1.2.2 Mallat 小波算法

小波变换的离散实现有几种不同的算法。Mallat 算法使用正交基,是最受欢迎的一种算法。但是,这种变换不具备移不变性,这使其不适用于信号分

析、模式识别及数据融合等领域。为了获得具有移不变性的图像离散小波变换,使用“分叉”离散小波变换算法把图像分解成一系列小波面。对于给定图像 p ，“交叉”算法利用缩放辅助函数求得的滤波器相继进行卷积,从而构建相似序列^[4]

$$F_1(p_0) = p_1, F_2(p_1) = p_2, \dots \quad (5)$$

卷积核为

$$\frac{1}{256} \begin{bmatrix} 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 6 & 24 & 36 & 24 & 16 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 1 & 4 & 16 & 4 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

计算所得的 Wavelet Plane(小波面)作为两相继连续的相似图像 p_{l-1} 和 p_l 之间的插值。令

$$w_l = p_{l-1} - p_l \quad (7)$$

式中 w_l 代表多分辨率小波面; p_l 是原始图像 p 进行缩放(减小分辨率)操作所得到不同版本; $l=1, 2, \dots, n$; $p_0 = p$ (p 为原始图像)。重构公式如下

$$p = \sum_{l=1}^n w_l + p_r \quad (8)$$

式中 p_r 表示图像的剩余部分。图像 p_0 分辨率与图像 p_1 分辨率的关系倍数取决于采用几元分解方法。

多分辨率分析和小波变换是有机结合在一起的。小波变换用于图像处理是小波应用效果比较突出的领域之一。由于图像信号是二维信号,因此,需要把小波变换由一维推广到二维。多分辨率分析也是如此。二维图像信号的小波变换可以分成 X 和 Y 两个方向的一维小波变换,即先沿 X 方向分别用 x 和 $\psi(x)$ 做分析,把 $f(x,y)$ 分解成概貌和细节两部分,然后再沿 Y 方向分别用 y 和 $\psi(y)$ 做类似的分析。这样得到的 4 路输出经 x, y 处理得到 $f(x,y)$ 的二维概貌,其余 3 路输出分别为 X 方向、 Y 方向和对角线 XY 方向的小波细节函数。

基于小波变换的多分辨率分析是一种崭新的时域/频域信号分析工具。图像经小波变换后生成一组相关分辨率的可视图像,每一小波面的系数在零值左右摆动,绝对值较大的系数对应于亮度突变之处,即对应于原始图像中的显著特征(如边缘、线、区域边界等)。我们很容易地找到小波面系数和原始图像内容在空间和频率域两方面的对应关系。因此,将高分辨率图像经小波分解得到的各小波面叠加到低分辨率多光谱图像中,从而提高了多光谱图像的空间分辨率,同时又保持了多光谱图像的光谱

信息,这便是基于小波变换融合的基本思想。

2 小波局部高频替代法

标准小波变换融合方法存在两个问题^[5],一是由于标准小波变换模型相当于一个高通和低通滤波器,所以 TM 图像的低频图像替代 QuickBird 低频图像进行小波反变换的结果必然会引起 TM 图像原有信息的丢失;二是由于 TM 和 QuickBird 图像时相差很大,它们之间的像元灰度值也明显不同,该结果图像会引起 TM 图像光谱信息的改变,甚至导致噪声的出现。

针对标准小波变换模型的上述问题及 HIS 变换融合产生光谱退化现象的情况,本文尝试将小波的多分辨率分析与 HIS 变换相结合,采用一种新的方法:小波局部高频替代融合法。小波分解图像是原始图像经过一系列二进变换后所得到的连续不同分辨率的小波面。高分辨率全色图像的第一个小波面就具有多光谱图像所不具备的空间信息。

小波局部高频替代融合法就是将高分辨率图像中的高频小波面替代多光谱图像中相应的低频小波面。其过程如下:

(1)把中低分辨率 TM 多光谱图像和高分辨率 QuickBird 全色图像配准成同样大小;

(2)对 QuickBird 全色图像和 TM 多光谱图像的强度成分 I 进行直方图匹配,并定义 PAN 代表 QuickBird 全色图像,R、G、B 是 TM 多光谱图像的 3 个通道;

(3)把多光谱图像的 R、G、B 通道分解成 n 个分辨率水平的小波面,通常 n=2 或 3:

$$\begin{cases} R = \sum_{l=1}^n w_{Rl} + R_r \\ G = \sum_{l=1}^n w_{Gl} + G_r \\ B = \sum_{l=1}^n w_{Bl} + B_r \end{cases} \quad (9)$$

(4)通过 Mallat 算法对全色高分辨率图像进行小波分解

$$PAN = \sum_{l=1}^n w_{pl} + PAN_r \quad (10)$$

替代 R、G、B 通道分解式的第一个小波面为全色图像分解式的相应小波面;

(5)进行小波逆变换

万方数据

$$\begin{cases} R_{new} = \sum_{l=1}^n w_{pl} + R_r \\ G_{new} = \sum_{l=1}^n w_{pl} + G_r \\ B_{new} = \sum_{l=1}^n w_{pl} + B_r \end{cases} \quad (11)$$

基于小波变换的多分辨率分析是一种崭新的时域/频域信号分析工具。图像经小波变换后生成一组相关分辨率的可视图像,每一小波面的系数在零值左右摆动,绝对值较大的系数对应于亮度突变之处,即对应于原始图像中的显著特征(如边缘、线、区域边界等)。可以很容易地找到小波面系数和原始图像内容在空间域和频率域两方面的对应关系。该方法的优点在于很大程度保留了彩色图像的光谱特征,融和结果中既有全色图像的空间分辨率,又有多光谱图像的光谱分辨率,来源于两种图像的细节信息都可以被采纳。

3 方法应用

以北京亚运村为研究对象,以 1999 年 TM 图像和 2002 年 QuickBird 图像为数据源。在人机交互判读进行信息提取之前,采用小波局部高频替代融合的图像处理方法来提高遥感数据空间分辨率,以增强图像的可判读性,工作流程见图 1。

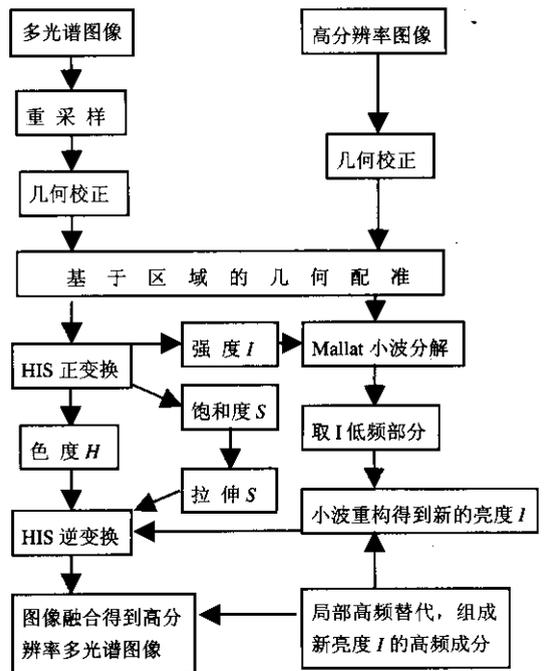


图 1 局部高频替代融合实现流程图

小波分析的最大特点在于具有极敏感的变焦特

征,它能形成可调视频窗,在低频段采用高的频率分辨率和低的时间分辨率,而在高频段采用低的频率分辨率和高的时间分辨率^[6]。从而在不同的分辨率下,反映出不同的图像结构特征,使其在增强图像纹理信息方面具有特殊的能力,以便为图像判读提供更好的图像。

据图像频谱分析,同一地区不同遥感图像信号



图2 1999年TM图像



图4 TM与QuickBird融合图像

的低频部分相差小,高频成分相差大。小波变换后在变换域内有分频特征。基于离散二进小波变换的Mallat算法可将两幅待融合的图像分解成多级小波系数图像^[7]。在每一级小波系数图像上进行融合,然后再通过小波逆变换由每一级的融合图像生成最终的融合结果,原始图像见图2、图3,融合图像如图4所示。



图3 2002年QuickBird图像

参考文献

- [1] 李军. 多元遥感影像融合的理论、算法与实践[D]. 武汉: 武汉测绘科技大学, 1999.
- [2] 马建文, 赵忠明, 布和敖斯尔. 遥感数据模型与处理方法[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2001.
- [3] Wald L, Ranchin T, Mangolini M. Fusion of Satellite Images of Different Spatial Resolutions: assessing the Quality of resulting images[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 1997, 63(6): 691-699.
- [4] Wald L. Data Fusion[D]. Paris: Les Presses, 2002, 87-88.
- [5] Zhou J, Civio D L, Silander J A. A Wavelet Transform Method to Merge Landsat TM and SPOT Panchromatic Data[J]. INT. J. Remote Sensing, 1998, 19(4): 743-757.
- [6] Li H, Manjunath B S, Mitra S K. Multisensor image fusion using the wavelet transform[J]. Opt. Models Image Process, 1995, 57(3): 235-245.
- [7] Garguet-Duport B, Girel J, Chassery J M, et al. The use of multiresolution analysis and wavelets transform for merging SPOT panchromatic and multispectral image data[J]. Photogramm. Eng. Remote Sensing, 1996, 62(9): 1057-1066.
- [8] 李克鲁, 王霞, 郭敏茹. 小波变换的信息融合方法及其结果评价[J]. 国土资源遥感, 2000(4): 46-49.

4 结论

本文在对传统融合方法分析基础上,借助小波变换理论,利用小波局部高频替代法对北京亚运村地区1999年的TM图像和2002年的QuickBird图像进行了融合。融合图像既具有原高空间分辨率图像的几何信息,又保持了原多光谱图像的光谱特征,融合结果证明了该方法的实用性和有效性。

RESEARCH ON THE FUSION OF MULTI – SOURCE REMOTELY SENSED DATA BASED ON WAVELET TRANSFORM

MU Feng – yun¹ , ZHU Bo – qin² , HE Hua – zhong¹

(1. Faculty of Resource and Environment science ,Wuhan 430079 ,China ; 2. Institute of Remote Sensing Application , CAS , Beijing 100101 , China)

Abstract: Image fusion is the combination of two or more different images to form a new image that contains enhanced information. Consistent with specific application goals , a variety of image products arise from many available fusion algorithms. The essential objective of the image fusion is that nearly all of the original application – specific information should be preserved , and artifacts should be minimized in the final product. The wavelet transform , a well – known and solid mathematical tool already applied to multi – sensor image fusion , allows the decomposition of an image into its constituent spatial scale layers. This paper presents the Local – High – Frequency – Replaced fusion method , a new scheme for multi – resolution image fusion as a further development of the application of wavelet analysis on image fusion. This method has been proved to have the capacity to preserve the finest spatial information of the input images and minimize artifact in the final fused product.

Key words: Image fusion ;Wavelet transform ;HIS transform ;Mallet algorithm ;Local – High – Frequency – Replaced fusion method

第一作者简介:牟风云(1979 –) ,女 ,山东省高密市人 ,硕士研究生 ,主要从事 GIS 和遥感理论与应用的研究。

(责任编辑 :刁淑娟)

===== (上接第 16 页)

EXPERIMENTAL RESEARCHS ON THE CULTIVATION LAND COEFFICIENT FOR RICE FIELD MAPPING WITH SAR IMAGES

ZENG Qi – ming , JIAO Jian , GUO Hong – yan , WANG Xiao – yu

(Institute of Remote Sensing and GIS , Peking University , Beijing 100871 , China)

Abstract: Researches have demonstrated that the linear features of the cultivation land usually have exaggerative appearance on SAR images , which will affect the accuracy of crop mapping on SAR images. In this study , the authors measured lots of widths at the half brightness of linear features such as channels , dykes , roads and ridges in rice fields on SAR images , and then made comparisons with results of field investigation. On such a basis , the probability distribution of widths at half brightness of linear features and the cultivation land coefficients for rice field mapping were calculated , which could give necessary correction and hence improve accuracy in rice area mapping. Some suggestions for further researches are also put forward.

Key words: Linear feature ; Cultivation land coefficient ; Space – borne SAR Image

第一作者简介:曾琪明(1964 –) ,男 ,副教授 ,博士 ,1998 ~ 2000 年日本国立防灾科学与技术研究所的客座研究员 ,主要研究领域为 SAR 应用与干涉 SAR ,在国内外发表论文近 30 篇。

(责任编辑 :刁淑娟)