

小波变换实现不同尺度土地利用图像融合

曹凯滨, 张新长

(1.增城市规划局 城市建设测量队, 广东 增城 511300; 2.中山大学 遥感与地理信息工程系, 广东 广州 510275)

摘要: 图像融合的目的是把同一目标的多幅图像融合成一幅质量高的图像。本文给出了一种基于小波变换的图像融合方法, 首先对大比例尺土地利用图像使用正交小波进行分解, 再使用小比例尺土地利用图像替换分解出的低频近似信息, 然后重构, 得到两幅土地利用图像的融合图像。最后使用该方法对两幅土地利用图像进行了融合, 得到的融合后的土地利用图像汲取了两幅图像的优势, 在一定程度上实现了土地利用空间类型的信息量随比例尺变化而自动增减。

关键词: 小波变换; 低通滤波; 高通滤波; 土地利用; 图像融合

Multi-Scales Land-use Images Fusion Method Based on Wavelet Transform

CAO Kaibin, ZHANG Xinchang

(1. Town Building Measurement Team, Zengcheng Urban Planning Bureau, Zengcheng, Guangdong 511300, China; 2. Department of Remote Sensing and Geographic Information Engineering, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: The goal of image fusion is to combine a high quality image from multi-image about the same object. The paper presents an image fusion scheme based on wavelet transform. Firstly, the large-scale land-use image is decomposed by orthogonal wavelet; secondly, replace the low-frequency approximate information which was just decomposed with small-scale land-use image, finally the fused image is obtained by taking inverse wavelet transform. The fused land-use image obtains the merits of the images which have different scales. It realize that the information of special objects increase or decrease with the differences of the scale.

Key words: wavelet transform; low pass filter; high pass filter; land-use; image fusion

地理现象是依赖于尺度的, 因此尺度问题一直是地理学研究的核心问题之一。由于在地理科学及很多相关研究领域中, 其数据来源的一个重要特点是其来自于观测数据而不是实验数据。观测数据的众多特性包括其观测尺度受到被观测对象和观测技术的限制, 一般不能被实验者所控制, 因此从数据来源的角度, 其尺度特征往往是被预先决定的。但在实际研究中, 观测问题与研究问题以及最终的应用层次往往存在尺度的不一致性, 这主要表现在: 用户解决不同问题的时候, 对空间数据需求的详细程度是不同的。实际上, 在观测尺度之上还存在过程尺度, 即自然现象发生且无法控制的尺度。理论上, 观测尺度、研究尺度和应用尺度应该尽量与过程尺度相吻合。但是受到测量技术和模拟水平的限制, 在实际中往往达不到。同时, 海量数据引起的信息“过剩”现象, 也引起了科学界的广泛关注^[1], 因此, 需要引入尺度融合的概念来弥补这种缺陷。由于技术的原因, 目前主要是通过重复建库的方法来满足不同尺度数据的需求。但这种方法存在着很大的缺点, 例如, 造成数据的重复存储、数据更新不方便以及需要更多的时间和费用来建库等。无级比例尺GIS是以一大比例尺数据库为基础数据源, 在一定区域内空间对象的信息量随比例尺变化自动增

减, 从而实现一种GIS空间信息的压缩和复现与比例尺自适应的信息处理技术。GIS环境下, 通过多尺度处理, 新的空间数据集在一定条件下的产生应该是双向的, 即不仅可以由较详细程度的空间数据集派生较粗略程度的任意尺度的空间数据集, 而且也应当可以完成其逆过程, 实现完备的重构^[2]。所以, 无级比例尺GIS是地理信息系统和自动制图系统的最终目标。而对于建立一个统一的无级比例尺数据库的主导数据库来说, 通过尺度转换与融合, 挖掘出地理对象在空间过程中的必要信息, 可以大大促进信息利用技术的提高。本文给出了一种基于小波变换的图像融合方法, 首先对大比例尺土地利用图像使用正交小波进行分解, 再使用小比例尺土地利用图像替换分解出的低频近似信息, 然后重构, 得到两幅土地利用图像的融合图像。最后使用该方法对两幅土地利用图像进行了融合, 得到的融合后的土地利用图像汲取了两幅图像的优势, 在一定程度上实现了土地利用空间类型的信息量随比例尺变化而自动增减。

1 小波变换

小波变换是一种对数据、函数或运算进行时间和

频率的局部变换方法, 它能更加有效地提取信号和分析局部信号, 然后用与其尺度相匹配的分辨率去研究其每一个成份的工具。小波变换可以依据尺度将全部空间划分成一系列相互嵌套的子空间, 可以自动派生不同尺度的空间数据; 而且可以通过小波变换从不同尺度提取空间数据的重要特征。

小波变换的核心是把某一被称为基本小波 (也叫母小波 mother wavelet) 的函数 $\psi(t)$ 做位移 τ 后, 再在不同尺度 a 下与待分析的信号 $x(t)$ 做内积:

$$WT_x(a, \tau) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \psi\left(\frac{t-\tau}{a}\right) dt, a > 0$$

二维 Mallat 算法:

Mallat 算法又称为快速算法 (FWA), 是 Mallat (1989) 基于多分辨率分析 (MRA) 于 1989 年提出的^[3]。FWA 通过调节尺度因子实施对信号由细至粗的分解和由粗至细的重构。

二维小波变换算法如图 1 所示^[4]:

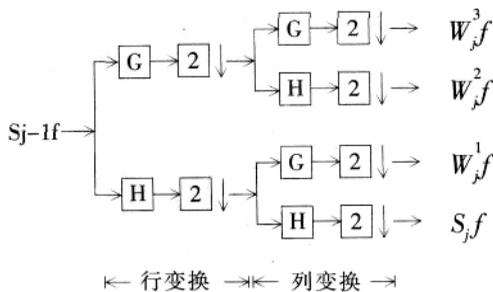


图1 二维小波变换Mallat算法

二维逆小波变换算法如图 2 所示:

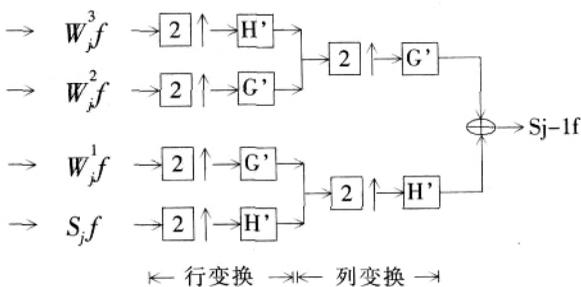


图2 二维逆小波变换Mallat算法

由于 h 的低通和 g 的高通滤波性质, $A_j f(x, y)$ 反映的是 x, y 两个方向上的低频成分, $D_j^1 f(x, y)$ 反映的是水平方向上的低频成分和垂直方向上的高频成分, $D_j^2 f(x, y)$ 反映的是水平方向上的高频成分和垂直方向上的低频成分, $D_j^3 f(x, y)$ 反映的是 x, y 两个方向的高频成分。如图 3 所示:

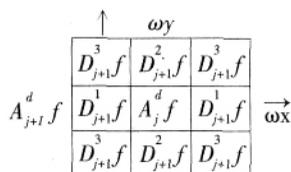


图3 MRA的频域分布

2 图像融合

近些年来, 人们开始将小波多尺度分解用于图像融合^[5-9]。基于小波分解的融合方法保留和继承了塔形分解融合方法的主要优点; 同时, 由于小波分解具有非冗余性, 使得图像经小波分解后的数据总量不会变大; 利用小波分解的方向性, 就有可能针对人眼对不同方向的高频分量具有不同分辨率这一视觉特性, 获得视觉效果更佳的融合图像^[10]。

小波变换可将图像分解为更低分辨率的近似低频影像和高频细节影像, 而且由于小波变换的多分辨率特性, 不同尺度的空间特征也可以进行分离, 因此小波变换可以用于不同传感器间多分辨率图像的融合。

近年来, 将小波分析用于图像融合已显示出良好的效果。小波分析的固有特性使其在图像融合中具有如下优点^[8-9]:

- 1) 将图像分解成近似图像和细节图像之和, 分别代表了图像的不同结构;
- 2) 完善的重构能力, 保证信号在分解过程中不会造成信息丢失, 也不会产生冗余信息;
- 3) 具有快速算法 (MALLAT), 它在小波分解中的作用相当于 FFT 在傅立叶变换中的作用;
- 4) 二维小波分析与人眼对不同方向的高频分量具有不同分辨率的视觉特性是相吻合的。

传统的小波变换融合方法是在小波变换域中, 用高空间分辨率的全色图像的细节分量替代低空间分辨率的多光谱图像的细节分量, 然后对多光谱图像的小波系数进行小波逆变换, 得到融合的多光谱图像^[10-11]。本文提出了一种把小波变换技术应用到图像融合中, 力争得到一种好的方法可以利用不同尺度的图像得到信息量更丰富、质量更高的图像。具体步骤如下:

- 1) 将各种不同比例尺的地图或遥感图像进行几何配准。图像配准是将不同图像空间归一化的过程, 通过数学模型对图像间存在着的几何差异进行校正, 把二幅图像合成到同一坐标系下, 使得相同景物在不同的局部图像中对应起来, 以便于后继融合处理^[12];
- 2) 对高分辨率的图像进行灰度调整, 使其均值与方差等于低分辨率图像的均值与方差;
- 3) 再将信息详尽的大比例尺的地图或是遥感图像利用小波进行图像分解, 从而获得近似信息和细节信息。根据需要分解到一定的程度;
- 4) 对于得到的信息做一定的处理, 例如图像增强, 图像压缩, 以提高图像的可视程度;
- 5) 再用原本清晰、信息详尽的同地区小比例尺地图替换掉小波分解得到的近似信息;
- 6) 用替换的小比例尺地图和小波分解得到的近似信息进行小波重构, 得到融合的图像。这样可以突出不同比例尺图像各自凸现的信息。

根据本文提出的算法, 选择两幅分辨率为 2.5 m 和 10 m 的广州地区土地利用遥感图像进行数据融合

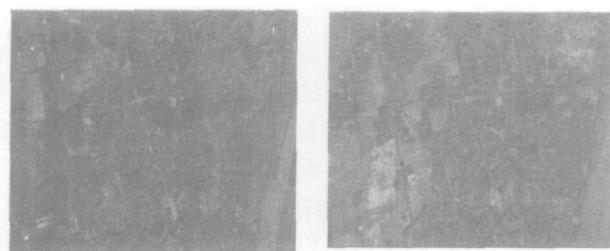
验证。上述实验采用MATLAB6.1编程实现^[13-14]，所采用的小波是具有紧支撑、正交性、近似对称性的db3小波，计算出与db3小波对应的低通滤波器和高通滤波器，如表1所示^[15]。

用Db3 正交小波对应的低通滤波器和高通滤波器

表1 db3小波对应的低通分解、高通分解、低通重构和高通重构滤波器

低通分解 (Lo_D)	0.035 2	-0.085 4	-0.135 0	0.459 9	0.806 9	0.332 7
高通分解 (Hi_D)	-0.332 7	0.806 9	-0.459 9	-0.135 0	0.085 4	0.035 2
低通重构 (Lo_R)	0.332 7	0.806 9	0.459 9	-0.135 0	-0.085 4	0.035 2
高通重构 (Hi_R)	0.035 2	0.085 4	-0.135 0	-0.459 9	0.806 9	-0.332 7

对两幅土地利用图像分别进行小波分解，分解层数为2。用本方法将图4的 (a) 和 (b) 两幅经过配准校正等处理的图像融合，得到图6。从融合的结果看，融合图像效果较好，融合图像汲取了两幅图像中的主要信息，而弥补了两幅图像的缺陷。在使用小波变换对图像融合的过程中，图像的小波分解层数对图像融合的效果有较大的影响，比如使用db3 小波对图像分解层数为2时融合图像的效果最好。



(a) 广州某地区2.5 m分辨率土地利用遥感图像 (b) 广州某地区10 m分辨率土地利用遥感图像

图4 原始图像

图像通过小波变换，分解成4个子图像波段，低频、水平高频、垂直高频和对角高频4个波段。在低频部分包含了所有的正小波变换系数，描述了图像的基本概貌（见图5）。在其他三个波段，描述了图像的细节部分，小波变换系数值在零附近波动。通过对小波变换系数值可以分析到，绝对值大的小波系数对应着图像中的突出特征，比如图像的边缘，线和区域边界。将分解后得到的低频近似信息L2用图4 (b) 广



(a) L1 (b) L2

图5 图4 (a) 两次db3小波分解后的低频图像

州某地区10 m分辨率土地利用遥感图像替换掉，然后进行重构得到图6。



图6 融合后土地利用遥感图像

3 结 语

小波变换等效于将原始图像分解到一系列的频率通道中，并在不同的频率通道上有效地将特征明显不同的两幅图像融合在一起，而且边缘不突兀。由于融合所需信息不同，对各部分的处理应有差别，因此可以根据实际情况具体选择合适的算法，根据需要提取原始信息，得到效果显著的融合图像。

根据本文的方法可以将不同尺度的土地利用图像融合，综合各自的优点以提高图像中的信息量，并且一定程度上实现了无级比例尺GIS，对融合后的大比例尺图像再次利用db3小波进行2次分解就可以重新得到小比例尺的图像，从而实现在一定区域内空间对象的信息量随比例尺变化自动增减。

参考文献

- [1] 孙美玲, 李永树. GIS环境下空间数据多尺度特征及其关键问题探讨 [J]. 四川测绘, 2002, 25 (4): 154-157
- [2] 吴凡, 祝国瑞. 基于小波分析的地貌多尺度表达与自动综合 [J]. 武汉大学学报 (信息科学版), 2001, 26 (2): 170-174
- [3] 郝仕龙, 李壁成. 土地利用的尺度和尺度转换 [J]. 中国土地科学, 2004, 18 (5): 32-36
- [4] 王智均, 李德仁, 李清泉. 利用小波变换对影像进行融合的研究 [J]. 武汉测绘科技大学学报, 2000, 25 (2): 137-142
- [5] Yocky D A. Image merging and data fusion by means of the discrete two-dimensional wavelet transform [J]. Journal of Optical Society of American, 1995, 12 (9): 1834-1841.
- [6] Nunez J Otazu X, Fors O, et al. Multiresolution-based image fusion with additive wavelet decomposition [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1999, 37 (3): 1204-1211.
- [7] 刘贵喜, 杨万海. 基于小波分解的图像融合方法及性能评价 [J]. 自动化学报, 2002, 28 (6): 927-934
- [8] 陶冰洁, 王敬儒. 采用小波分析的图像融合方法评述 [J]. 计算机工程与应用, 2005, 41 (25): 16-19
- [9] 强赞霞, 彭嘉雄, 王洪群. 基于小波变换局部方差的遥感图像融合 [J]. 华中科技大学学报 (自然科学版), 2003, 31 (6): 89-91
- [10] 马燕, 刘兴平, 冯伍. 基于小波变换的图像融合技

