

# 高空间分辨率影像和多光谱影像融合的研究

李平湘<sup>1</sup> 王智均<sup>1</sup>

(1 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

**摘要:** 从卫星影像的成像过程出发, 揭示了卫星影像所含信息的物理内涵, 从频率域特性出发得出了高空间分辨率影像和多光谱影像可以融合的物理基础, 为寻找一种较好的融合方法提供了理论依据。

**关键词:** 影像融合; 物理基础; 小波变换; 抽样定理

**中图法分类号:** TP751

随着多种遥感卫星的发射成功, 我们有了许多可利用的多传感器、多时相、多分辨率和多光谱遥感影像。遥感影像的信息提取常常要求把多传感器、多时相、多光谱和多分辨率影像进行融合分析, 以提取感兴趣的信息。

许多研究工作已证明, 把高空间分辨率影像和多光谱影像融合起来, 可以有效地把两种不同传感器的优点结合在一起, 提高对影像的信息分析和提取能力。影像融合的方法已被广泛应用于地形测绘、地图更新、土地资源调查、森林资源调查和保护及军事领域等。特别在土地制图应用方面, 多种空间分辨率和不同光谱分辨率的影像特性的互补使得影像判断和自动识别更加容易<sup>[1,2]</sup>。如 SPOT PAN 全色波段(10m 分辨率)和陆地卫星 TM 多光谱影像(30m)的融合, 能充分利用 SPOT 的高空间分辨率的优势和 TM 多光谱的优势, 为自然资源的调查和监测提供非常有效的手段, 对不同传感器影像进行融合的研究揭示了这种融合其实是低空间分辨率—高光谱分辨率影像的光谱信息和高空间分辨率—低光谱分辨率影像之间的融合<sup>[2]</sup>。融合技术要求所用的融合方法既要保持 SPOT PAN 全色波段(10m 分辨率)的高分辨率特性, 又要保持 TM 多光谱影像(30m)的光谱特性, 即波段组合的颜色不被改变, 才能实现融合的多种应用。

目前已有许多方法通过利用高分辨率的全色波段来调制低分辨率的多光谱影像, 特别是对彩色影像, 如 RGB 假彩色合成、IHS 彩色变换<sup>[3]</sup>、

PCA 主分量变换<sup>[4]</sup>、乘积和线性复合、差值和比值变换、Brovey 变换、HPF 高通滤波、分量置换法<sup>[1]</sup>和 ARSIS 转换<sup>[2]</sup>等方法。总之, 这些方法更多的是从融合技术的角度寻找某种方法来满足不同应用目的的融合技术。然而, 作者认为, 一种好的融合方法必须考虑影像所包含的物理基础, 只有基于物理基础设计的融合方法才具有针对性。因此, 本文试图从卫星影像的成像过程出发, 揭示卫星影像所含信息的物理内涵, 从而得出高分辨率影像和多光谱影像可以融合的物理基础, 为新的融合方法提供理论基础。

## 1 两个重要函数

Shah(x)函数和矩形脉冲信号函数是模拟卫星影像形成过程的主要函数。为了便于理解, 下面对 Shah(x)函数和矩形脉冲信号函数的时间域和频率域表现进行简单的介绍。

### 1.1 Shah(x)函数<sup>[5]</sup>

Shah(x)函数定义为:

$$\text{Shah}(x) = \text{III}(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(x - n) \quad (1)$$

它是一系列单位间隔排列的单位幅度的脉冲函数, 它的傅立叶变换为:

$$F\{\text{Shah}(x)\} = F\{\text{III}(x)\} = \text{III}(\omega) \quad (2)$$

它的尺度变换特征为:

$$F\{\text{Shah}\left(\frac{x}{\tau}\right)\} = F\{\text{III}\left(\frac{x}{\tau}\right)\} = \tau \text{III}(\tau\omega) \quad (3)$$

对于脉冲函数, 有:

$$\delta(\delta(ax)) = \frac{1}{|a|} \delta(\delta(x)) \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{III}(ax) &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(ax - n) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(a(x - \frac{n}{a})) \\ &= \frac{1}{|a|} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(x - \frac{n}{a}) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\text{III}(\frac{x}{\tau}) = \tau \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(x - n\tau) \quad (6)$$

$$F\{\text{III}(\frac{x}{\tau})\} = \tau \text{III}(\tau\omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\omega - \frac{n}{\tau}) \quad (7)$$

式(7)表明, 在时间域内一系列以  $\tau$  为单位间隔排列的单位幅度脉冲函数, 它的傅立叶变换是频率域以  $\frac{1}{\tau}$  为单位间隔排列的单位幅度脉冲函数。该函数通常用来对连续函数进行采样处理。

### 1.2 矩形脉冲信号函数<sup>[5]</sup>

$$\text{II}(t) = \begin{cases} 1, & |t| < \frac{\tau}{2} \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

它的傅立叶变换为:

$$F(\omega) = E\tau Sa(\frac{\omega\tau}{2}) = \frac{2E}{\omega} \sin(\frac{\omega\tau}{2}) \quad (9)$$

如果取  $E$  为单位强度 1,  $\tau$  取单位间隔 1, 则  $F(\omega) = Sa(\frac{\omega\tau}{2}) = \frac{2}{\omega} \sin(\frac{\omega}{2})$ , 它通常用来把连续函数截取为一区间函数(可以看作是周期函数)。

## 2 卫星影像频率域特性和卫星影像融合的基础

影像融合实际上是二维图像信号的融合, 为

表 1 卫星信号形成的主要函数

Tab. 1 Major Formation Functions of Satellite Signal

序号	时间域	频率域
1	$f(t)\text{II}(\frac{t}{T})$	$F(\omega) \times \frac{2}{\omega} \sin(\frac{\omega T}{2})$
2	$f(t)\text{II}(\frac{t}{T}) \times \frac{1}{\tau} \text{II}(\frac{t}{\tau})$	$[F(\omega) \times \frac{2}{\omega} \sin(\frac{\omega T}{2})] \frac{\sin(\frac{\omega T}{2})}{\frac{\omega T}{2}}$
3	$[f(t)\text{II}(\frac{t}{T}) \times \frac{1}{\tau} \text{II}(\frac{t}{\tau})] \text{III}(\frac{t}{\Delta t})$	$\{ [F(\omega) \times \frac{2}{\omega} \sin(\frac{\omega T}{2})] \frac{\sin(\frac{\omega T}{2})}{\frac{\omega T}{2}} \} \times \Delta t \text{III}(\omega \Delta t)$

现了一光谱段的光谱信息, SPOT 影像则包含了更多的纹理高频信息。可以通过一些算法对频率域进行分解, 然后把代表 TM 影像的光谱信息的低频分量和代表 SPOT 影像的纹理信号的高频分量有效融合在一起, 这就是对卫星影像进行融合的理论基础。进行影像融合, 在频率域进行比在

了便于理解, 本文先从一维信号的特性出发, 然后再推广到二维图像的情形。

以一维信号为例, 假如地面信号的某一剖面用  $f(t)$  来表示, 它对应的频谱函数为  $F(\omega)$ 。表 1 表示了一个连续信号经过截取、响应、采样输出的时间域和频率域表达函数。一个函数经过截取, 扫描探头的响应函数的平滑和按一定间隔采样以后, 在时间域, 它的主值区间为  $[-\frac{T}{2}, \frac{T}{2}]$ , 如设采样点的个数为  $N$ , 则采样间隔为  $\Delta t = \frac{T}{N}$ , 而此时在相应的频率域空间的主值区间为  $[-\omega_m, \omega_m]$ , 采样点的个数也为  $N$ , 则采样间隔为  $\Delta\omega = \frac{2\pi}{T}$ ,  $\omega_m = \frac{\pi}{\Delta t}$ , 它的频率归一化空间为  $[-\pi, \pi]$ 。

卫星数据的获取和上述原理是一样的, 只不过是在二维空间里进行截取, 响应采样。从信号处理的角度来讲, 参照前述  $\text{Shah}(x)$  函数和矩形脉冲信号函数的时间域和频率域特性, 卫星影像的形成可以分为下面几步: ①卫星取景器对地面连续信号的截取(表 1 中序号 1); ②截取信号被取景器窗口响应(表 1 中序号 2); ③按某一分辨率采样传送到地面(表 1 中序号 3)。

因此, 对应于同一地面景物, TM 影像的采样间隔为 30m, 而 SPOT 影像的采样间隔为 10m, 因此, TM 影像的频率域主值区间的截断频率  $\omega_{m\text{TM}}$  是 SPOT 影像的频率域主值区间的截断频率  $\omega_{m\text{SPOT}}$  的 1/3。也就是说, 如果 SPOT 影像的归一化频域为  $[(-\pi, -\pi) \sim (\pi, \pi)]$ , 则 TM 影像的归一化频域为  $[(-\frac{\pi}{3}, -\frac{\pi}{3}) \sim (\frac{\pi}{3}, \frac{\pi}{3})]$ 。TM 影像相对 SPOT 影像仅包含了低频信息, 但它体

时间域进行更有效, 因为前者把融合的技术目的和遥感影像的频率域表现即融合理论基础结合起来。与经典的融合方法进行比较, 现有的方法多是在时间域对影像进行算术运算, 没考虑处理影像时相应频率域变化。然而, 不同的方法和处理程序在频率域有不同的表现, 这种频率域表现是

否合适,在一定程度上说明了融合方法是否有效。如果没有充分考虑时间域和频率域的互动关系,融合的效果会受到限制。小波变换由于具有“数学显微镜”和聚焦的功能,因而能实现时间域和频率域的步调统一,而且能把频率域进行正交分解。因此,小波变换在影像融合中越来越受到青睐。常用的小波变换只能有效地处理分辨率相差为 $2^j$ 倍数的情况。如果分辨率相差3倍或5倍,则应使用三进小波或五进小波,多进小波正是当前小波研究的热点问题<sup>[5~9]</sup>。

利用本文推导的理论,作者进行了融合试验,试验选用了广东肇庆市的10m分辨率的SPOT影像(如图1(a))和同样地区的30m分辨率TM543多光谱影像(如图1(b)),SPOT影像大小为 $600 \times 555$ ,对应的TM543多光谱影像大小为

$200 \times 185$ 。该组影像的特点是:有水体,SPOT影像中纹理清晰,地块边界明显,右下部分具有很多小地物,而对应的TM543中没有这些小地物,有助于评价融合效果。由于SPOT影像和TM543影像的分辨率之比为1:3,因此在应用中算法的分解水平取2,它其实是用分辨率之比为1:4的情况来近似分辨率之比为1:3的情况。多孔算法的分解水平也取2,在这种情况下,高分辨率的SPOT影像分解所得的小波面分量包含了10m到40m的纹理细节,相应的TM543反映了小于30m的地物。试验结果如图1(c)所示。由图1可见,影像的细节得到明显的增强,而原来的波段组合的颜色没有改变,这初步表明,笔者提出的影像融合方法是成功的。

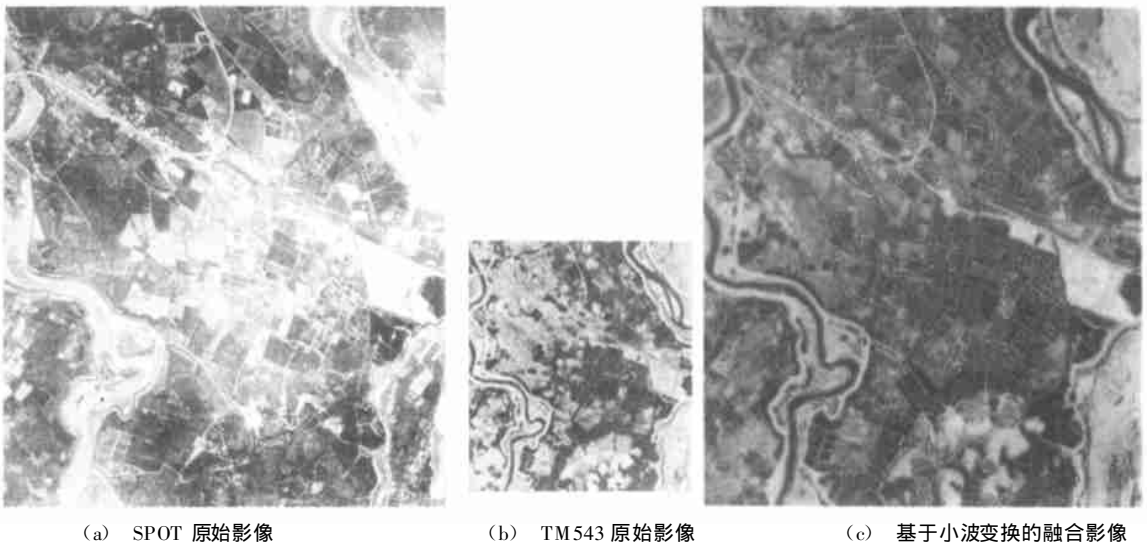


图1 基于小波变换的影像融合过程及其结果

Fig. 1 Image Fusion Procedure Based on Wavelet Transform

### 3 结论

本文从信号处理的角度,分析并证明了遥感卫星影像是通过对信号的二维截取、响应和采样形成的。不同采样间隔的遥感影像包含了不同频率段的信号信息,通过频率域分解和重建,可以把不同遥感影像数据源的数据融合在一起,并保持原来影像各自的特性。小波变换因其特有的对频率域正交分解的特性,是现有融合方法中最具潜力的一个方法,它综合考虑了融合的技术目的与遥感影像融合理论基础的结合。

#### 参 考 文 献

1 李 军. 多源遥感影像融合的理论、算法和实践. [博

士论文]. 武汉: 武汉测绘科技大学, 1999

- 2 Coulogner I, Ranchin T, Valtonen V P, et al. Benefit of the Future SPOT-5 and Data Fusion to Urban Roads Mapping. *INT. J. Remote Sensing*, 1998, 19(8): 1 519 ~ 1 532
- 3 Schetselaar E M. Fusion by the IHS Transform; Should We Use Cylindrical or Spherical Coordinates? *INT. J. Remote Sensing*, 1998, 19(4): 759 ~ 765
- 4 David A Y. Image Merging and Data Fusion by Means of the Discrete Two-dimensional Wavelet Transform. *J. Opt. Soc. Am A*, 1995, 12(9): 1 834 ~ 1 841
- 5 Wald L, Ranchin T, Mangolini M. Fusion of Satellite Images Different Spatial Resolutions; Assessing the Quality of Resulting Images. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 1997(63): 691 ~ 699
- 6 杨福生. 小波变换的工程分析与应用. 北京: 科学出版社, 1999

- 7 崔锦泰. 小波分析导论. 程正兴译. 西安: 西安交通大学出版社, 1992
- 8 程正兴. 小波分析算法与应用. 西安: 西安交通大学出版社, 1998
- 9 李德仁, 邵巨良. 影像融合与复原的小波模型. 武汉测绘科技大学学报, 1996, 21(3): 213 ~ 217
- 10 陈述彭, 童庆禧, 郭华东. 遥感信息机理研究. 北京: 科学出版社, 1998
- 11 姜建国, 曹建中, 高玉明. 信号与系统分析基础. 北京: 清华大学出版社, 1994
- 
- 第一作者简介: 李平湘, 教授。现从事摄影测量与遥感、图像处理等方面的研究。  
E-mail: pxli@liesmars.wtusm.edu.cn

## Investigation of Image Fusion Between High Resolution Image and Multi-spectral Image

LI Pingxiang<sup>1</sup> WANG Zhijun<sup>1</sup>

(1 State Key Laboratory for Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan, China 430079)

**Abstract:** Since the successful launch of various kinds of remote sensing satellites, there are many kinds of remote sensing satellite images available. Information extraction from those remote sensing data sources usually requires to analyze those data sets together, and to visualize on a media such as paper, photo, monitor, etc. Image fusion is a technique to do so. This paper traces the processes of image formation, analyses the basic physical theory about remote sensing image fusion in frequency domain, and provides the frequency domain basis on how to design a proper image fusion algorithm.

**Key words:** image fusion; physical basis; wavelet transform; sampling theorem

---

**About the first author:** LI Pingxiang, professor. He is engaged in the research on photogrammetry, remote sensing application and remote sensing image processing.

E-mail: pxli@liesmars.wtusm.edu.cn