

# 多源遥感图象信息保持型融合技术的研究

刘晓龙

(中国测绘科学研究院遥感资料部, 北京 100039)

**摘要** 鉴于几种传统融合方法在提高空间分辨率、保持原始影像光谱信息方面均有缺点,介绍了几种新的多种信息融合方法,这些方法运用代数运算与线性计算,既可避免传统融合算法存在的信息丢失,又可以提高影像的几何分辨率;对几种融合方法的效果进行了讨论,特别详述了在融合过程中,如何充分利用各波段的优点,克服其缺点的方法,并提出了一种实用的多源遥感影像融合的流程,分析了图象融合的应用前景.实验证明,这种流程适合大数据量、大范围的影像融合.

**关键字** 影像配准 信息融合 图象增强 高通滤波

**中图法分类号:** TP751 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2001)07-0636-06

## Information Restore Fusion of Multisensor Remote Sensing Data

LIU Xiao-long

(Chinese Academy of Surveying & Mapping, Beijing 100039)

**Abstract** This paper firstly made a brief introduction of several methods for information fusion, and also the paper raised a comparison of the fused images which were merged by wavelet transform, PCA and HIS methods, in spatial quality improving and spectral information preserving respectively. Then, the paper introduced several new fusion methods of Multisensor Remote Sensing data, Using algebra calculation and linear calculation, avoid lost spectral information of traditional method, and develop resolution of image, and author performed a discussion on the relationship between several methods and the fused results, specially made useful advantage of image and overcome disadvantage of image in the fused process. Finally the article introduced a fusion framework of Multisensor Remote Sensing, the author particularly studied every process, include image match, image sharpness enhancement, image fusion, image color enhancement process. The framework is used for a big amount data and a large range image. The article introduced the application of image fusion.

**Keywords** Image match, Information fusion, Image enhancement, High cross filter

## 0 引言

随着遥感技术的不断发展,高空间分辨率、波谱分辨率和时间分辨率的图象数据已经问世,但如何有效地利用这些信息便成为摆在人们面前的首要任务.根据以往经验,要解决土地利用、耕地和森林资源监测、防洪防灾、军事侦察等问题,单用一种多光谱数据进行分析是比较困难的.考虑到各种不同类

型的多光谱数据信息之间存在着重叠和互补,研究人员提出了遥感图象数据的融合<sup>[1]</sup>.由于遥感图象数据融合不仅能使各具一定空间分辨率、波谱分辨率和时间分辨率的图象全部纳入统一的时空内,以构成一组新的空间信息,即融合成一种新的图象,而且融合还弥补了单一信息的不足,并达到了多种信息资源的相互补充,同时也改善了遥感图象目标识别的准确率和提高了遥感图象的综合分析精度,因此信息融合技术具有特别重要的意义,是当前遥感

基金项目:国家“九五”科技攻关项目(96-B02-03-18-05)

收稿日期:2000-02-22;改回日期:2000-10-09

应用分析的前沿,遥感图象数据的融合一般选用高精度的全色波段图象与低精度的多波段图象<sup>[2]</sup>,但在成象时间上最好选择同一季节的图象,因为这样两种图象同名点的灰度值有较好的相关性<sup>[3]</sup>。

信息融合按信息抽象程度的不同,有些学者将其划分为原始数据融合、目标级或特征级融合和决策级融合3个层次<sup>[4]</sup>。

传统融合算法主要有 HIS 变换法、主分量分析法(Principal component analysis 简称 PCA)、高通滤波(High-pass filter 简称 HPF)法与小波变换法<sup>[5]</sup>。

(1) HIS 变换法是融合多源遥感数据最常用的方法,这种方法是首先将空间分辨率小的多光谱图象变换到 HIS 空间,得到色度 H、明度 I 和饱和度 S 三分量;然后将高分辨率图象进行对比度拉伸,使之与 I 分量有相同的均值和方差;最后用经过拉伸的高分辨率图象代替 I 分量,把它同 H、S 经 HIS 逆变换得到融合的图象,改进的 HIS 变换法则是用经过拉伸的高分辨率图象与 I 分量进行小波融合,把得到的结果作为新的 I 分量同 H、S 经 HIS 逆变换得到融合的景象,但这种方法只能而且必须同时对 3 个波段进行融合操作,并且丢失了图象的部分光谱信息<sup>[6]</sup>。

(2) PCA 变换法是 TM 图象与航空图象融合最常用的方法,这种方法首先是由 TM 的 3 个或 3 个以上波段数据求得图象间的相关系数阵,再由相关系数阵计算特征值和特征向量,求得各主分量景象;然后将航空图象进行对比度拉伸,使之与第一主分量有相同的均值和方差;最后用经过拉伸的航空图象代替第一主分量,再把它同其他主分量经主分量逆变换即得到融合的图象,在此基础上,还有多分辨率 PCA 分层融合方法<sup>[7]</sup>,但这种方法要求输入图象必须有 3 个或 3 个以上,并且还会丢失景象的部分光谱信息。

(3) HPF 变换法是一种光谱信息丢失较少的方法,这种方法首先采用一个较小的空间高通滤波器对高分辨率景象进行滤波,由于滤波得到的结果不仅保留了与空间信息有关的高频成分/分量,而且滤掉了绝大部分的光谱信息,因此把高通滤波的结果加到各光谱景象数据中,经过这种处理就可把高分辨率景象的空间信息同多光谱景象数据的光谱信息融合了,这种方法可对单个或多个波段进行融合操作<sup>[8]</sup>。

(4) 小波变换法是一种信息保持型的方法,这种方法首先以低分辨率图象为参考图象来对高分辨率图象进行直方图匹配,以形成几个图象,然后对这几个图象进行小波变换以形成各自的低频图象和高频细节信息,并用原始的低分辨率图象来取得小波变换后的低频图象,对替换后的图象及与之相关的细节信息进行小波逆变换,从而获得融合图象,这种方法可以对单个或多个波段进行融合操作<sup>[9]</sup>。

这几种方法各有优缺点,但都不能保持原有低分辨率图象的光谱信息,本文提出的方法既能充分利用高分辨率图象的空间信息,又能保持低分辨率图象的光谱信息,是一种切实可行的方法,并且在遥感土地利用动态监测得到充分应用。

## 1 基于影象信息保持的多种信息融合方法

鉴于传统融合算法易造成信息的丢失,提出了基于影象信息保持的多种信息融合方法,这种方法的主要特点是保持了原有低分辨率图象各波段之间的相互关系,从而也就保持了原有低分辨率图象的光谱信息,对于真彩色图象也就是保持颜色不变,此即所谓影象信息保持,根据处理范围、所得到的影象结果的不同,可分为 4 种不同的融合方法,但这几种方法均运用代数运算与线性运算。

### 1.1 全局法

考虑到图象的整体性,所有融合运算采用了同一标准,所以这种方法叫做全局法,主要步骤如下:

- (1) 统计高分辨率图象的直方图;
- (2) 求出图象灰度的最大值、最小值、均值与方差;
- (3) 由这些参数通过一定的运算计算出一个变换式,可将高分辨率图象的灰度变成 0 到 1 的实数;
- (4) 用变换后的实数与低分辨率图象(SPOT 图象)的每个波段进行一定的运算,其所得到的结果即为融合图象;
- (5) 这个图象往往色调比较暗,必须进行增强才能满足要求。

设高分辨率图象灰度、灰度最小值、最大值、均值与方差分别是  $g_s, g_{smin}, g_{smax}, \bar{g}_s, \sigma_s$ , 低分辨率图象的 3 个波段灰度值分别是  $g_a, g_b, g_c$ , 融合后 3 个波段灰度值分别为  $g_{mr}, g_{mg}, g_{mb}$ , 那么

$$\textcircled{1} \text{ 当 } \bar{g}_s - 2 \times \sigma_s > 0 \text{ 时}$$

$$D' = \begin{cases} 0.1 \frac{g_s - g_{s\min}}{g_s - 1.96\sigma_s - g_{s\min}} & (g_s < \bar{g}_s - 1.96\sigma_s) \\ [(g_s - \bar{g}_s + 2\sigma_s)/4\sigma_s] \times 255 & (\bar{g}_s - 1.96\sigma_s \leq g_s \leq \bar{g}_s + 1.96\sigma_s) \\ 1 - 0.1 \frac{g_{s\max} - g_s}{g_{s\max} - \bar{g}_s - 1.96\sigma_s} & (g_s > \bar{g}_s + 1.96\sigma_s) \end{cases}$$

②当  $\bar{g}_s - 2\sigma_s < 0$  时

$$D' = \begin{cases} [(g_s)/4\sigma_s] \times 255 & (g_s \leq \bar{g}_s + 1.96\sigma_s) \\ 1 - 0.1 \frac{g_{s\max} - g_s}{g_{s\max} - \bar{g}_s - 1.96\sigma_s} & (g_s > \bar{g}_s + 1.96\sigma_s) \end{cases}$$

其中,  $D'$  为变换系数, 最后得到

$$g_{mr} = D' \times g_{tr}, g_{mg} = D' \times g_{tg}, g_{mb} = D' \times g_{tb}$$

### 1.2 局部加权法

考虑到图象的局部特点而提出的融合算法叫局部法, 主要步骤如下:

- (1) 求出高分辨率图象灰度的最大值、最小值;
- (2) 用高分辨率图象与低分辨率图象的每个波段进行加权相乘;
- (3) 除以低分辨率图象所有波段的灰度和, 得到融合图象;

(4) 这个图象往往色调比较暗, 必须进行增强才能满足要求。

设高分辨率图象灰度、灰度最小值、最大值、均值、方差、低分辨率图象的 3 个波段灰度值, 及融合后图象的 3 个波段亮度值分别为变量, 设定与全局法相同, 则有

$$\text{当 } g_{tr} + g_{tg} + g_{tb} = 0 \text{ 时, } g_{mr} = g_{mg} = g_{mb} = 0$$

$$\text{当 } g_{tr} + g_{tg} + g_{tb} > 0 \text{ 时,}$$

$$D = \frac{255}{g_{tr} + g_{tg} + g_{tb}} \times \frac{g_s - g_{s\min}}{g_{s\max} - g_{s\min}}$$

$$g_{mr} = D \times g_{tr}, g_{mg} = D \times g_{tg}, g_{mb} = D \times g_{tb}$$

这种方法特别适用于那些低分辨率图象中的明显斑块(如云雾), 由于这种方法的局部性, 所以不会影响整个融合结果。

### 1.3 色彩法

考虑到图象的色彩性, 把融合算法叫做色彩法, 主要步骤如下:

- (1) 统计低分辨率图象的直方图;
- (2) 求出图象灰度的最大值、最小值、均值与方差;
- (3) 由这些参数通过一定的运算计算出一个变换系数, 即可将低分辨率图象的灰度变成 0 到 1 的实数;

- (4) 用变换后的实数与高分辨率图象的每个波

段进行一定运算, 其所得到的结果即为融合图象;

(5) 这个图象比较暗, 必须进行增强才能满足要求。

设低分辨率图象 3 个波段灰度最小值为  $g_{t\min}$ 、最大值为  $g_{t\max}$ 、均值为  $\bar{g}_t$ 、方差为  $\sigma_t$ 、低分辨率图象的 3 个波段的亮度值分别为  $g_{tr}, g_{tg}, g_{tb}$ 、高分辨率图象的灰度为  $g_s$ ; 融合后 3 个波段亮度值分别为  $g_{mr}, g_{mg}, g_{mb}$ , 则有

①当  $\bar{g}_t - 2\sigma_t < 0$  时

$$D' = \begin{cases} [(g_{tr})/4\sigma_t] \times 255 & (g_{tr} \leq \bar{g}_t - 1.96\sigma_t) \\ 1 - 0.1 \frac{g_{t\max} - g_{tr}}{g_{t\max} - \bar{g}_t - 1.96\sigma_t} & (g_{tr} > \bar{g}_t - 1.96\sigma_t) \end{cases}$$

$$g_{mr} = D' \times g_s$$

$$D' = \begin{cases} [(g_{tg})/4\sigma_t] \times 255 & (g_{tg} \leq \bar{g}_t + 1.96\sigma_t) \\ 1 - 0.1 \frac{g_{t\max} - g_{tg}}{g_{t\max} - \bar{g}_t - 1.96\sigma_t} & (g_{tg} > \bar{g}_t + 1.96\sigma_t) \end{cases}$$

$$g_{mg} = D' \times g_s$$

$$D' = \begin{cases} [(g_{tb})/4\sigma_t] \times 255 & (g_{tb} \leq \bar{g}_t + 1.96\sigma_t) \\ 1 - 0.1 \frac{g_{t\max} - g_{tb}}{g_{t\max} - \bar{g}_t - 1.96\sigma_t} & (g_{tb} > \bar{g}_t + 1.96\sigma_t) \end{cases}$$

$$g_{mb} = D' \times g_s$$

②当  $\bar{g}_t - 2\sigma_t > 0$  时

$$D' = \begin{cases} 0.1 \frac{g_{tr} - g_{t\min}}{\bar{g}_t - 1.96\sigma_t - g_{t\min}} & (g_{tr} < \bar{g}_t - 1.96\sigma_t) \\ [(g_{tr} - \bar{g}_t + 2\sigma_t)/4\sigma_t] \times 255 & (\bar{g}_t - 1.96\sigma_t \leq g_{tr} \leq \bar{g}_t + 1.96\sigma_t) \\ 1 - 0.1 \frac{g_{t\max} - g_{tr}}{g_{t\max} - \bar{g}_t - 1.96\sigma_t} & (g_{tr} > \bar{g}_t + 1.96\sigma_t) \end{cases}$$

$$g_{mr} = D' \times g_s$$

$$D' = \begin{cases} 0.1 \frac{g_{tg} - g_{t\min}}{\bar{g}_t - 1.96\sigma_t - g_{t\min}} & (g_{tg} < \bar{g}_t - 1.96\sigma_t) \\ [(g_{tg} - \bar{g}_t + 2\sigma_t)/4\sigma_t] \times 255 & (\bar{g}_t - 1.96\sigma_t \leq g_{tg} \leq \bar{g}_t + 1.96\sigma_t) \\ 1 - 0.1 \frac{g_{t\max} - g_{tg}}{g_{t\max} - \bar{g}_t - 1.96\sigma_t} & (g_{tg} > \bar{g}_t + 1.96\sigma_t) \end{cases}$$

$$g_{mg} = D' \times g_s$$

$$D' = \begin{cases} 0.1 \frac{g_{tb} - g_{t\min}}{\bar{g}_t - 1.96\sigma_t - g_{t\min}} & (g_{tb} < \bar{g}_t - 1.96\sigma_t) \\ [(g_{tb} - \bar{g}_t + 2\sigma_t)/4\sigma_t] \times 255 & (\bar{g}_t - 1.96\sigma_t \leq g_{tb} \leq \bar{g}_t + 1.96\sigma_t) \\ 1 - 0.1 \frac{g_{t\max} - g_{tb}}{g_{t\max} - \bar{g}_t - 1.96\sigma_t} & (g_{tb} > \bar{g}_t + 1.96\sigma_t) \end{cases}$$

$$g_{mb} = D' \times g_s$$

$$D' = \begin{cases} 0.1 \frac{g_{tr} - g_{t\min}}{\bar{g}_t - 1.96\sigma_t - g_{t\min}} & (g_{tr} < \bar{g}_t - 1.96\sigma_t) \\ [(g_{tr} - \bar{g}_t + 2\sigma_t)/4\sigma_t] \times 255 & (\bar{g}_t - 1.96\sigma_t \leq g_{tr} \leq \bar{g}_t + 1.96\sigma_t) \\ 1 - 0.1 \frac{g_{t\max} - g_{tr}}{g_{t\max} - \bar{g}_t - 1.96\sigma_t} & (g_{tr} > \bar{g}_t + 1.96\sigma_t) \end{cases}$$

$$g_{mr} = D' \times g_s$$

### 1.4 局部加法

对于高分辨率图象的黑色区域, 采用加法融合的方法叫局部加法, 主要步骤如下:

(1)首先采用一个较小的空间高通滤波器对高分辨率图像滤波;

(2)将结果与低分辨率图像的每个波段加权相加;

(3)然后再规划到灰度范围内,这样就得到融合图像。

设高分辨率滤波图像的灰度为  $g_s$ , 低分辨率图像 3 个波段的灰度值分别为  $g_{tr}, g_{tg}, g_{tb}$ , 融合后图像 3 个波段的灰度值分别为  $g_{mr}, g_{mg}, g_{mb}$ , 则有

当  $g_{tr} + g_{tg} + g_{tb} = 0$  时,  $g_{mr} = g_{mg} = g_{mb}$

当  $g_{tr} + g_{tg} + g_{tb} > 0$  时,

$$g_{mr} = 0.75g_{tr} + 0.25g_s \times g_s / (g_{tr} + g_{tg} + g_{tb})$$

$$g_{mg} = 0.75g_{tg} + 0.25g_s \times g_s / (g_{tr} + g_{tg} + g_{tb})$$

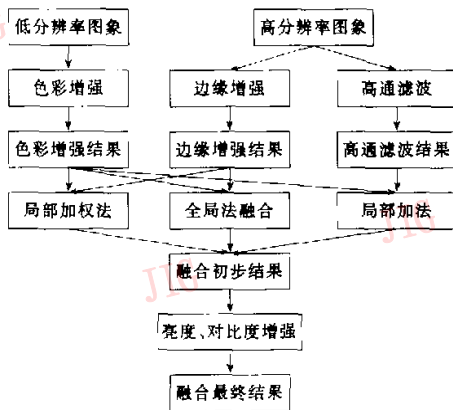
$$g_{mb} = 0.75g_{tb} + 0.25g_s \times g_s / (g_{tr} + g_{tg} + g_{tb})$$

这种方法特别适合于 TM 与 SPOT 的融合, 因为 SPOT 图像上山区影像色调一般比较暗而 TM 图像上山区影像因有植被覆盖通常比较亮, 假如直接用其他方法进行融合必将使得融合图像变暗, 如果用局部加法则可使得图像既不损失原有光谱信息, 又可以得到高分辨率的纹理信息。

以上几种方法各有不同的特点, 其中全局法和色彩法适合于对整幅图像进行融合, 而局部加权法和局部加法只能用于图像局部区域的融合。

## 2 多源遥感图像融合流程

融合流程框图如下:



多源遥感图像的融合流程并不是一个简单的融合, 而是一系列规范化的遥感图像处理, 其每一个步骤看起来比较简单, 而实际上要达到一定要求却并不容易。基本上包括: 图像配准、图像预处理、图像融合与图像后处理这样几个过程。

### 2.1 图像配准

图像配准是将两幅图像进行空间配准, 配准的精度不得超过一个象元, 否则融合结果会出现重影, 影响融合质量。

图像配准包括相对配准和绝对配准。

(1)相对配准 由于它是从多个图像中选择某一段图像作为参考图像, 然后将另一幅图像与参考图像进行配准, 其坐标系是任意选择的, 因此也叫图像对图像的配准, 具体方法是先在两个图像上选择同名控制点, 然后用二次多项式模型建立两个同名象素的关系, 最后重采样成相同分辨率的图像。

(2)绝对配准 即在同一地理坐标系下对多幅图像进行几何纠正, 最后重采样成相同分辨率的图像。

### 2.2 图像预处理

图像预处理包括图像色彩增强、图像边缘增强与图像滤波。

(1)图像色彩增强 对低分辨率图像进行色彩增强, 即通过调整亮度、色度、饱和度等来拉大不同地物之间的色彩反差, 但对局部地区的细节不必要要求太高, 以保证整体效果。由于这样既不会破坏低分辨率图像的原有光谱信息, 又使得图像色彩比较明亮, 因此就可以把低分辨率图像的光谱信息充分反映到融合图像上<sup>[10]</sup>。

(2)图像边缘增强 对高分辨率图像进行边缘增强, 既不能把高分辨率图像的孤立点增强, 又要使得图像边界清晰、层次分明, 并尽可能降低噪声, 只有这样才能把高分辨率图像的空间纹理信息有效地融合到低分辨率图像中去。

(3)图像滤波 采用一个较小的空间高通滤波器对高分辨率图像进行滤波, 得到滤波图像, 由于这个滤波图像应尽量保持线性信息, 不能包含噪声, 因此这个滤波图像保留了高分辨率图像的高频纹理信息, 将滤波高频图像与低分辨率图像进行融合, 就保持了高分辨率图像的高频纹理信息。

### 2.3 图像融合

图像融合主要是采用全局法或色彩法, 并辅以其他两种局部算法, 而对那些低分辨率图像中的明显斑块(白色斑块或黑色斑块)则采用局部加权法, 这样虽然不能完全消除斑块, 但可以减少斑块对图像造成的影响; 对那些高分辨率图像中的明显黑色区域则采用局部加法, 这样可以消除黑色区域带来的光谱信息的丢失, 又可以得到黑色区域的部分空间信息。

## 2.4 图象后处理

图象后处理主要是使图象改善视觉效果,增强专题信息.因为融合后的图象往往比原始低分辨率图象暗一些,所以必须进行增强才能满足融合要求.这种增强处理一般是通过对图象进行色度拉伸、锐化、彩色平衡、调整色度亮度饱和度、调整亮度和对比度来增强图象,而增强的原则是不破坏图象的色彩信息,也不能丢失图象的纹理信息,以便获得一个既有光谱信息又有空间信息的图象<sup>[11]</sup>.

## 2.5 融合图象效果评价

融合图象效果主要是通过目视评价,具体评价内容如下:

(1)判断融合影象是否配准,如果配准不好,那么融合图象就会出现重影,反过来通过图象融合也可以检查配准精度.

(2)判断融合图象整体色彩是否与天然色彩保持一致,如居民点影象是否明亮突出,水体影象是否呈现蓝色,植被影象是否呈现绿色.

(3)判断融合图象整体亮度、色彩反差是否合适,是否有蒙雾或斑块.

(4)判断融合图象纹理及彩色信息是否丰富,光谱与空间信息是否丢失.

(5)判断融合图象的清晰度是否降低,地物影象边缘是否清楚.

本文基本上是对光学图象的融合,如对 TM 图象、SPOT 图象与航片等进行研究.

## 3 实验结果分析

(1)选取温州市区 TM 图象(分辨率为 30m)与 SPOT 全色图象(分辨率为 10m)进行融合,首先将两幅图象进行配准、重采样成相同分辨率(10m)的图象,然后分别对两个图象进行预处理,再对两幅图象用全局法,局部地区采用局部加权法与局部加法辅助进行融合,最后对融合后的图象进行增强处理,得到最终结果.融合图象既保持了 TM 图象的颜色,又吸收了 SPOT 图象的纹理信息,特别在城区部分其纹理比较细,山区与河流色彩比较鲜艳.结果见图版 I 图 1.

(2)选取汕头市 TM 图象(分辨率为 30m)与航空图象(分辨率为 3.5m)进行融合,先将两幅图象进行配准重采样成相同分辨率(5m)的图象,然后分别对两个图象进行预处理,再对两幅图象用全局法,

局部地区采用局部加权法与局部加法辅助进行融合,最后对融合后的图象进行增强处理,得到最终结果.融合图象既保持了 TM 图象的颜色,又吸收了航片图象的纹理信息,特别在城区部分纹理比较细,连房屋也看得清楚,而山区与河流影象色彩也比较鲜艳,结果见图版 I 图 2.

融合图象空间分辨率接近于高分辨率影象,表现为城区纹理结构清楚,道路清晰,而融合图象的光谱分辨率则接近于 TM 图象,即植被与河流影象色彩鲜艳.

## 4 应用前景

遥感图象的融合有效地利用了原始图象的光谱信息与纹理信息,因此融合图象更好地反映了两幅原始图象的特征.近年来图象的融合在遥感土地利用动态监测、防洪防灾、地理信息系统等方面发挥了很大的作用.

### (1) 遥感土地利用动态监测

将两个时相的图象进行融合,可以发现土地的变化,从而可为土地部门的决策提供有力的依据.如在 1999 年国土资源部的遥感土地利用动态监测项目中就发挥了很大的作用.

### (2) 防洪防灾

在江河湖地区,将两个时相的图象进行融合,可以发现水域的变化,从而为水利部门的决策提供了有力的依据.如在 1998 年国家测绘局的灾后重建测绘保障项目中就发挥了很大的作用.

### (3) 地理信息系统

将两个不同的图象进行融合,既可以提高图象分辨率,又使融合后图象具有色彩,从而为地理信息系统提供了良好的基础数据层.

### (4) 其他方面

在利用遥感图象进行地形图更新方面,图象融合可提高图象的识别精度,从而提高地图更新的速度与质量.

## 参 考 文 献

- 1 倪秀平,肖国超,万志龙.小波变换在遥感图象数据融合中的应用.解放军测绘学院学报,1998,15(3):185~187.
- 2 李军,林宗坚等.基于特征的遥感影象数据融合方法.中国图象图形学报,1997,2(2):103~107.
- 3 刘海原.遥感图象数据复合方法.解放军测绘学院学报,1998,15(4):267~269.

- 4 兰国兴,艾国强.信息融合技术.计算机世界,1997-05-19:107~108.
- 5 贾永红.遥感多光谱影像空间分辨率增强的融合方法.遥感技术与应用,1997,2(1):19~23.
- 6 邱志成.遥感图象数据复合方法的研究.测绘学报,1990,19(4):290~297.
- 7 Costantini M, Farina A, Zirilli F. The fusion of different resolution SAR image. In: *Proceedings of the IEEE*, 1997, 85(1): 139~146.
- 8 Chavez P S, Sides S C, Anderson J. Am. Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data, landsat TM and SPOT Panchromatic PE & RS, 1991, 57(3):265~303.
- 9 Yocky D A. Image merging and data fusion by means of the discrete two dimensional wavelet transform. *J Opt Soc Am A*, 1995, 12(9):1834~1841.
- 10 Cliche F, Bonn F, Teillet P. Integration of the SPOT panchromatic channel into its multispectral mode for image sharpness enhancements. *PE&RS*, 1985, 51:311~316.
- 11 Ehlers M. Multi-sensor image fusion techniques in remote sensing, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 1991, 46:19~30.



刘晓龙 1967年生,1994年获中国测绘科学研究院摄影测量与遥感专业硕士学位,主要从事遥感图象分析和制图应用研究,发表论文6篇。