

文章编号: 1007-4619 (2002) 03-0183-05

# 遥感影像镶嵌时拼接缝的消除方法

朱述龙<sup>1,2</sup>, 钱曾波<sup>1</sup>

(1. 解放军信息工程大学 测绘学院遥感信息工程系, 河南 郑州 450052; 2. 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉 430079)

**摘 要:** 对现有的影像拼接缝消除方法的优缺点进行了分析, 提出了拼接缝消除的强制改正方法, 并用大量的实际图像进行了试验。结果表明: 所提出的方法具有较好的拼接缝消除效果, 且算法简单, 易于实现, 可以处理彩色和黑白等多种图像。

**关键词:** 影像镶嵌; 拼接缝消除; 小波变换法; 重叠影像法; 强制改正法

**中图分类号:** TP751.1 **文献标识码:** A

## 1 引 言

遥感影像镶嵌是将两幅或多幅遥感影像(它们有可能是在不同的成像条件下获取的)拼在一起, 构成一幅整体影像的技术过程。在遥感影像处理中, 为了获得更大范围的地面影像, 通常需要将多幅(景)遥感图像拼成一幅影像图, 在这个过程中, 影像镶嵌是非常重要的步骤。影像镶嵌的技术问题之一是如何将多幅影像从几何上拼接起来, 这一步通常是先对每幅图像进行几何校正, 将它们规划到统一的坐标系中, 然后对它们进行裁剪, 去掉重叠的部分, 再将裁剪后的多幅影像装配在一起, 形成一幅大幅面的影像。影像镶嵌的技术问题之二是消除几何拼接以后的图像上因灰度(或颜色)差异而出现的拼接缝。本文只讨论拼接缝的消除问题。

一般地, 在拼接缝附近, 两幅图像灰度上的细微差别都会导致明显的拼接缝, 而在实际的成像过程中, 被拼接的图像在拼接边界附近灰度(或颜色)的细微差别几乎是不可避免的。地面环境的微小变化、成像角度的不同等因素都可能造成这种灰度(或颜色)上的差异。因此在影像镶嵌过程中, 需要一种技术能够修正镶嵌影像在拼接缝附近的灰度(或颜色), 使之在拼接缝处的灰度(或颜色)有一个光滑的过渡, 不产生突变效应。

现有的影像拼接缝消除方法主要有两种: 基于

小波变换的拼接缝消除方法<sup>[1,2]</sup>和基于重叠影像的拼接缝消除方法<sup>[3,4]</sup>。这两种方法各有优缺点, 前者理论严密, 但实现起来比较困难, 处理过程中对计算机内存的要求很高, 后者算法简单, 但当影像几何镶嵌精度不高时, 处理效果不好。作者在对上述两种方法的优缺点进行理论分析的基础上, 提出了一种拼接缝消除的强制改正方法, 取得了较好的结果。

## 2 现有的拼接缝消除方法及其缺点

### 2.1 基于小波变换的拼接缝消除方法

从数学上讲, 镶嵌图像上拼接缝的消除相当于图像灰度曲面的光滑连接, 但实际上图像的拼接与曲面的光滑连接不同, 图像灰度曲面的光滑化表现为对图像的模糊化, 从而导致图像模糊不清。实践表明: 在拼接的部分, 若图像的空间频率的改变由  $W_{\min}$  到  $W_{\max}$ , 记  $T_l$  和  $T_s$  分别为  $W_{\min}$  与  $W_{\max}$  对应的波长, 则为使拼接后的图像不出现拼接缝, 灰度值修改影响的范围应不小于  $T_l$ , 而为了使拼接后的图像清晰, 灰度值修正影响的范围又要大于  $T_s$  的两倍。显然当图像在拼接边界附近的频率带的频带稍宽一点的话, 要找出一个合适的灰度值修正影响范围是不可能的。

文献[1]利用小波变换作为工具从理论上解决了上述问题。由于小波变换函数实际上是一个带通滤波器, 在不同尺度下的小波分量, 实际上占有一定

收稿日期: 2001-02-26; 修回日期: 2001-04-26

©1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

**作者简介:** 朱述龙(1964—), 男, 生于安徽黄山市, 1997年6月在解放军测绘学院获博士学位, 现为解放军信息工程大学测绘学院副教授, 武汉大学博士后。研究领域为遥感影像处理、图像识别和计算机视觉。发表学术论文近30篇, 专著2本。

的频宽,小波变换中尺度参数  $j$  越大,该分量的频率越高,因此每一个小波分量所具有的频宽是不大的。把待拼接的两幅图像先按小波分解的方法,将它们分解为不同频带的小波分量,然后在不同的尺度下选择不同的灰度值修正影响范围,把两幅图像按不同尺度下的小波分量先拼接起来,然后再用恢复算法,恢复整个图像,这样拼接的结果可以很好地兼顾清晰度和光滑度两个方面的要求。具体做法如下:

设图像  $A$  与图像  $B$  是需要拼接或镶嵌的两幅图像,它们的数据分别是  $C_A^0 = C_A^0(n, m)$ 、 $C_B^0 = C_B^0(n, m)$ ,利用正交的小波正变换算法,可以得到各小波分量如下:

$$(d_A^{11}, d_A^{12}, d_A^{13}), \dots, (d_A^{N1}, d_A^{N2}, d_A^{N3}), C_A^N$$

$$(d_B^{11}, d_B^{12}, d_B^{13}), \dots, (d_B^{N1}, d_B^{N2}, d_B^{N3}), C_B^N$$

现假设要把图像  $B$  中的一部分  $\Omega_B$  镶嵌到图像  $A$  中(图 1),则令:

$$K(x, y) = x_{\Omega_A}(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{如果 } (x, y) \in \Omega_A \\ 0 & \text{如果 } (x, y) \in \Omega_B \end{cases} \quad (1)$$

如果令  $K(x, y)$  的样本值为  $C_{\Omega}^0$ ,它在各个尺度下的光滑化分量为  $C_{\Omega}^1, C_{\Omega}^2, \dots, C_{\Omega}^N$ ,令:

$$d^{ij}(k, l) = C_{\Omega}^{ij}(k, l) d_A^{ij}(k, l) + [1 - C_{\Omega}^{ij}(k, l)] d_B^{ij}(k, l) \quad (2)$$

$$C^N(k, l) = C_{\Omega}^N(k, l) C_A^N(k, l) + [1 - C_{\Omega}^N(k, l)] C_B^N(k, l) \quad (3)$$

其中  $i=1, 2, \dots, N; j=1, 2, 3$ ; 取  $\{(d^{11}, d^{12}, d^{13}), \dots, (d^{N1}, d^{N2}, d^{N3}), C^N\}$  为拼接后图像的正交小波变换量,则由小波逆变换算法可以得到消除了拼接缝效应的图像。值得注意的是,在小波变换时,应对图像边界进行处理,否则会产生信息丢失<sup>[5]</sup>。

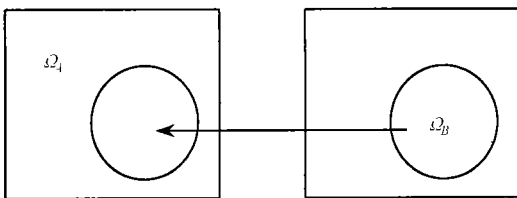


图 1 影像镶嵌示意图

Fig.1 The demonstration of image mosaicking

基于小波变换的拼接缝消除算法理论上是严密的,但在实际应用中尚存在以下缺点:(1)该算法比较复杂,需要在小波变换域内先进行拼接处理,在计算过程中涉及到大量的浮点运算和边界处理问题,且在处理过程中需要保留小波变换域内各个分辨率

上的数据,对实际生产中的大容量影像进行处理时计算机内存开销很大,处理时间较长;(2)该算法只给出了两幅图像之间的拼接缝消除算法,没有给出多幅(3幅以上)图像之间的拼接缝消除算法,因此对于多幅图像的镶嵌问题只能两两进行处理;(3)该算法无法对于3个波段的彩色图像进行处理;(4)该算法对于影像重叠度很小的情况(如隔片作业时)不适用。

## 2.2 基于重叠影像的拼接缝消除方法

文献[3]给出了基于重叠影像的拼接方法。该算法对拼接缝上任意一点两侧的灰度按如下公式进行处理:

$$\begin{cases} I_i = IA_i + (IB_i - IA_i) \times K \\ K = \frac{i}{W} \quad 0 \leq i \leq W-1 \end{cases} \quad (4)$$

其中  $I_i$  为平滑处理后得到的像元灰度值(与拼接缝上该点距离为  $i$  的像元),  $IA_i, IB_i$  分别为重叠区上该位置两景镶嵌图像的像元灰度值,  $W$  为灰度平滑宽度,  $K$  为权数。  $W$  由用户给出,其值小于重叠区的宽度,  $K$  在平滑范围内呈线性反向变化。

该算法在图像几何镶嵌精度较高(几何拼接误差在1个像元以内)时是非常有效的。但是对于遥感图像,由于多种因素的影响,如控制点的误差、DTM的误差、计算过程中的重采样误差等,几何拼接精度很难保证在1个像元以内,在这种情况下基于重叠影像的拼接缝消除方法效果不是十分理想。另外,对于影像重叠度很小的情况(如隔片作业时),该算法不适用,而在正射影像图制作过程中,为了减少工作量,隔片作业是经常采用的方法。

## 3 拼接缝消除的强制改正方法

为了克服上述两种方法的缺点,作者提出了如下的拼接缝强制改正方法。该方法的基本思想是:首先将校正后的多幅影像作几何镶嵌处理,形成整幅影像;对于几何镶嵌后的整幅图像上的每一段裁剪线,如果它是垂直方向的裁剪线段(图2),则统计该裁剪线段左右两侧一定范围内的灰度差,然后将灰度差在该裁剪线段左右两侧的一定范围内强制改正掉;如果它是水平方向的裁剪线段(图3),则统计该裁剪线段上下两侧一定范围内的灰度差,然后将灰度差在该裁剪线段上下两侧的一定范围内强制改正掉。这个过程通常形象地称之为羽化处理(feathering)。

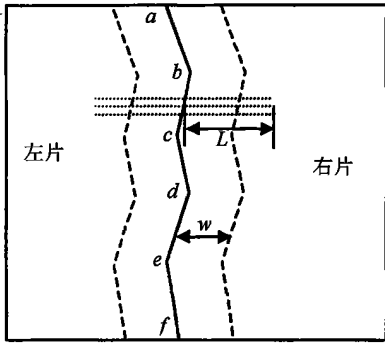


图 2 左右片之间的拼接缝处理  
Fig.2 Seam removal between left and right images

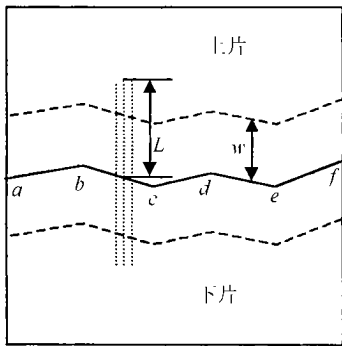


图 3 上下片之间的拼接缝处理  
Fig.3 Seam removal between upper and lower images

例如在图 2 中,裁剪线 *abcdef* 上的每一线段都是垂直方向的裁剪线段,由于多种因素的影响,通常会在裁剪线位置形成明显的拼接缝。该算法首先统计裁剪线段上任一像素位置左右两侧一定范围 *L* 内的灰度差  $\Delta g$ ,然后将灰度差  $\Delta g$  在裁剪线段上该像素位置左右两侧一定范围 *w* 内改正掉,参数 *w* 称作改正宽度。由于上述处理过程是沿裁剪线逐像素进行的,为了避免改正结果出现条纹效应,每个像素位置的灰度差  $\Delta g$  应在该像素位置前后的多个位置上共同统计得到。改正宽度 *w* 的大小与灰度差  $\Delta g$  成正比, $\Delta g$  越大,改正宽度 *w* 也越大。灰度改正时,离拼接缝越近的像点,灰度值改正得越多,离拼接缝越远的像点,灰度值改正得越少,即到拼接缝的距离为 *d* 的像点的灰度值改正量  $\Delta g'$  为:

$$\Delta g' = \frac{w-d}{w} \cdot \Delta g \quad (5)$$

由于在栅格图像中,对行、列的处理是比较方便的,因此本算法的所有操作都是在裁剪线段的左右或上下之间进行的,这样就需要判断裁剪线段的方向。例如在图 2 中,对于裁剪线 *abcdef* 上的线段 *ab*,如果

$$\left| \frac{y_b - y_a}{x_b - x_a} \right| \leq 1 \quad (6)$$

则线段 *ab* 被认为是水平方向的裁剪线段,否则线段 *ab* 被认为是垂直方向的裁剪线段,式中  $(x_a, y_a)$  和  $(x_b, y_b)$  分别为线段端点 *a* 和 *b* 的像素坐标。该方法的一维情况如图 4。

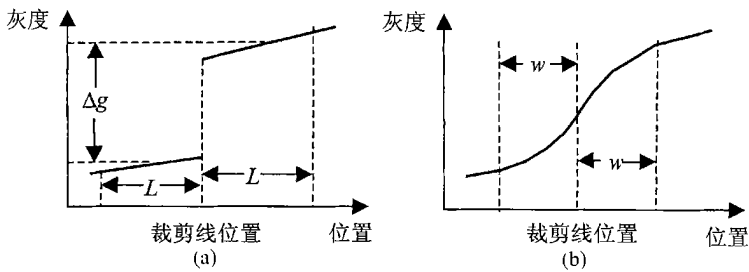


图 4 一维图像强制改正示意图  
(a) 处理前在裁剪线位置处存在突变;(b) 处理后在裁剪线位置处无突变

Fig.4 The demonstration of one-dimensional signal

需要强调的是,在影像几何镶嵌前,应分别将每幅影像灰度(或颜色)调整得大体一致,这样在镶嵌上的拼接缝消除工作就简单一些。

对于彩色拼接缝消除问题,由于彩色数字图像(24 位)可以分解为红,绿,蓝 3 个分量图像(8 位),如果用上述方法先消除红,绿,蓝 3 个分量图像上的拼接缝现象,再把处理后的红、绿、蓝 3 个分量图像

进行彩色合成,就可以得到消除了拼接缝现象的彩色图像。

#### 4 实验和结论

为了验证本文提出的拼接缝消除的强制改正方法的实际效果,我们分别用黑白图像和彩色图像进

行了实验,本文只给出了黑白图像的实验结果。图 5(a)是两幅黑白图像经几何镶嵌后在拼接处的局部影像,从图中可以看出:由于两幅图像的灰度和反差不一样,形成了明显的切割线效应,图 5(b)是图 5(a)经过本文提出的算法处理后的结果,已看不出切

割线的存在。图 6 是 3 条航线共 24 片黑白图像经过几何镶嵌后的结果,在它上面有明显的拼接缝效应,图 7 是图 6 经过拼接缝处理后的结果,在它上面已没有拼接缝效应存在。这些实验说明:本文提出的算法具有较好的拼接缝消除效果。

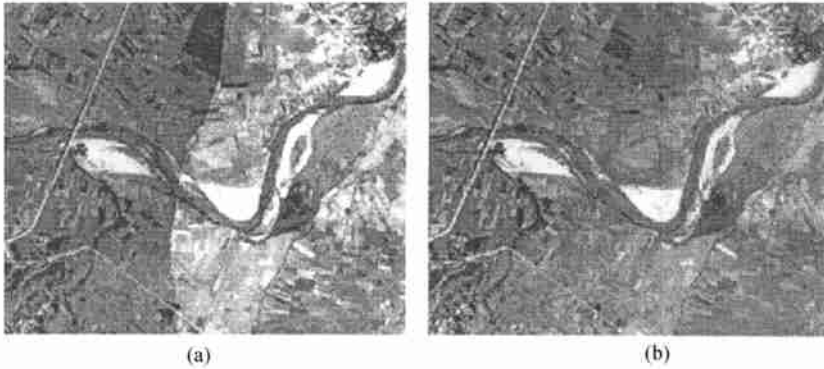


图 5 黑白图像上拼接缝的处理(两片镶嵌处的局部影像)  
(a)处理前;(b)处理后

Fig.5 Seam removal on the gray-level image (local)



图 6 3 条航线共 24 片黑白图像几何镶嵌的结果(有明显的拼接缝效应)

Fig.6 The result of geometric mosaicking with 24 pieces in 3 lines, with obvious seams



图 7 图 6 经过拼接缝处理后的结果(已没有拼接缝效应)

Fig.7 The result after seam removal of Fig.6, without seams

强制改正方法的主要优点是:只要多幅影像能在几何上拼接起来,就可以对拼接后的整幅图像上的拼接缝进行处理,它不受影像重叠度的大小、影像数目的多少、几何镶嵌精度等因素的影响,且该方法简单,易于编程实现。

本文提出的拼接缝消除的强制改正方法已在我们研制的“数字正射影像图制作系统”中得到应用,该系统已先后完成了北京市黑白正射影像图、河北省汉川市彩色正射影像图制作的生产任务,大量的生产实践检验了该算法在消除拼接缝方面的有效性。

## 参考文献 (References)

[1] Wang Jianzhong. Image Mosaicking and its Edge Processing [J]. *Pat-*

*tern Recognition and Artificial Intelligence*, 1993, 6(3): 189—195. [王建忠. 图像镶嵌及其边界处理[J]. 模式识别与人工智能, 1993, 6(3): 189—195.]

[2] Zhu Shulong Yang Xuhua. The Seam-line Removing in the Generation of Orthophoto Maps[A]. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* [C]. Vol. XXXIII, Part B4, 1247-1251. Amsterdam, 2000.

[3] Yang Wenjiu. Digital Image Mosaicking and Registration[A]. Ma Junru. *Chinese Progress in Remote Sensing* [C]. Beijing: Worldwide Academic Press, 1992. [杨文久. 遥感数字图像的配准和镶嵌[A]. 马俊如. 中国遥感进展[C]. 北京: 万国学术出版社, 1992.]

[4] S Peleg. Elimination of Seams from Photomosaics[J]. *Computer Graphics and Image Processing*, 1981, 16: 90—94.

[5] Zhu Shulong, Gen Zexun. Wavelet Theory and its Application to Image Processing[M]. Beijing: PLA Press, 1999. [朱述龙, 耿则勋. 小波理论在图像处理中的应用[M], 解放军出版社. [1999.]

# The Seam-line Removal under Mosaicking of Remotely Sensed Images

ZHU Shu-long<sup>1,2</sup> QIAN Zeng-bo<sup>1</sup>

(1. Department for Remote Sensing Information Engineering, Institute of Surveying and Mapping, The PLA University of Information Engineering, Zhengzhou, 450052, China; 2. LIESMARS of Wuhan University, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** Image mosaicking is one of the most important tasks in the generation of orthophoto maps, which includes geometric mosaicking and gray seam-line removal. Geometric mosaicking can be strictly realized in computer according to the theory of Photogrammetry, whereas gray seam-line removal is almost not well resolved. The focus of the paper lies on the removal of the gray seam-lines in the mosaicked image. Firstly, the analysis of the advantages and disadvantages of existing methods such as "wavelet transform method" and "overlapping-image method" is performed, and then the hard correction method is presented and tested using many real images. The main idea of this method is as follows: for every pixel of cut-lines in the whole mosaicked image, if it is the left-right one, we compute the average gray difference between the pixels within a certain extent of the two sides of the cut-line, and then adjust the gray difference to the pixels at a certain extent of the two sides of the cut-line; if it is the top-bottom one, this operation is done in top-bottom sides of the cut-line. The results indicate that the method proposed above is very effective, simple, easy to realize and fit for gray-level and color images.

**Key words:** image mosaicking; seam-line removal; wavelet transform method; overlapping-image method; hard correction method