

数字镶嵌中的两维接边选择和 彩色图像的镶嵌

——IRSA-2 遥感图像处理系统发展之五*

李丽 杨世仁 高朋

(中国科学院遥感应用研究所)

1985年12月8日收稿

摘 要

在计算机图像镶嵌中,两相邻图像间接缝的选择是个关键性步骤。常用的方法是根据某种误差准则来逐行(列)选择接边点。现有的误差准则中存在的问题是水平接边质量比垂直接边的质量差。本文提出用两维接边准则代替原有一维准则,使水平接边与垂直接边质量相当。对多波段彩色合成图像数字镶嵌,提出了在三组图像重叠区加权绝对灰差和图像上用两维准则选择寻找接边点的方法。取得了较好的结果。

一、引 言

在计算机图像处理中,数字图像镶嵌是一项重要的处理技术。使用镶嵌技术可将若干幅陆地卫星图像构成一幅大的镶嵌图,用来进行大面积综合分析。根据我国地图分幅标准,对卫星影像重新分幅具有重要的实际意义。分幅之前必须先将几幅图像镶嵌起来。以构成分幅地区的完整覆盖图像。这样,就弥补了陆地卫星影像固定分幅所存在的一些问题,大大增加了使用范围。尽管遥感图像覆盖面积很大,但对于某些应用来说,往往还需要将几幅图像拼接起来。例如,地质上的线性构造和某些水文特征可能延续数千公里跨越两幅或多幅图像,只有镶嵌起来才能观其全貌。除此,遥感图像的云盖是一个很难避免的问题。全球平均云盖率达40%,大部分遥感图像都含10-30%的云覆盖。云覆盖及其阴影严重污染了图像,遮掉了大量有用信息。利用低频抑制滤波器可将浅淡的云盖从图像中去掉。但当云盖较浓重时,滤波图像将会失真,这些方法也无效。使用同一地区的时相相近的两幅或多幅图像,用数字镶嵌的方法,把有云盖的部分挖掉、补以无云的部分,构成一幅新的图像,这样可以获得无云或者无重要云盖的图像。

要镶嵌的几景图像常常是在不同日期、甚至不同季节和不同年份获取的,把这些图像

* 对朱重光等同志在实验中所做的工作表示感谢。镶嵌图像实验结果另文发表。

镶嵌成一幅图像时,就会出现人为的假“边缘”或“接缝”。这些接缝是由于图像重叠部分的地物景象不连续或存在灰度差别造成的,它们有时比图像本身的信息还显著,给图像判读带来很大困难。

根据使用要求,镶嵌图需要和某种投影的地图相配准,或者和参考图像相配准。这实质上是从地图或参考图像上选取控制点,进行几何纠正或投影变换处理。对于高山或丘陵地带的遥感图像,因高程差产生的视差在两景左右镶嵌图幅重叠区中的方向相反。使景物变得不连续而需要用数字高程数据来进行高程差的纠正。对于多光谱扫描仪图像,如陆地卫星 MSS, TM 和 SPOT 卫星图像,只在沿扫描线方向存在高程视差,因此用数字地形模型 DTM 沿扫描线方向的剖面数据,就可以进行高程视差的纠正。

数字图像镶嵌时遇到的另一个重要问题是由于不同时间大气和地球表面条件改变而引起的各景图像重叠区的灰度差别。例如大气传输特性和日照角的改变会造成图像的总灰度改变。烟云和积雪会遮盖局部地表,土壤的反射率在降雨前后会有明显的不同,农田植被会随季节改变等等。各景图像间的灰度差别将造成镶嵌接缝。

因此,数字图像镶嵌需要有四个处理步骤:图像间的灰度调整;图像的几何纠正和配准;镶嵌接边点的选择;以及镶嵌接缝的平滑。

接边点的选择是数字镶嵌中的重要步骤,也是本文讨论的重点。在单波段图像数字镶嵌中,提出并实现了两维误差准则的接边点选择方法,解决了现有误差准则中存在的水平接边质量问题,取得了很好的效果。对多波段彩色图像镶嵌的接边点选择提出了 R, G, B 三组重叠区加权绝对灰差和图像上用两维接边选择方法,并在 IRSA-2 图像处理系统^[1]上实现。

二、接边点选择方法

接边选择有两种原则,一种是位置差最小原则;另一种是灰度差最小原则。位置差最小原则是选择接边点,使两幅相邻图像在接边处的相对位置错动最小。一般的选择方法是首先在一幅图像的重叠区内定义一多边形折线,然后利用相关技术将折线定义出的接边点,在另一幅图像中把同名点寻找出来,这样由多边形所定义出的接边,其相邻图像间的位置差是最小的。灰度差最小原则是选择接边,使相邻图像间在该接边处的灰度差别最小。

最小横向(沿扫描线方向)灰差和准则及按最小代价途径准则来选择左右图像的接边点是常用的选择方法^[2,3],设左右图像的像元灰度值分别用 f 和 g 来表示,并设重叠区域的宽度为 K 个像元,则重叠区的绝对灰差图像第 i 扫描行的像元值 $d_{i,k}$ 为

$$d_{i,k} = |f_{i,k} - g_{i,k}| \quad k = 1, 2, 3 \cdots N \quad (1)$$

用最小横向灰差和准则选择接边点时,接边点的质量量度,为沿重叠区绝对差值图像扫描行的 $n+1$ 个像元值之和为最小。即对第 i 扫描行,若

$$V_k = \sum_{i=-\frac{n}{2}}^{\frac{n}{2}} d_{i,k+i} \quad (2)$$

对于所有 $\frac{u}{2} < k < K - \frac{u}{2}$ 为最小, 则第 k 个像元将选作接边点。这里求和的范围为

以 k 点为中心左右各 $u/2$ 个像元, 这样选择的接边点在各扫描行上的位置 k 是随机的, 如图 1 所示。因此, 有助于消除垂直的边线, 但是它不能消除水平方向的边线。例如, 若接边点在第 r 行上位于第 s 个像元, 而在第 $r+1$ 行上位于第 s' 个像元, 则第 $s+1$ 到第 $s'-1$ 个像元, 在 r 扫描行上取自右图像, 而在 $r+1$ 扫描行上取自左图像。若左右图像在第 $s+1$ 到 $s'-1$ 个像元处存在灰度差别, 将在镶嵌图上出现水平边线 (图 2)。

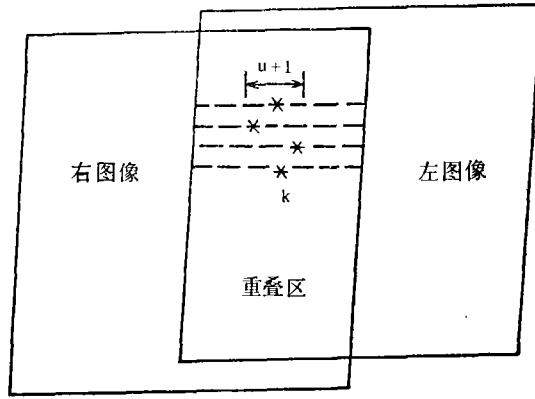


图 1 一维接边选择方法

Fig. 1 One-dimensional seam point searching method
*表示接边点, 其水平方向范围为 u 。

为减小水平边线, Milgram 建议把下一扫描行的接边点搜索范围限制在 $[K-r+1, K+V]$ 范围, 其中 v 随上一扫描行的 v_k 值指数减小。

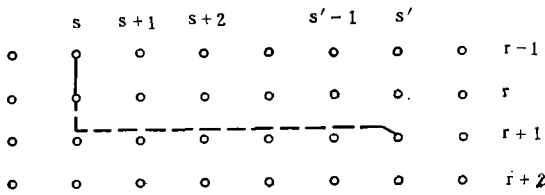


图 2 一维接边点选择中的水平人为边缘
Fig. 2 Horizontal artificial edge in the one-dimensional seam point search

最小绝对差逐行选择方法, 在重叠区顶端选取最小灰差和点为接边点后并不能防止自然地进入绝对灰差大的区域, 从而选择了一条非最佳的接边。因此另一种较好的接边点选择准则为最小代价途径准则。

在绝对灰差图像中, 像元值最小的点是左右图像灰度差别最小的点。从重叠区图像的顶端到第 r 扫描行,

接边点的代价为

$$C_r = \sum_{j=1}^r d_{j,k_j}, \quad 1 \leq k_j \leq K \text{ 且 } |k_{j+1} - k_j| \leq \frac{u}{2} \quad (3)$$

其中 k_j 和 k_{j+1} 分别为第 r 和第 $r+1$ 扫描行上的采样点 (列)。最小代价途径即 C_r 值为最小的途径。设从图像顶端到第 r 行的最小代价为 $C_r(K_r)$, 则从 r 到第 $r+1$ 行的每个位置均为可能选择的途径, 而最小代价途径为

$$C_{r+1}(K_{r+1}) = \min_{|K_{r+1} - K_r| \leq \frac{u}{2}} [C_r(K_r) + d_{j,k}] \quad (4)$$

这一过程重复到 $r+1 = N$, 即到达重叠区的最后一行为止。图 3 为最短路径方法的示意图。为减少水平接边差, 把第 K_{r+1} 行的搜索范围限制在 $[K_r - \frac{u}{2}, K_r + \frac{u}{2}]$ 的范围。这一方法的计算量要比前一种方法来得大, 这一方法同样存在水平接边比垂直接边差的问题。

不难想象, 如果把重叠区的绝对灰差表达成三维图像, 则 (4) 式实际上是从顶端到底

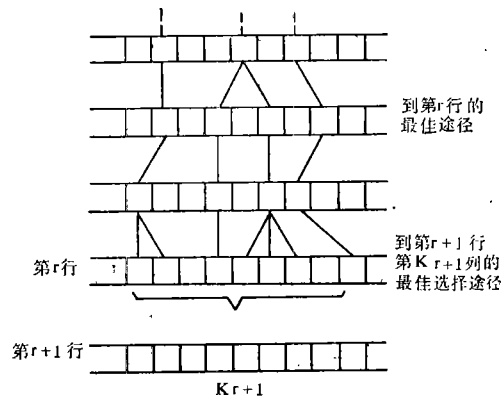


图 3 从前面的最佳途径到新的一行的关系

Fig. 3 Relationship of previous best paths to positions of new row

部沿谷底搜索爬坡最少的途径。

除了左右镶嵌之外,还有上下镶嵌。对于上下镶嵌,接边点是逐列选择的。也可考虑转置,然后按左右镶嵌的方法选择接边。

三、二维接边选择方法

前两种方法均是根据镶嵌图像接边灰度差最小准则来选择接边点。它们存在的共同缺陷是衡量和选择接边是一维准则,即对左右镶嵌的图像只考虑了垂直接边两侧的灰度差别,而水平方向是使用限制接边点的水平间隔或垂直接边差的大小来加以限制。实际上,接边就是两幅图像的分界线,因而水平和垂直边线对造成镶嵌图像人为边缘的影响是相同的,只重视垂直接边而忽视水平接边的一维衡量准则有些不合理,为此本文提出了二维接边选择方法。

二维接边选择方法是根据垂直和水平灰差最小的准则来选择接边的方法。此方法除保留了一维准则下对垂直接边差的约束外,同时考虑了水平接边差在沿水平方向寻找接边时,从始点到终点之间的最大水平接边差与最小接边差之差不超过域值 δ ,从而保证水平接边与垂直接边具有同等的质量。

设 V_k 和 H_k 分别为垂直和水平接边的灰差和,这里

$$V_k = \sum_{i=-\frac{u}{2}}^{\frac{u}{2}} d_{j,k+i} \tag{5a}$$

$$H_k = \sum_{i=-\frac{u}{2}}^{\frac{u}{2}} d_{j+i,k} \tag{5b}$$

若第 r 行的接边点为 (r, s) , 对第 $r + 1$ 行,先向右搜索,令

$$V_R = \min(V_{r+1,s}, V_{r+1,s+1}, \dots, V_{r+1,s+t}) \tag{6a}$$

为像元 $(r + 1, s)$ 到 $(r + 1, s + t)$ 的最小横向灰差和。其中, $t = 0, 1, 2, \dots, N -$

$s - u/2$, N 为重叠区沿扫描行的像元数, u 为预先给定的搜索范围。令

$$H_R = \max(H_{r+1,s}, H_{r+1,s+1}, \dots, H_{r+1,s+t}) \quad (6b)$$

为像元 $(r + 1, s)$ 到 $(r + 1, s + t)$ 的最大纵向灰差和。向右搜索从 $i = 0$ 开始。若

$$\frac{1}{u + 1} |V_R - H_R| \leq \delta, \text{ 且 } t \leq K - s - \frac{u}{2} \quad (6c)$$

则继续向右搜索, 其中 δ 为给定的阈值; 否则停止向右搜索。开始从 $(r + 1, s)$ 点向左搜索, 同样令

$$V_L = \min(V_{r+1,s-1}, V_{r+1,s-2}, \dots, V_{r+1,s-t}) \quad (7a)$$

$$H_L = \max(H_{r+1,s-1}, H_{r+1,s-2}, \dots, H_{r+1,s-t}) \quad (7b)$$

分别为像元 $(r + 1, s - 1)$ 到 $(r + 1, s - t)$ 的最小横向灰差和与最大纵向灰差和。

这里 $t = \frac{u}{2}$, 向左搜索从 $t = 1$ 开始, 若

$$\frac{1}{u + 1} |V_L - H_L| \leq \delta, \text{ 且 } t \leq u/2 \quad (7c)$$

则继续向左搜索。按 (6a) 到 (6c) 向右搜索, 按 (7a) 到 (7c) 向左搜索完毕后, 选择第 $r + 1$ 扫描行上的像元 $(r + 1, s')$ 为接边点, 它对应于

$$V_{r+1,s'} = \min(V_R, V_L) \quad (8)$$

不难看出, 这样选择的接边点 (r, s) 和 $(r + 1, s')$, 其最大纵向接边差和最小横向接边差之间的差别不会大于 δ 。因此, 垂直和水平方向接边处的灰差都可以受到限制。图 4 说明两维接边选择方法。

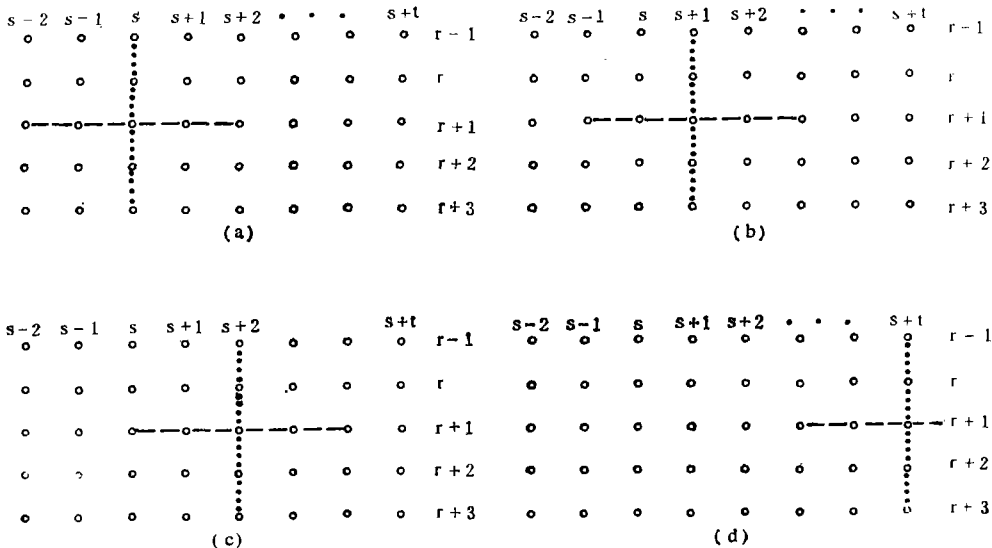


图 4 两维接边点选择方法

垂直接缝搜索表示为(○…○…○); 水平搜索为(○--○--○)

Fig. 4 Two-dimensional seam point search. Vertical seam search is shown as

(○--○--○); horizontal search is shown as (○…○…○)

(a) 第一个搜索点 $(r + 1, s)$ (b) 然后搜索点 $(r + 1, s + 1)$

(c) 搜索点 $(r + 1, s + 2)$ (d) 搜索点 $(r + 1, s + t)$

四、彩色多光谱图像数字镶嵌

遥感多光谱彩色图像通常是由三组图像数据进行彩色合成, 每组图像数据为一或几个波段图像数据的组合, 分别被赋予红(R), 绿(G), 蓝(B)色。彩色镶嵌图像是每组图像单独进行镶嵌, 形成三幅单波段的镶嵌图像, 然后再将三幅单波段的镶嵌图像按 R, G, B 进行彩色合成。通常接边点的选择可以以某一波段上选择的接边点为准, 每个波段都用此同一接边镶嵌; 也可以三个波段各自选择接边点分别进行镶嵌。这对某些场合也能满足要求。

严格说来, 进行彩色图像镶嵌时, 如果每组图像分别搜索接边点, 三组图像的接边点可以相差很远, 在合成的彩色图像上, 接边之间的区域可能出现色调混杂现象; 如果以某一波段上搜索到的接边点为准, 用此接边对其它两组进行镶嵌时, 很明显, 另两组选择了非最佳接边, 在合成图像上也会出现镶嵌边缘。直接在三组重叠区的绝对灰差和图像上(或 R, G, B 三分量相加图像上)进行接边点选择也不理想。

从色度学角度来看, R, G, B 三分可变换成强度(I), 色调(H)和饱和度(S), 它们之间存在下列关系:

$$\begin{aligned} I &= (R + G + B)/3 \\ H &= (G - B)/(I - 3B) \\ S &= (I - 3B)/I \end{aligned}$$

为获得理想的彩色图像镶嵌边缘, 应当选择强度(I), 色调(H)和饱和度(S)差别最小的接缝点。换言之, 根据 R, G, B 或 I, H, S 中的一个或分别搜索到的接边点进行镶嵌, 并不能获得最佳的镶嵌效果, 而直接在三组重叠区的灰差和图像上进行接边选择, 实际上得到的是强度差(I)最小的接缝点。为此, 我们提出了在三组图像重叠区的加权绝对灰差和图像上用两维接边选择方法进行接边搜索的方法。

加权绝对灰差和图像的像元值为:

$$d_{j,k} = \sum_{i=1}^3 a_{i,j,k} |f_{i,j,k} - g_{i,j,k}| \quad (9a)$$

其中, f 和 g 分别为左、右图像的像元灰度值, $a_{i,j,k}$ 为加权系数。

从(9a)可以看出: (1) 当 $a_{i,j,k} = 1$ 时, 即相当于在三组重叠区图像绝对灰差和图像上搜索接边点, (2) 当 $a_{i,j,k}$ 为常数, a_i 为 (1,0,0)(0,1,0) 或 (0,0,1) 时, 相当于在单波段上搜索接边点。因而关键在于选取系数。

虽然彩色合成图像的色调决定于各组图像的灰度值, 例如, 红色波段的像元灰度值很大而其它两组图像上该像元的灰度值很小时, 在合成图像上该像元将呈现明显的红色调, 但是合成图像的色调与绝对灰差图像无关。对某像元点处, 若红色一组图像的像元灰度值大时, 则按红色一组选择接边点, 即红色的权重大是合理的, 即哪个波段像元点灰度值大, 其系数就大。因此, 加权系数选为:

$$a_{i,j,k} = \alpha \cdot \frac{f_{i,j,k} + g_{i,j,k}}{2} \quad (9b)$$

即加权系数取值与该像元左、右灰度平均值成正比。在三组重叠区图像的加权绝对灰差和图像上,再用前述的两维接边选择方法选取接边点,三个波段的左右图像分别用此接边点进行拼接,再将镶嵌的三个波段按 R, G, B 进行彩色合成,得到的彩色镶嵌图效果较好。

五、实验结果

综上所述可知,应根据具体情况选择镶嵌方法,因而在我们所发展的 IRSA-2 图像处理系统中提供了可供选择使用的一组镶嵌程序:多边形折线方法;一维及二维最小灰差法;一维及二维最短路径法;3 波段重叠区灰差和;3 波段加权灰差和等。

使用我国新疆地区的 3 景 MSS 图像数据,其行列号及获取日期分别为 155-26/29-4-77,155-27/1-9-72 和 154-27/16-5-77。由于数据获取的年份、季节跨距很大,重叠区影像数据差异明显,给镶嵌带来很大麻烦。图 5 (图版 I) 是单波段镶嵌一维、二维接边选择的比较。图 5 a (图版 I) 为一维接边点选择,在图中心线偏左处可看到严重的水平接缝;图 5 b (图版 I) 为二维接边选择的镶嵌结果。图 6 (图版 I) 为 3 景 3 波段镶嵌结果,图中黄点表明其接缝点。

本研究室使用 IRSA-2 图像系统的数字镶嵌软件,先后完成了黄淮海地区天然文岩河流域两景 MSS 影像数据彩色图像镶嵌及新疆额尔齐斯 5 景 MSS 影像镶嵌等,效果良好。

参 考 文 献

- [1] 杨世仁、李丽, IRSA-2 遥感图像分析处理系统,环境遥感, 1(1),1986。
- [2] David L. Milgram, Computer Methods for Creating photomosaics, IEEE. Trans. Computer Vol. C-24. 1975。
- [3] David L. Milgram, Adaptive Techniques for photomosaicking, IEEE Trans. Computer Vol. C-26 1977。

TWO-DIMENSIONAL SEAM POINT SEARCHING IN DIGITAL MOSAICS OF COLOR IMAGE

Li Li Yang Shiren Gao Peng

(Institute of Remote Sensing Application, Academia Sinica)

Abstract

In digital image mosaicking, search of seam points is the key procedure. It is usually to be done based on certain criteria to select the seam points row by row. In one-dimensional seam point search algorithm, the horizontal artificial edges are more significant than the vertical. In this article, a two-dimensional seam point searching algorithm is suggested where the grey level differences in the vertical direction are concerned as well as in the horizontal direction. Algorithm for mosaics of multispectral images is also introduced. Experiments show that with the method proposed, the artificial edges in the mosaics can be smoothed effectively.



图 5 a 一维接边点选择



图 5 b 两维接边选择

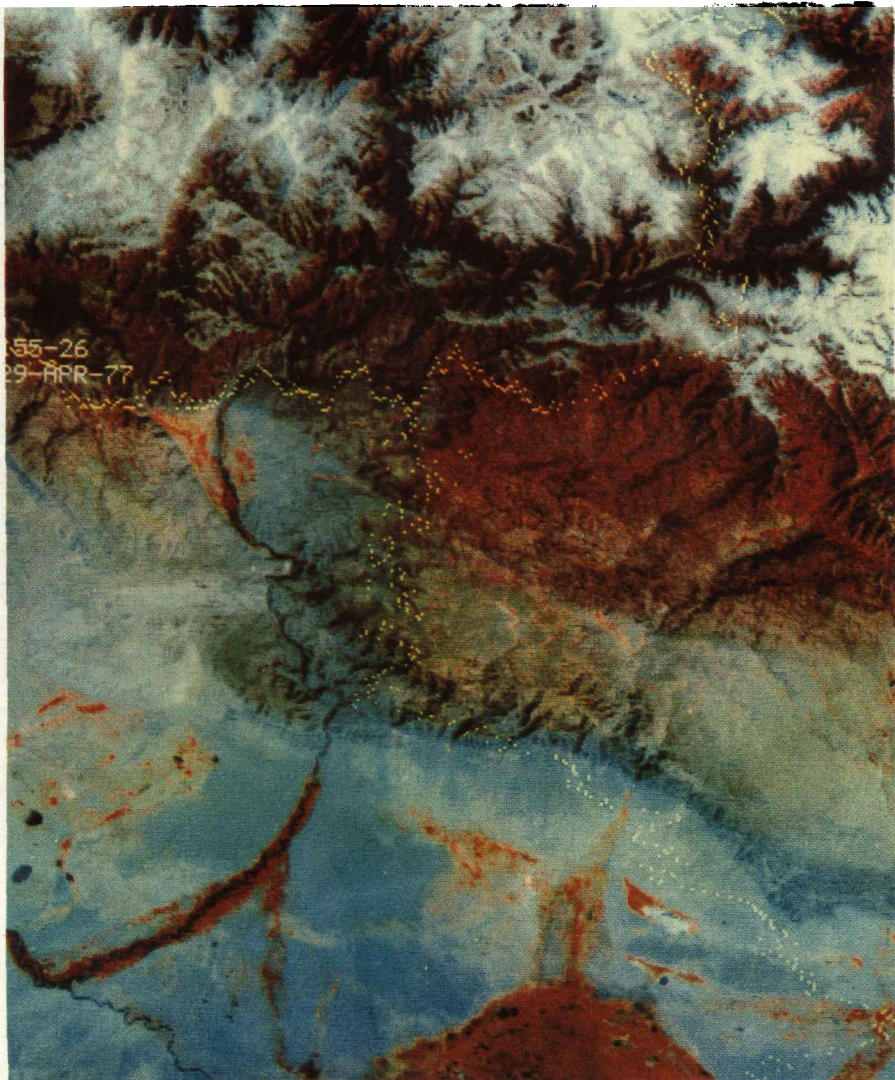


图 6 三景MSS影像的彩色镶嵌及镶嵌接边点

(黄色点表示)