

基于匹配与平差的影象镶嵌方法

张永红 林宗坚 张继贤

(中国测绘科学研究院摄影测量与遥感研究所, 北京 100039)

摘要 在概括介绍消除相邻影象辐射差异常用算法的基础上,为有效消除相邻影象间几何位置的差异,提出了一种将影象匹配与平差理论相结合的影象镶嵌新算法.该方法是在镶嵌影象的重叠部分进行基于特征的影象匹配,即首先获取一序列同名点,且这些同名点的匹配精度在一个象元以内,然后用正形多项式模拟这些同名点间的几何位置差异,再按最小二乘法原理对右边影象进行平差改正,以实现两影象空间位置上的无缝连接.实验结果表明,该镶嵌方法具有良好的效果.

关键词 影象匹配 同名点 平差 影象镶嵌

中图法分类号: TP751 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2001)04-0338-05

An Image Mosaicing Approach Based on Image Matching and Adjustment

ZHANG Yong-hong, LIN Zong-jian, ZHANG Ji-xian

(Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, Chinese Academy of Surveying & Mapping, Beijing 100039)

Abstract An image mosaicing new approach based on the integration of image matching and adjustment, which can effectively remove the residual geometric distortions between mosaiced images, was presented. At first, selecting one of mosaiced image as the reference, for example, the left side image, then the other image was matched with it in the overlapping area. A point feature-based matching algorithm was employed, and a quadratic polynomial fitting method was used to locate the corresponding points within one pixel. On the basis of these corresponding points, a adjustment algorithm was performed by adding a polynomial increment to every pixel position in the right side image so that geometric position distortions between the two images is minimal under Least Square principle, thus the two images could be mosaiced together seamlessly. At the same time, the usually used methods for radiometric difference reduction are presented. The proposed approach was applied to mosaic two rectified aerial photos, after image adjustment, the residual geometric distortion was greatly removed.

Keywords Image matching, Corresponding points, Adjustment, Image mosaicing

0 引言

在测绘、地理信息系统及其他应用中,经常需要把相邻影象拼接在一起,以便对大面积区域进行分析.由于影象纠正过程中地面控制点精度不够或纠正方法本身的局限(如用多项式方法纠正地面高差较大的影象,可参阅文献[1])造成了同一地面特征在不同影象上有不同的地面测量坐标,由于成象时,

太阳高度角及大气环境的不同以及成象时间的差别,使相邻影象呈现出不同的辐射特征,因此镶嵌就是要消除相邻影象在空间位置及辐射上的差异,以实现影象的无缝拼接.其中,辐射差异的消除相对来说比较简单,其目的只是为了获得良好的视觉效果,而本文提出的方法则旨在消除接边处几何位置的差异.

本方法的基本思想是,首先在重叠部分的影象

上进行数字影像匹配,以获得一系列的同名点(由于存在几何位置的差异,因此必然有一部分同名象点的地面测量坐标有差异),然后以右边影像的地面测量为观测值,附加上一个用多项式逼近的变形改正数对其进行改正,以改正后左右两边坐标差的平方和最小为依据进行平差,最后将平差后的影像按照新的地面测量坐标进行自动镶嵌。

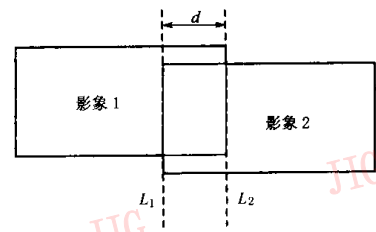


图 2

1 镶嵌影像的辐射差异消除

这里以灰度影像为例来介绍辐射差异的消除,对于彩色影像,可以分波段按灰度影像处理。

对于重叠区域影像的镶嵌处理,通常有如下两种方法:一是选择一条切割线,并沿切割线裁掉左影像的右边部分以及右影像的左边部分,然后拼接成一个大影像;另一种是无须裁切,直接在重叠影像的基础上生成新影像。

(1) 有切割线存在的情形(如图 1 所示)

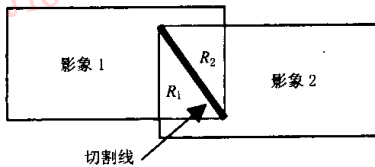


图 1

切割线将重叠区分成 R_1 和 R_2 两部分, R_1 在影像 1 上, R_2 在影像 2 上,可以通过在 R_1, R_2 内分别作羽化处理或直方图匹配来消除灰度差异,也可以进行如下数学操作^[2]:

设 A_1 和 A_2, σ_1 和 σ_2 分别代表 R_1 和 R_2 的均值和方差, $\bar{\sigma} = \sqrt{\sigma_1 \sigma_2}$, 对 R_1 和 R_2 作如下变换: $\forall P_1 \in R_1, \bar{P}_1 = \frac{\sigma}{\sigma_1}(P_1 - A_1) + A_1$; $\forall P_2 \in R_2, \bar{P}_2 = \frac{\sigma}{\sigma_2}(P_2 - A_2) + A_2$, 变换后 R_1 和 R_2 中的均值记为 \bar{A}_1, \bar{A}_2 , 并记 $\bar{A} = \frac{\bar{A}_1 + \bar{A}_2}{2}$, 将 R_1 和 R_2 中的灰度 P_1, P_2 调整为 P_{1out}, P_{2out}

$$\begin{cases} P_{1out} = (P_1 - A_1) \times \frac{\bar{\sigma}}{\sigma_1} + A_1 + (\bar{A} - \bar{A}_1) \\ P_{2out} = (P_2 - A_2) \times \frac{\bar{\sigma}}{\sigma_2} + A_2 + (\bar{A} - \bar{A}_2) \end{cases} \quad (1)$$

这种算法虽然步骤多,但效果较好。

(2) 无须切割线的情形(如图 2 所示),设 $P_1,$

P_2 为重叠区域内象元灰度, P 为镶嵌后的输出结果,可采用如下 4 种方法进行灰度平滑:

$$\textcircled{1} P = \frac{1}{2}(P_1 + P_2)$$

$$\textcircled{2} P = \max(P_1, P_2)$$

$$\textcircled{3} P = \min(P_1, P_2)$$

$$\textcircled{4} P = \frac{r_1 P_2 + r_2 P_1}{d} \quad d = r_1 + r_2, \text{ 其中 } r_2 \perp r_2 \text{ 为该象元至边缘线 } L_1, L_2 \text{ 的距离。}$$

更复杂的辐射差异消除方法是基于小波变换的方法^[3],该方法是在小波分解后不同分辨率的子空间上,对左右影像进行加权合并,再对合并后的子影像进行小波逆变换即得到镶嵌影像。

2 基于匹配与平差的影像镶嵌方法

2.1 影像匹配

影像匹配一直是计算机图象处理领域内的热点问题,迄今还未得到彻底地解决。本文使用的是基于特征的匹配方法,即取出相交区域中的左右影像,先用 Forstner 算子^[4]提取出左影像中的特征点,再以特征点为中心定义目标窗口(11×11 或 9×9),然后在右方影像中定义搜索区域,并计算目标窗口与搜索区内相同大小的备选窗口之间的归一化相关系数^[5],通常以相关系数极大值,并大于某个阈值(在本文中取 0.9)的地方为匹配位置。为了取得子象素级的匹配精度,作如下处理:

找出相关系数的极大值及其周围 3×3 窗口内其余 8 个位置上的相关系数,以二次多项式 $\rho(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy + a_4x^2 + a_5y^2$ 来拟合这 9 个相关系数值,再用最小二乘法解出多项式系数 $a_j(j=0, 1, 2, \dots, 5)$,这样子象素级的相关系数极大值位置即可通过解下面的方程得到

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x} \rho(x, y) = a_1 + a_3y + 2a_4x = 0 \\ \frac{\partial}{\partial y} \rho(x, y) = a_2 + a_3x + 2a_5y = 0 \end{cases} \quad (2)$$

由于并不需要非常密集的同名点对,在使用 Forstner 算子时,可以根据重叠区影象的大小及几何位置差异程度来选择适当的窗口范围,而且由于左右影象已经经过了几何纠正,且其残余的几何变形较小,因此在匹配时,搜索范围不必太大.为了确保匹配的可靠性,还可以把匹配结果显示在屏幕上进行人工检查.

2.2 影象平差

由于左右影象间存在着几何位置的变形,因此由影象匹配得出的同名点将会有不同的地面测量坐标(高斯平面坐标),这与航带区域网经绝对定向后的情形类似.航带法区域网平差的基本思想^[6]是,首先每条航带构成自由网,然后以本航带的控制点及与上一条相邻航带的公共点为依据,进行绝对定向,把整个测区内的各航带都纳入到统一的摄影测量坐标系中,由于航带网中还有残余的系统误差和偶然误差,使得相邻航带公共点的坐标不等,因此需对每一航带都加入一个非线性变形改正,并以相邻航带公共点的坐标相等、控制点的摄影测量坐标与它的地面摄影测量坐标相等、观测值改正数的平方和最小等为原则来进行平差计算,解算整个测区内全部待定点的地面测量坐标.基于以上航带法区域网平差的思想,提出了如下的平差算法:

对于匹配得出的同名点 P ,在影象 1 中有高斯坐标 (x_1, y_1) ,在影象 2 中有高斯坐标 (x_2, y_2) ,用正形变换(在“复变函数”中也称保角变换,即复函数 $f(z) = u(x, y) + iv(x, y)$ 的实部和虚部满足 Cauchy-Riemann 方程 $\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial y}, \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial v}{\partial x}$)多项式来模拟影象 1 与影象 2 中的几何变形,由于正形变换可使变换前后任意空间曲线之间的夹角保持不变,因此用正形多项式来模拟几何变形比一般多项式更合理,而且在 (x_2, y_2) 上加入如下的变形改正

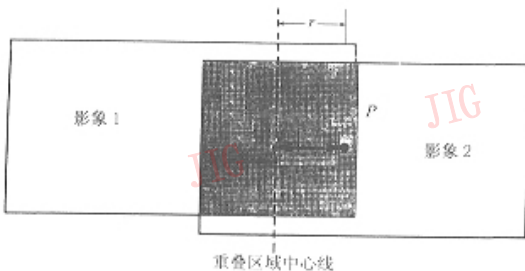


图 3

$$\begin{aligned} \delta x &= a_1 + a_3 x_2 - a_4 y_2 + a_5 (x_2^2 - y_2^2) - 2a_6 x_2 y_2 \\ \delta y &= a_2 + a_4 x_2 + a_3 y_2 + a_6 (x_2^2 - y_2^2) + 2a_5 x_2 y_2 \end{aligned} \quad (3)$$

则对 P 点有如下的误差方程

$$\begin{cases} v_x = \delta x - l_x = \delta x - (x_1 - x_2) \\ v_y = \delta y - l_y = \delta y - (y_1 - y_2) \end{cases} \quad (4)$$

权值为 $\frac{1}{\ln(r+1)}$, r 为 P 点距重叠区域中心线的距离.

对上节所得的所有同名点对(共 n 对)都列出误差方程,即组成如下矩阵形式的平差方程

$$V = BX - L \quad (5)$$

其中,

$$V = \begin{bmatrix} v_x^1 \\ v_y^1 \\ \dots \\ v_x^n \\ v_y^n \end{bmatrix}_{2n \times 1} \quad X = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{bmatrix}_{6 \times 1} \quad L = \begin{bmatrix} x_1^1 - x_2^1 \\ y_1^1 - y_2^1 \\ \dots \\ x_1^n - x_2^n \\ y_1^n - y_2^n \end{bmatrix}_{2n \times 1}$$

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 0 & x_2^1 & -y_2^1 & ((x_2^1)^2 - (y_2^1)^2) & -2x_2^1 y_2^1 \\ 0 & 1 & y_2^1 & x_2^1 & 2x_2^1 y_2^1 & ((x_2^1)^2 - (y_2^1)^2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 0 & x_2^n & -y_2^n & ((x_2^n)^2 - (y_2^n)^2) & -2x_2^n y_2^n \\ 0 & 1 & y_2^n & x_2^n & 2x_2^n y_2^n & ((x_2^n)^2 - (y_2^n)^2) \end{bmatrix}_{2n \times 6}$$

它的最小二乘解为

$$X = (B^T W A)^{-1} B^T W L \quad (6)$$

式中, W 为权矩阵.

解算出向量 X 后,对影象 2 中的每一个象元的高斯坐标 (x_2, y_2) ,按照式(2)计算其变形改正值 $(\delta x, \delta y)$,它的新坐标为 $(x_2 + \frac{\delta x}{\ln(r+1)}, y_2 + \frac{\delta y}{\ln(r+1)})$,而这一点的灰度值由原影象中最邻近 4 点的灰度值用双线性内插得到.

权值除了选择对数函数 $\frac{1}{\ln(r+1)}$ 外,也可以选择幂函数 $\frac{1}{r}, \frac{1}{\sqrt{r}}$. 通常认为,影象的边缘比影象的中央具有更大的几何变形,因此在进行镶嵌时,除了调整影象边缘象素的几何位置外,应尽可能保持其他部分的位置不变,为此,对坐标正形改正值赋以适当的权值非常必要,即在重叠区域给以较大的权重,而在远离它的地方则给以较小的权重,且对于以上 3 种形式的权,还用实验数据进行了比较,结果发现,

用对数函数作权的结果稍好一点,因为对数函数比幂函数变化要缓慢一些。

3 实验结果

基于以上算法,我们在 Sun Ultra60 上用 Unix C 语言编程实现了影像匹配与平差的处理功能,并将此功能模块挂接到 ERDAS 软件上。用浙江省义乌地区的两幅航空影像进行了实验,首先用二次多项式分别纠正这两幅航片,控制点从 1:25 000 地形图上读取,纠正后象元大小为 3m。由于控制点精度不够以及地面地形起伏,使得多项式纠正时,中误差高达 28m。

纠正后的两幅航片,大小分别为 $1\ 546 \times 1\ 351$, $1\ 542 \times 1\ 380$, 它们有 $400 \times 1\ 300$ 大小的重叠区域。用 Forstner 定位算子提取 80 个特征点,作影像匹配后找到了 55 对同名点(相关系数值在 0.88 以上),选用其中的 38 对同名点对右边的航片作正形二次多

项式平差改正。

在平差前及平差后的重叠区域内还分别量取了 26 对检核点(包括剩下的 17 对同名点)进行检核,检核误差均方差(RMS)列于表 1。从表 1 可见,平差处理后几何位置的差异已控制在 2 个象元内。

表 1 平差前后误差均方差的比较 单位: μm

| | X 方向(水平方向)RMS | Y 方向(垂直方向)RMS |
|-------|---------------|---------------|
| 平差改正前 | 23.5 | 2.5 |
| 平差改正后 | 4.2 | 2.0 |

同时还分别将平差前后的航片进行了镶嵌,其中,没有作平差处理的影像直接依地面测量坐标进行镶嵌,未作辐射差异消除处理,而对于平差处理后的影像,为消除辐射差异,镶嵌时选取了切割线,切割线选在重叠区域的中央,由于两航片灰度差异较小,所以以左航片为基准,对右航片作了直方图匹配处理。镶嵌结果见图 4 图 5 图 6。

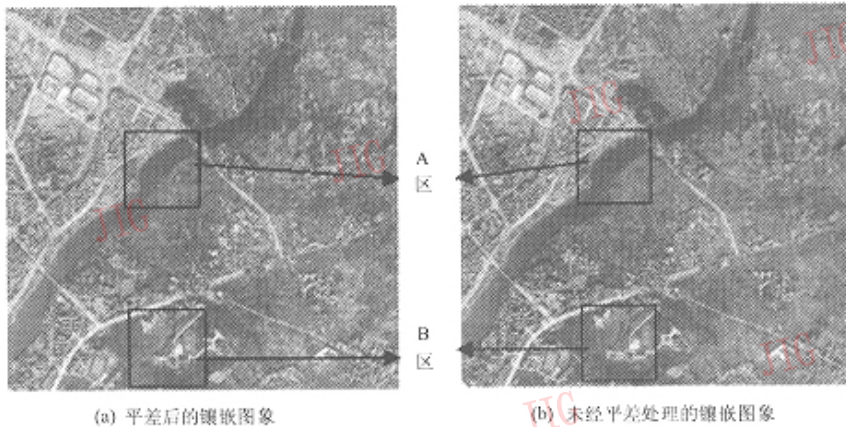


图 4 浙江省义乌地区航片的镶嵌结果

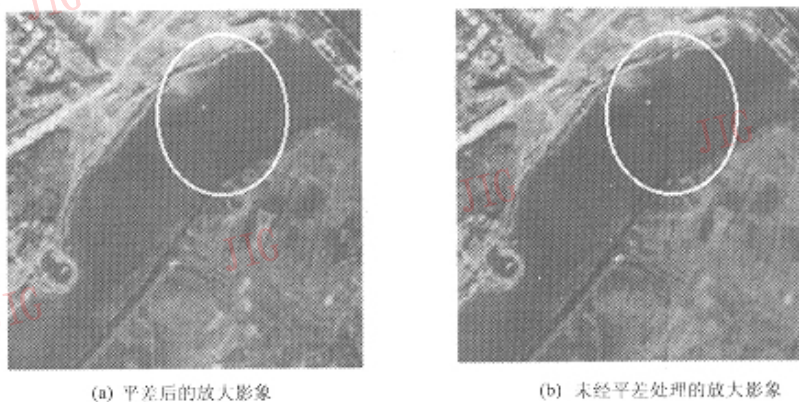


图 5 浙江省义乌地区 A 区的放大影像

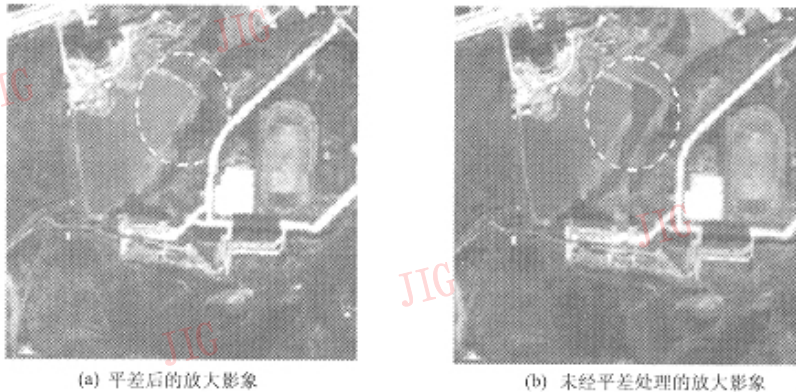


图6 浙江省义乌地区B区的放大影象

4 总 结

本文提出了一种综合运用影象匹配与平差理论的影象镶嵌方法,给出了可达子象素精度的基于点特征的影象匹配策略,并推导了所涉及的平差公式,同时给出了实验结果.实验结果表明此方法可将镶嵌几何误差控制在2个象元以内.由于本方法不顾及传感器的成象特点,因而对航空航天光学及雷达影象具有普适性.

本方法已经成功地应用于国家测绘局项目“1:50 000 DRG更新”中.由于在用航片进行DRG(Digital Raster Graphics)更新时,1:50 000图幅范围包含十几幅航片,要进行大量的影象镶嵌工作,利用本文的方法则很好地解决了航片镶嵌中几何位置差异的问题.本方法也被用于1999年国土资源部“土地利用遥感动态监测”项目中,用来镶嵌具有较大成象视角的SPOT影象.

若进一步提高镶嵌视觉效果,可作如下作改进,即选取更合理的切割线.本文是选择重叠区域的中心线为切割线,如果选择经过匹配后而获取的同名点的折线为切割线,则会使接边看起来更加平滑,尽管它并不会提高绝对位置精度.

参 考 文 献

- 1 张继贤,张永红,林宗坚. SPOT影像像点位移研究. 测绘科学, 2000, 25(1):1922.
- 2 Afek Y. Mosaicing of orthorectified aerial image. PE&RS., 1998, 64(2):115125.

- 3 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):213217.
- 4 张祖勋,张剑清. 数字摄影测量学. 武汉:武汉测绘科技大学出版社, 1996. 121123.
- 5 张祖勋,张剑清等. 遥感影象的高精度自动配准. 武汉测绘科技大学学报, 1998, 23(4):320323.
- 6 李德仁,郑葆琛. 解析摄影测量学. 北京:测绘出版社, 1992. 122128.

张永红 1973年生,于1994年获武汉大学数学系学士学位,1997年获中国科学院测量与地球物理研究所硕士学位,现在武汉测绘科技大学摄影测量与遥感专业攻读博士,自1998年起在中国测绘科学研究院作客座研究.感兴趣的领域为遥感影象处理、数据库及干涉雷达测量技术.

林宗坚 1943年生,教授,博士生导师,中国测绘科学研究院院长.主要从事摄影测量与遥感、图形图象学和地理信息系统等方面的研究工作.

张继贤 1965年生,博士后,中国测绘科学研究院研究员.主要研究领域为摄影测量与遥感、模式识别与人工智能及地理信息可视化.