

# 一种新的图像拼接方法

谢士杰 傅仲良 谈国新 卢 健

(武汉测绘科技大学遥感与信息工程学院,武汉市珞喻路 39 号,430070)

**摘 要** 在分析了几种图像拼接方法存在的缺点后,依据摄影测量原理,提出了一种基于整体平差的图像拼接方法。实验证明,该方法具有自动化程度高、直接利用图像上的明显特征点、拼接精度高且不限图幅大小等优点。

**关键词** 几何变换;整体平差;图像拼接

**分类号** P231.5;TP751

大幅面图纸的图形数字化通常有两种方式:一种是整幅图纸扫描输入,但目前市场上功能强的大幅面扫描仪价格昂贵;另一种是对图纸分块扫描,然后对分块扫描的图像矢量化后再作拼接,这会导致矢量拼接的复杂处理。故此有人设想利用小幅面扫描仪配上图像拼接软件来取代大幅面扫描仪,并相继研究了几种图像拼接方法,如在金字塔影像数据结构条件下的自动拼接和利用标记点进行拼接<sup>[1]</sup>。第一种方法采用金字塔影像数据结构技术和“从粗到精”的分层控制策略逐级拼接,能大大提高计算效率,但在拼接过程中所有的扫描图像块均以左上角图像块为基准,前面图像块的拼接误差可传播到后续的图像拼接中,从而产生较大的拼接误差。第二种方法简单易操作,但要在图纸上打上人工标记并量测其图纸坐标,不仅增加了拼接误差的来源,且人工标记会压盖图纸信息。针对上述问题,本文提出一种以 4 个图廓点为控制点的整体平差方法。实验证明,这种方法自动检测连接点,直接利用图纸上的明显特征点,拼接精度高,并可不限图幅大小。

## 1 图像拼接技术

### 1.1 几何变换及平差基础

扫描影像与原始图纸存在几何变换关系。设影像坐标系为  $o-xy$ , 图纸坐标系为  $o'-x'y'$ , 如图 1 所示。两坐标系之间的几何变换可写成:

$$\begin{cases} x' = ax - by + c \\ y' = bx + ay + d \end{cases} \quad (1)$$

其矩阵形式为:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & -b \\ b & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c \\ d \end{bmatrix} \quad (2)$$

上式中,通过已知的  $(x', y')$ 、 $(x, y)$  求出  $a, b, c, d$  4 个变换参数,至少需要 2 个控制点。实际中,一般采用大于 2 的点数按最小二乘法求解。

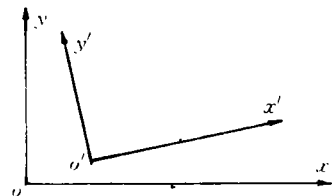


图 1

将(1)式写成误差方程式：

$$- \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & -y & 1 & 0 \\ y & x & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} \quad (3)$$

对于相邻影像块的连接点， $(x', y')$ 是未知数，常数项为 0；对于 4 个图廓点，常数项不为 0。因此，对于连接点，可用矩阵表示为：

$$-V = AX + Bt + 0 \quad (B \text{ 为负单位阵})$$

对于控制点， $-V = AX - L$ 。

总之，一个观测点的误差方程式可用如下的普遍式表示：

$$-V_i = A_i X + Bt - L_i \quad (4)$$

将  $n$  个连接点的误差方程式联立消去  $t$ ，再按最小二乘平差得到改化方程求解。法方程为：

$$\begin{bmatrix} A^T A & A^T B \\ B^T A & B^T B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A^T L \\ B^T L \end{bmatrix} \quad (5)$$

消去  $t$  得到改化法方程：

$$X = (N_{11} - N_{12} N_{22}^{-1} N_{12}^T)^{-1} (n_1 - N_{12} N_{22}^{-1} n_2) \quad (6)$$

即得每块影像的变换参数。其中， $N_{11} = A^T A$ ， $N_{12} = A^T B$ ， $N_{22} = B^T B$ ， $n_1 = A^T L$ ， $n_2 = B^T L$ 。

### 1.2 误差方程式建立及改化法方程式生成

假设有一张图纸需分 4 块扫描，如图 2。其中  $\triangle$  为控制点(4 个图廓点)，其余为连接点，00、01、10、11 为影像编号，0、1、2、3 分别为明显特征点。 $V_{ij}^{b(k)}$  中， $ij$  为影像编号， $b$  为点号， $k$  为控制点标志。各幅影像的误差方程分别为：

0	10	1
00	01	
3	23	2
0	10	1
10	11	
3	23	2

$$\begin{cases} V_{00}^0 = A_{00}^{0(k)} X_{00} - L_{00}^{0(k)} \\ V_{00}^1 = A_{00}^1 X_{00} - t_1 - L_{00}^1 \\ V_{00}^2 = A_{00}^2 X_{00} - t_3 - L_{00}^2 \\ V_{00}^3 = A_{00}^3 X_{00} - t_2 - L_{00}^3 \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_{01}^0 = A_{01}^0 X_{01} - t_1 - L_{01}^0 \\ V_{01}^1 = A_{01}^1 X_{01} - L_{01}^{1(k)} \\ V_{01}^2 = A_{01}^2 X_{01} - t_4 - L_{01}^2 \\ V_{01}^3 = A_{01}^3 X_{01} - t_3 - L_{01}^3 \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_{10}^0 = A_{10}^0 X_{10} - t_2 - L_{10}^0 \\ V_{10}^1 = A_{10}^1 X_{10} - t_3 - L_{10}^1 \\ V_{10}^2 = A_{10}^2 X_{10} - t_5 - L_{10}^2 \\ V_{10}^3 = A_{10}^3 X_{10} - L_{10}^{3(k)} \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_{11}^0 = A_{11}^0 X_{11} - t_3 - L_{11}^0 \\ V_{11}^1 = A_{11}^1 X_{11} - t_4 - L_{11}^1 \\ V_{11}^2 = A_{11}^{2(k)} X_{11} - L_{11}^{2(k)} \\ V_{11}^3 = A_{11}^3 X_{11} - t_5 - L_{11}^3 \end{cases}$$

图 2

依最小二乘法原理，消去  $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5$ ，得到改化法方程：

$(A_{00}^T A_{00})^k + \frac{1}{2} A_{00}^T A_{00}$ $+ \frac{1}{2} A_{00}^T A_{00} + \frac{3}{4} A_{00}^T A_{00}$	$-\frac{1}{2} A_{00}^T A_{01}$ $-\frac{1}{4} A_{00}^T A_{01}$	$-\frac{1}{2} A_{00}^T A_{01}$ $-\frac{1}{4} A_{00}^T A_{01}$	$-\frac{1}{4} A_{00}^T A_{01}$	$\begin{bmatrix} X_{00} \\ X_{01} \\ X_{10} \\ X_{11} \end{bmatrix}$
$(A_{01}^T A_{01})^k + \frac{1}{2} A_{01}^T A_{01}$ $+ \frac{1}{2} A_{01}^T A_{01} + \frac{3}{4} A_{01}^T A_{01}$	$-\frac{1}{4} A_{01}^T A_{10}$	$-\frac{1}{4} A_{01}^T A_{10}$	$-\frac{1}{2} A_{01}^T A_{11}$ $-\frac{1}{4} A_{01}^T A_{11}$	
$(A_{10}^T A_{10})^k + \frac{1}{2} A_{10}^T A_{10}$ $+ \frac{1}{2} A_{10}^T A_{10} + \frac{3}{4} A_{10}^T A_{10}$	$-\frac{1}{4} A_{10}^T A_{11}$	$-\frac{1}{4} A_{10}^T A_{11}$	$-\frac{1}{2} A_{10}^T A_{11}$ $-\frac{1}{4} A_{10}^T A_{11}$	
$(A_{11}^T A_{11})^k + \frac{1}{2} A_{11}^T A_{11}$ $+ \frac{1}{2} A_{11}^T A_{11} + \frac{3}{4} A_{11}^T A_{11}$	$-\frac{1}{2} A_{11}^T A_{11}$ $-\frac{1}{4} A_{11}^T A_{11}$	$-\frac{1}{2} A_{11}^T A_{11}$ $-\frac{1}{4} A_{11}^T A_{11}$	$-\frac{1}{2} A_{11}^T A_{11}$ $-\frac{1}{4} A_{11}^T A_{11}$	

对

称

$$\begin{aligned}
 & \left[ \begin{aligned}
 & (A_{00}^T L_{00}^0)^k + \frac{1}{2} A_{00}^T L_{00}^1 + \frac{1}{2} A_{00}^T L_{00}^3 + \frac{3}{4} A_{00}^T L_{00}^2 - \frac{1}{2} A_{00}^T L_{01}^0 - \frac{1}{2} A_{00}^T L_{10}^0 \\
 & \quad - \frac{1}{4} A_{00}^T (L_{01}^3 + L_{10}^3 + L_{11}^3) \\
 & (A_{01}^T L_{01}^0)^k + \frac{1}{2} A_{01}^T L_{01}^1 + \frac{1}{2} A_{01}^T L_{01}^2 + \frac{3}{4} A_{01}^T L_{01}^3 - \frac{1}{2} A_{01}^T L_{11}^0 - \frac{1}{4} A_{01}^T (L_{10}^0 + L_{11}^0) \\
 & (A_{10}^T L_{10}^0)^k + \frac{1}{2} A_{10}^T L_{10}^1 + \frac{1}{2} A_{10}^T L_{10}^2 + \frac{3}{4} A_{10}^T L_{10}^3 - \frac{1}{2} A_{10}^T L_{11}^0 - \frac{1}{4} A_{10}^T L_{11}^0 \\
 & (A_{11}^T L_{11}^0)^k + \frac{1}{2} A_{11}^T L_{11}^1 + \frac{1}{2} A_{11}^T L_{11}^3 + \frac{3}{4} A_{11}^T L_{11}^0
 \end{aligned} \right. \\
 = & \left[ \begin{aligned}
 & (A_{01}^T L_{01}^0)^k + \frac{1}{2} A_{01}^T L_{01}^1 + \frac{1}{2} A_{01}^T L_{01}^2 + \frac{3}{4} A_{01}^T L_{01}^3 - \frac{1}{2} A_{01}^T L_{11}^0 - \frac{1}{4} A_{01}^T (L_{10}^0 + L_{11}^0) \\
 & (A_{10}^T L_{10}^0)^k + \frac{1}{2} A_{10}^T L_{10}^1 + \frac{1}{2} A_{10}^T L_{10}^2 + \frac{3}{4} A_{10}^T L_{10}^3 - \frac{1}{2} A_{10}^T L_{11}^0 - \frac{1}{4} A_{10}^T L_{11}^0 \\
 & (A_{11}^T L_{11}^0)^k + \frac{1}{2} A_{11}^T L_{11}^1 + \frac{1}{2} A_{11}^T L_{11}^3 + \frac{3}{4} A_{11}^T L_{11}^0
 \end{aligned} \right.
 \end{aligned}$$

采用高阶矩阵求解:

$$X = (A^T A)^{-1} (A^T L)$$

即得各影像的变换参数,从而求得各点的图纸坐标。

在实际拼接中可以省略列误差方程式这一步,直接由图形列出改化法方程式求解。对上面的改化法方程可归纳出以下规律:

(1) 系数矩阵主对角线上子块的内容为该影像内所有参加平差点自身法化带权总和。对控制点的自身法化项前面的系数为1,公共连接点自身法化项前的系数为 $(1-1/m)$ , $m$ 为该点所跨影像的个数。

(2) 系数矩阵非主对角线上子块为影像*i*与影像*j*之间所有连接点(不包括控制点)相互法化的带权总和,其前面系数应为 $-1/m$ 。若影像*i*与影像*j*间无公共点,则该项填零矩阵。

(3) 常数项矩阵中每一子

块是影像公共点及控制点自身法化和相互法化的带权总和,控制点自身法化项前面系数为1,公共点自身法化前面系数为 $1-1/m$ ,公共点相互法化项前面系数为 $-1/m$ 。

改化法方程式结构是对称带状稀疏矩阵,带状矩阵带宽与改化法方程式占用的计算机内存有密切关系。当拼接图像分块太多时,矩阵阶数将很大,这时应采用带状法方程的循环分块求解技术<sup>[2]</sup>。

### 1.3 影像纠正

有了每块影像的影像坐标和图纸坐标,就可以将原始影像纠正到图纸坐标中,即重采样。重采样有3种方法:最邻近法,双线性内插,双三次卷积内插。详细过程见文献<sup>[3]</sup>。



图3

## 2 精度分析

为了评定这种方法的精度,本实验采用 Sharp-Jx300 扫描仪扫描 9 块图像;分辨率为 300dpi,图纸比例尺为 1:1 000,重采样间隔取 0.15mm/像素。拼接后的影像如图 3。为了定量地评定基于整体平差的图像拼接精度,采用横跨图像任一拼接缝的特征点的距离作为精度评定指标。将由扫描仪直接扫描得到的影像中的两点的距离作为理论值,把拼接后的影像上的距离作为实际值,计算两者之间的差值与中误差。

表 1 本文提出的方法实验数据(/像素)

理论值	423.78	510.43	564.96	803.56	399.69	394.59	196.41	391.76	690.51	768.04
计算值	423.66	509.54	565.89	802.25	398.49	394.66	195.56	392.99	690.29	768.99
差值	0.12	0.89	-0.93	1.31	1.2	-0.07	-0.85	-1.23	0.22	-0.95
中误差	0.929									

表 2 金字塔自动拼接方法实验数据(/像素)

理论值	423.78	510.43	564.96	803.56	399.69	394.59	196.41	391.76	690.51	768.04
计算值	424.81	511.68	563.57	802.77	401.82	392.99	196.72	392.96	688.86	768.47
差值	-1.03	-1.25	1.39	0.79	-2.13	1.60	-0.31	-1.20	1.65	-0.43
中误差	1.187									

结果表明,本文提出的方法比金字塔影像自动拼接精度高。如果需要更高精度,可以在扫描前对扫描仪进行误差检校。

### 参 考 文 献

- 1 王艾蓉. 不限图幅尺寸的图纸扫描系统:[学位论文]. 武汉:武汉测绘科技大学,1994
- 2 黄世德. 航空摄影测量学. 下册. 北京:测绘出版社,1990.
- 3 田村秀行. 计算机图像处理技术. 北京:北京师范大学出版社,1990.

## A New Image Mosaic Method

Xie Shijie Fu Zhongliang Tan Guoxin Lu Jian

(School of Remote Sensing and Informatics, WTUSM, 39 Luoyu Road, Wuhan, China, 430070)

**Abstract** In this paper, we first discuss some image mosaic methods and analyse their shortcomings, and then present a new image mosaic method based on whole adjustment according to the principle of photogrammetry. Experiment shows that this method has unique advantages: a high degree of automation, direct use of interesting points on the image, a high accuracy and free size of maps.

**Key words** geometrical transformation; mosaic image; whole adjustment