

文章编号:1671-6833(2004)03-0106-05

航空影像水平核线生成方法

徐丽华, 阎平, 江万寿

(武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 湖北 武汉 430079)

摘要: 在水平核线影像生成过程中, 对于一般的水平像对, 即基线与大地坐标系不平行的情况下, 水平影像上的核线之间是不平行的. 为了得到正确有效的水平核线影像, 将地面坐标系旋转至基线的水平方向, 并按照共面条件, 采用与非水平核线重排相似的方法对水平影像上的核线进行重排, 以消除基线不水平产生的核线与扫描线不平行的问题, 减少测图、匹配等后续工作的计算量, 提高运算速度. 最后给出了基线倾角与水平影像上核线间最大夹角的关系, 得出在基线倾角较大时应采用非水平核线影像以保证核线影像的质量.

关键词: 水平像片; 水平核线; 核线重排

中图分类号: P 23:P 283.7 **文献标识码:** A

0 引言

“核线”是摄影测量中的一个基本概念. 如图 1, 过摄影基线可以得到一核面族, 核面与像片的交线即为核线. 同名点位于同名核线上. 核线在原始像片对上唯一, 但是并不一定平行. 将非平行核线重排成互相平行的核线, 使之与扫描线平行的过程称之为核线重排. 其目的是为了消除上下视差, 以利于立体观测或核线匹配. 生成核线影像的方法基本上可以分为两类^[1]: ① 直接在原始影像重排; ② 在水平影像上重排.

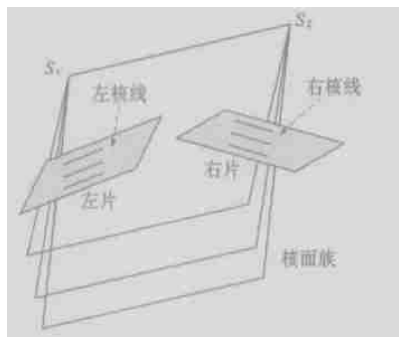


图 1 核线族

Fig. 1 The cluster of epipolar lines

直接在原始影像重排, 只需要相对定向参数, 称为原始影像核线重排^[1~3]. 原始影像核线重排

虽然消除了上下视差, 但是影像倾斜对扫描线左右视差的影响没有考虑. 而水平影像上核线重排可以进一步消除影像倾斜对扫描线的影响, 便于核线匹配结果的编辑. 但一般文献中^[1,3], 只对理想水平像对(像片水平、基线水平且平行于大地坐标系的情况下)的水平核线影像生成方法进行讨论.

针对实际水平影像基线存在倾斜情况, 提出了一种水平核线影像生成的方法. 在对基本的核线关系进行简单分析的基础上, 给出一个适用于独立像对和连续像对相对定向的非水平核线重排的通用公式, 然后对水平核线影像的生成中存在的问题进行了分析, 把水平核线生成中存在的问题分成两个主要方面:

(1) 大地坐标系的旋转. 一般情况下, 立体像对的基线和大地坐标系不可能平行, 如果要使水平影像的扫描线与核线平行, 必须把大地坐标系在水平面内旋转到基线方向.

(2) 水平核线重排. 由于基线可能存在倾斜, 核面族与水平像片得到的基线族之间不可能平行, 仍然需要根据共面条件, 在水平影像上的进行核线重排.

由于水平核线影像生成过程中已经进行了内定向, 所以在测图、匹配等后续工作中无需再进行

收稿日期:2004-08-10; 修订日期:2004-09-15

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40001018)

作者简介:徐丽华(1976-), 女, 黑龙江省绥滨县人, 武汉大学硕士研究生.

内定向;另一方面由于水平像片和大地坐标系之间的旋转矩阵为单位阵,使得坐标的转换过程中变得简单化,这都使得后续工作的计算量大大减少,运算的速度得到很大提高.实验表明论文分析的结论正确,方法确实可行.

1 基本解析关系

如图 2 所示,对于给定基线 S_1S_2 的立体像对,任一地面点 M 与基线构成一个核面.设该核面与左片、右片的相交的核线分别为 l, l' ,地面点 M 在左右片的投影分别为 $P(x_p, y_p)$ 和 P' .则 S_1, S_2, P 和 P' 共面,满足 $S_1S_2 \perp (\overrightarrow{SP} \times \overrightarrow{SP'})$.实际上,左右核线上的任意一点 Q (P 除外) 均与 S_1, S_2, P 共面.

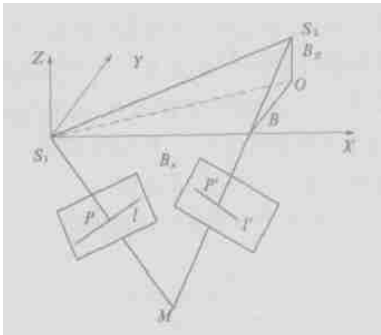


图 2 核线解析
Fig. 2 Epipolar line analysis

以 S_1 为原点,设 S_2 的模型坐标为 (B_X, B_Y, B_Z) ,点 Q 的像空间辅助坐标 (X, Y, Z) ,点 P 的像空间辅助坐标为 (X_P, Y_P, Z_P) .由共面条件,点 S_1, S_2, P, Q 满足^[1,3]:

$$\begin{vmatrix} B_X & B_Y & B_Z \\ X_P & Y_P & Z_P \\ X & Y & Z \end{vmatrix} = 0 \tag{1}$$

式中,

$$\begin{bmatrix} X_P \\ Y_P \\ Z_P \end{bmatrix} = \mathbf{R}_L \begin{bmatrix} x_P \\ y_P \\ -f \end{bmatrix} \tag{2}$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \mathbf{R} \begin{bmatrix} x \\ y \\ -f \end{bmatrix} \tag{3}$$

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} \tag{4}$$

式中 (x, y) 为 Q 点的像点坐标 f 为摄影机的主距 \mathbf{R}_L 为左片的旋转矩阵.当 Q 点在左片时, $\mathbf{R} =$

\mathbf{R}_L ;当 Q 点在右片时, $\mathbf{R} = \mathbf{R}_R, \mathbf{R}_R$ 为右片的旋转矩阵.

2 非水平核线影像的生成

非水平核线影像的生成就是利用共面条件,直接在原始像片上获取同名核线,然后把不平行的核线族重排成互相平行的核线影像扫描线.

2.1 同名核线的核线方程

给定基线分量 (B_X, B_Y, B_Z) ,左右片的旋转矩阵,和左片上的一点 $P(x_P, y_P)$,其像空间辅助坐标为 (X_P, Y_P, Z_P) ,则左核线或右核线方程可由式(1)求得

$$y = \frac{A}{Bx} + \frac{C}{Bf} \tag{5}$$

式中 x 为核线上像点的横坐标,为自变量.

$$\begin{aligned} A &= -[m_2a_1 - m_1b_1 + (m_1k_2 - m_2k_1)c] ; \\ B &= [m_2a_2 - m_1b_2 + (m_1k_2 - m_2k_1)c] ; \\ C &= [m_2a_3 - m_1b_3 + (m_1k_2 - m_2k_1)c] ; \\ m_1 &= B_X - B_Zk_1 ; \\ m_2 &= B_Y - B_Zk_2 ; \\ k_1 &= X_P/Z_P ; \\ k_2 &= Y_P/Z_P . \end{aligned}$$

2.2 核线的重排列

如图 3,核线重排后的左核线的左端点(图 3(b))与原始核线(图 3(a))具有相同的坐标值.根据左核线上的左端点的坐标,可通过式(5)求得原始左右核线的方程,给定横坐标 x ,则可根据该方程确定其纵坐标 y .利用所得到的 (x, y) ,在 y 方向上进行线性内插,就可以得到重排后核线上点的灰度值.

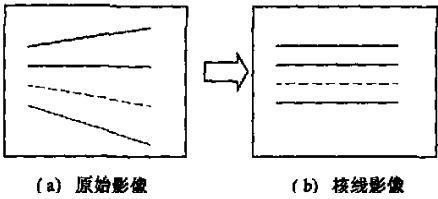


图 3 原始影像和其核线影像的关系
Fig. 3 Original and epipolar images

3 水平核线影像的生成

水平核线重采样,其实质是一个数字纠正过程^[1].在理想基线条件 $(B_Y = 0, B_Z = 0)$ 下,核面与水平像片相交得到的左右核线互相平行,并且与扫描线重合.此时,水平像片坐标 (u, v) 与原始

像片坐标 (x, y) 满足下列关系:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ -f \end{bmatrix}_{\text{原始}} = \mathbf{R}^T \begin{bmatrix} u \\ v \\ -f \end{bmatrix}_{\text{水平}} \quad (6)$$

二者之间的投影关系为

$$\begin{cases} x = -f \frac{a_{1u} + b_{1v} - c_{1f}}{a_{3u} + b_{3v} - c_{3f}} \\ y = -f \frac{a_{2u} + b_{2v} - c_{2f}}{a_{3u} + b_{3v} - c_{3f}} \end{cases} \quad (7)$$

但是,实际影像对的基线是不可能完全水平的.① 如果基线分量 $B_Z=0, B_Y \neq 0$,则水平像片上的核线本身完全平行,但与扫描线存在夹角.此时如果将大地坐标系 X 坐标轴旋转到基线的水平分量方向,就可以得到水平核线影像;② 如果 $B_Z \neq 0, B_Y \neq 0$,水平像片上的核线本身是就不平行的.此时, B_Z 虽然无法消除,但是可以让大地坐标系旋转夹角 θ ,使之与基线平行,使水平像片上的核线与扫描线夹角最小,然后仿照非水平核线重排的方法,对水平影像上的核线进行重排.根据上述分析,下文分别进行讨论.

3.1 B_Y 的消除

由基线分量可以计算出核线与扫描线间存在夹角 $\theta_{tg} \theta = B_Y/B_X$.设大地坐标系 X 坐标旋转到基线方向的水平分量方向的旋转矩阵为 \mathbf{R}_B ,则旋转后的基线分量应为

$$\begin{bmatrix} B_{XY} \\ 0 \\ B_Z \end{bmatrix} = \mathbf{R}_B \begin{bmatrix} B_X \\ B_Y \\ B_Z \end{bmatrix} \quad (8)$$

式中,

$$\begin{aligned} B_{XY} &= \sqrt{B_X^2 + B_Y^2}; \\ \mathbf{R}_B &= \begin{bmatrix} B_X/B_{XY} & B_Y/B_{XY} & 0 \\ -B_Y/B_{XY} & B_X/B_{XY} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

此时,水平影像与原始影像的旋转矩阵 \mathbf{R} 变为 $\mathbf{R}_B \mathbf{R}$.

3.2 水平核线重排

在水平像片条件下,把式(8)代入共面条件方程(1),得

$$\begin{vmatrix} B_{XY} & 0 & B_Z \\ u_P & v_P & -f \\ u & v & -f \end{vmatrix} = 0 \quad (9)$$

式中, (u_P, v_P) 为左水平影像上一点 P 的坐标, (u, v) 为点 P 相应的左右核线上任一点 Q 的坐标.可求得水平像片上左右核线的方程为

$$v = v_P + k(u - u_P) \quad (10)$$

式中:

$$k = \frac{B_{XP}}{B_{XY}f + B_{ZUP}} = \frac{\text{tg } \alpha \cdot v_P}{f + \text{tg } \alpha \cdot u_P} \quad (11)$$

其中 $\text{tg } \alpha = B_Z/B_{XY}$; α 为基线倾角.

3.3 水平核线影像步骤生成

综上所述,水平核线影像可由以下步骤来的生成:

- (1) 将大地坐标系旋转到基线的水平分量方向,同时旋转左右片的旋转矩阵,得到与基线水平分量平行的水平像片.
- (2) 按共线方程,根据原始影像上给定的范围,确定水平影像核线影像的范围.
- (3) 对水平像片对上每一行扫描线:①根据左片第一列点,利用式(10)求左右核线方程;②根据核线影像的横坐标 (u) 求核线每个点的纵坐标 (v) ;③将 (u, v) 投影到原始像片,得到相应的坐标 (x, y) ;④在原始像片上,按双线性或其它内插方法得到的像点 (x, y) 的灰度值.

图 4 为水平核线影像生成的流程.



图 4 水平核线影像生成流程

Fig. 4 Horizontal images based epipolar image generation

3.4 水平核线重建

利用上述水平核线影像生成的结果,得到一对水平像片,所以水平核线重建可以利用一对水平像片的前方交会公式^[9],大大减少了计算量.

4 实验与讨论

根据前述原理,在 Visual C++6.0 环境下,我们编写了相应程序,实现了原始核线重排和水平核线重排.图 5 所示为一对航空影像进行水平核线重排后的影像.原始像片为航空像片,2719

行×2719 列,扫描分辨率为 85 μ,摄影机的主距为 152.72 mm.内定向、相对定向、绝对定向利用适普公司的 VirtuoZo 软件完成.生成的核线立体影像对在立体眼镜下进行检查,没有发现明显的上下视差,说明本文所提出的水平核线重排理论正确的.

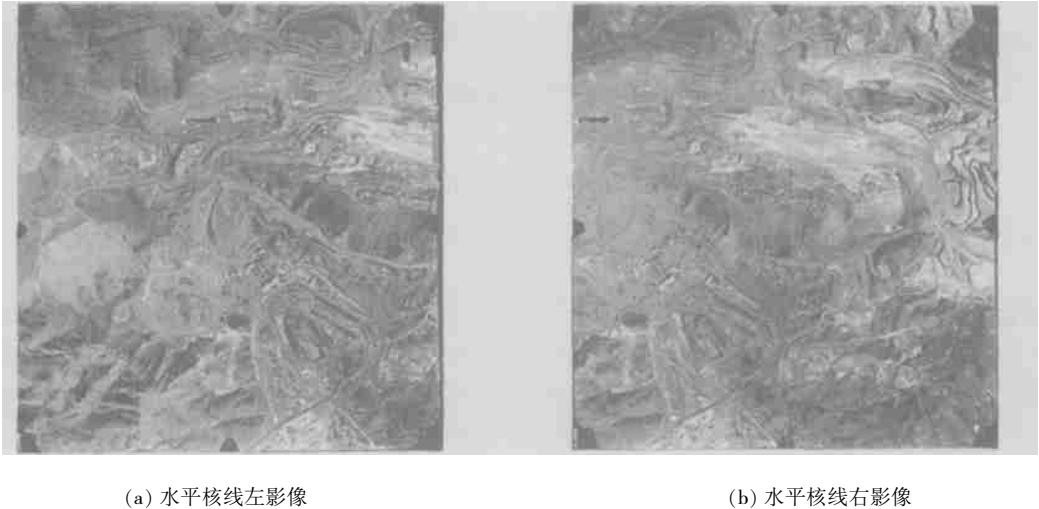


图 5 利用本文方法的到的水平核线影像
Fig. 5 Horizontal epipolar images

对于水平核线重排,若已知基线分量 B_X , B_Y , B_Z 和左像片上的任意一点 P ,则由公式(10)可知,左右水平像片上的核线具有相同的斜率.如果 B_X , B_Y 为定值,则基线倾角 α (B_Z 与 B_{XY} 的夹角)改变会引起核线夹角 β (像片上底部的核线与顶部的核线之间的夹角)的变化.原始核线上夹角和水平核线夹角与基线倾角的变化关系在表 1 中列出,变化曲线如图 5 所示.从图 5 可以看出,当基线倾角 α 增大时,核线夹角 β 也增大很快.而原始影像上采用独立相对定向系统时,其基线的倾角 α 为 0,左核线范围的夹角为 0.02° ,右核线范围夹角为 0.85° .由于核线重排是把不平行的核线排成平行的过程,当 α 很大时,核线影像的效果会很差.此时,在原始影像上进行核线重排应具有更好的效果.

表 1 水平核线重排方式下核线夹角与基线倾角之间的对应关系								
Tab. 1 Relationship between of β and α in the re arrange of the horizontal epipolar lines) ($^\circ$)								
基线倾角 α	0	0.54	5	10	15	20	25	30
核线夹角 β	0	0.81	8.09	17.45	28.45	41.48	57.00	75.34

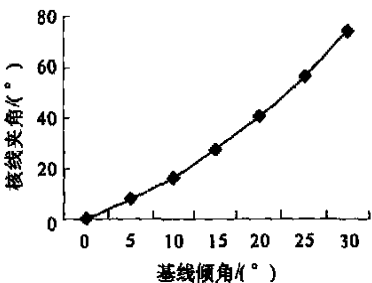


图 6 核线夹角与基线倾角的关系
Fig. 6 Relationship between β and α

5 结束语

提出一种水平核线影像生成的方法.着重考虑了基线非水平时,水平核线影像的生成方法.首先,通过旋转大地坐标系,使坐标系方向与基线的水平分量平行,从而水平影像上的核线与水平像片扫描线大致平行.然后利用共面条件和水平核线重排得到水平影像.实验证明作者所提出的水平核线重排理论正确,确实可行.

作者还分析了基线倾角与水平影像上核线间夹角的关系.分析表明,水平影像上核线间最大夹角随着基线倾角的增大而增大.当基线倾角较大时,直接在原始影像上进行核线重排,往往具有更好的效果.

参考文献：

[1] 张祖勋,张剑清. 数字摄影测量[M] . 武汉:武汉测绘科技大学出版社,1996.

[2] 张祖勋. 数字影像定位及核线排列. 武汉测绘学院学报,1983,(1) :12~14.

[3] 韩丽蓉. 航空数字图像核线排列方法的研究[J] . 青海大学学报(自然科学版) ,1995,13(4) :7~13.

[4] 耿则勋,钦桂勤. 核线几何的解析分析[J] . 遥感信息,2000,(4) :11~12.

[5] 朱述龙,陈向宁,叶建栲. 核线影像生成过程中的大图像分块问题[J] . 解放军测绘学院学报,1998,15(1) :28~29.

[6] 李德仁,郑肇葆. 解析摄影测量[M] . 北京:测绘出版社,1992.

Horizontal Images Based Epipolar Image Generation

XU Li -hua , YAN Ping , JIANG Wan -shou

(State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying ,Mapping and Remote Sensing , Wuhan University , Wuhan 430079,China)

Abstract : The generation of horizontal images based epipolar image is discussed in this paper . For a pair of aerial images ,the base line might not be parallel to ground coordinate system ,and the base line could not be horizontal . So the epipolar lines could not be parallel to each other . In order to get a pair of epipolar images on horizontal images ,the ground coordinate system is rotated to be parallel to the base line ,and then the epipolar lines on the horizontal images are re arranged as epipolar images .

Key words : horizontal image ; horizontal epipolar line ; epipolar line re arranged