

# 用拟合法进行 SPOT 影象 的近似核线排列\*

张祖勋 周月琴

## 摘 要

本文提出了一种 SPOT 影象的近似核线排列的新方法——多项式拟合法，它不需要预先已知 SPOT 影象的任何参数和地面高程信息。论文对此方法之原理、实际的作业过程与理论分析作了较详细的阐述，并通过实例证明此方法是有效和正确的。

【关键词】 SPOT影象；近似核线；多项式拟合

## 引 言

SPOT 影象是一种推扫式影象，其几何关系比框幅式摄影影象复杂得多，每一行影象都有其自身的摄影中心与方位元素。因此，它不可能象常规的框幅式摄影影象那样具有严格的核线定义，而只能有近似的核线定义，且可有不同的定义方式。不同的定义方式具有不同的作业方式，结果也不同。

Dowman 教授在论文〔1〕中提出了几种不同的定义方式，其中之一是：定义左方影象的扫描线作为左核线（即以左影象作为参考影象），先利用共线方程与已知的 DEM 将左核线投影到地面上，然后再利用共线方程将这些地面点反投影到右影象上，获得右方同名核线。此方法已在论文〔2〕中获得了实际的证明。它的局限性在于必须已知 DEM，这在某种情况下具有一定的困难，同时计算工作量很大。另外，在实际应用中，可以放宽对核线的严格要求，可将核线视为一种核线条件之几何限制，以限制同名影象的搜索范围。从这个意义而言，只需获得近似核线就能满足一定的要求。本文根据这个要求，提出了一种 SPOT 影象近似核线排列方法——多项式拟合法。它不需要已知 SPOT 影象的方位元素和地面高程信息，

收稿日期：1988-08-20

\*国家自然科学基金资助项目。

因此具有更重要的实用价值。

## 1 多项式拟合法的基本原理

在理论上, SPOT 影象与框幅式影象的几何关系有很大的差别;但在实际上,在一定的程度上它们之间具有密切的关系。例如,对于一幅 SPOT 扫描影象,如果满足以下条件,则严格地等价于框幅式摄影影象<sup>[3]</sup>。这时,同名核线是一对直线。其条件如下:

(1) 严格的正直摄影;

(2) 地面绝对水平;

(3) 相邻两阵列摄影中心的间隔严格等于一条扫描线影象所覆盖的地面在轨道方向上的宽度。

显然,在实际上 SPOT 影象不可能满足上述 3 个条件。但由于 SPOT 影象的每一条扫描线影象之间的几何关系很稳定,因此,在实际运算中可采用中心投影加改正数的算法,代替严格的推扫式摄影的 SPOT 影象解算方法<sup>[4]</sup>。根据这一特性,利用多项式拟合法获得同名核线的设想是完全可行的。

多项式拟合法的原理如图 1 所示。它仍以左影象为参考影象,左核线为一直线(扫描线)。设在左核线上有若干个数据点  $p_1, p_2, \dots, p_m$ , 它们在右影象的同名点为  $p'_1, p'_2, \dots, p'_m$ 。现采用一个多项式:

$$y_2 = a_0 + a_1 x_2 + a_2 x_2^2 + \dots \quad (1)$$

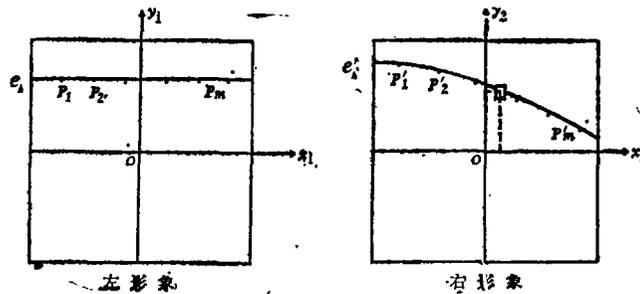


图 1

拟合象点  $p'_1, p'_2, \dots, p'_m$ 。所谓采用多项式拟合法确定同名核线,就是用由公式(1)所确定的“曲线”定为它的近似核线。

(1) 式中参数  $a_0, a_1, a_2 \dots$  对一条核线是常数,而对于不同的核线,它们是变化的。由于 SPOT 影象的几何特性比较稳定,可将这些参数视为时间  $t$  的线性函数。因此,在实际作业中,认为它们与象点的  $y_1$  坐标呈线性关系,即

$$a_i = k_i + b_i y_1 \quad (i = 0, 1, 2, \dots)$$

代入(1)式,整理后用  $a_1, a_2 \dots$  来表示系数,即得多项式拟合法的作业公式:

$$y_2 = a_1 + a_2 x_2 + a_3 y_1 + a_4 x_2^2 + a_5 x_2 y_1 + a_6 x_2^2 y_1 + \dots \quad (2)$$

因此,在实际作业中,只需用二维影象匹配,在左右影象上配准一定数量的同名象点,利用这些同名象点的坐标,解算作业公式中参数 $a_1, a_2, \dots$ ,即完成近似核线几何限制条件的参数解算。

## 2 多项式拟合法的理论分析

如图 2 所示,设  $e$  为左核线(一条扫描线),  $S$  为其相应的摄站。取局部坐标系  $S-XYZ$ , 其中  $X$  轴平行于核线  $e$  (为了便于与常规的摄影测量所用的术语一致,本文将卫星飞行方向设为  $Y$  轴)。将象点  $p_i$  投影到地面点  $P_i(X, Y=0, Z)$ , 然后再反投影到右影象的某一条扫描线上,得  $p'_i(x_2, 0)$ , 其摄站为  $S_2(X_s, Y_s, Z_s)$ , 由共线方程得:

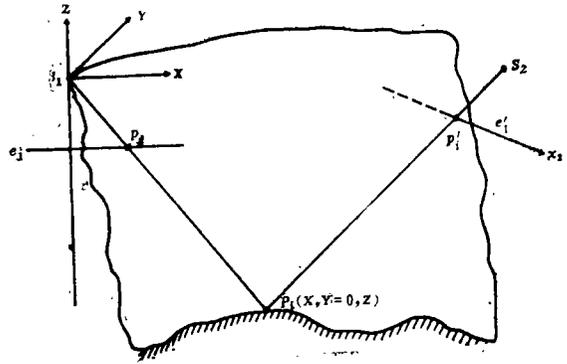


图 2

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= -f \frac{a_{11}(X-X_s) + a_{21}(Y-Y_s) + a_{31}(Z-Z_s)}{a_{13}(X-X_s) + a_{23}(Y-Y_s) + a_{33}(Z-Z_s)} \\ 0 &= -f \frac{a_{12}(X-X_s) + a_{22}(Y-Y_s) + a_{32}(Z-Z_s)}{a_{13}(X-X_s) + a_{23}(Y-Y_s) + a_{33}(Z-Z_s)} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式中,  $a_{11}, a_{12}, \dots, a_{33}$  为方向余弦, 分别是右象点所在扫描线在  $S_1-XYZ$  中的角元素  $\Phi, \Omega, K$  的函数。将 (3) 式中的两个式子消去  $(X-X_s)$ , 求得摄站  $S_2$  的坐标  $Y_s$ :

$$Y_s = \frac{(a_{13}a_{32} - a_{12}a_{33})x_2 + (a_{11}a_{32} - a_{12}a_{31})f}{(a_{12}a_{23} - a_{22}a_{13})x_2 + (a_{12}a_{21} - a_{22}a_{11})f} \cdot (Z - Z_s) \quad (4)$$

由 (4) 式可知, 左核线上所有象点在右影象上投影之集合——右方同名核线不位于同一条扫描线上, 相应的摄站坐标  $Y_s$  与象点坐标  $x_2$  有关, 与象点所在扫描线的外方位元素以及地面点  $Z$  坐标有关。  $Y_s$  的变化反映了象点的影象坐标  $y_2$  的变化。考虑到  $y_2$  与  $Y_s$  之间存在函数关系:

$$y_2 = \frac{Y_s}{V}$$

式中,  $V$  为卫星的飞行速率, 它等于相邻两摄站的  $Y$  坐标增量  $\Delta Y$  与象元素宽度  $\Delta y$  之比。在

(4) 式两端乘以  $\frac{1}{V}$ , 得:

$$y_2 = \frac{(a_{13}a_{32} - a_{12}a_{33})x_2 + (a_{11}a_{32} - a_{12}a_{31})f}{(a_{12}a_{23} - a_{22}a_{13})x_2 + (a_{12}a_{21} - a_{11}a_{22})f} \cdot \frac{Z - Z_s}{V} \quad (5)$$

将 (5) 式按级数展开, 可得一多项式:

$$y_2 = a_0 + a_1 x_2 + a_2 x_2^2 + \dots \quad (6)$$

式中的系数  $a_0, a_1, a_2 \dots$  是外方位元素  $\Phi, \Omega, K, Z_s$  及地面坐标  $Z$  的函数。当不同扫描线对应的外方位元素以及地面  $Z$  坐标均为常数时, 系数  $a_0, a_1, a_2 \dots$  也为常数。此时, 用多项式拟合法确定的右核线是完全正确的。但实际上, 不同的扫描线对应的外方位元素是变化的, 地面点  $Z$  坐标也不可能是常数, 这就使得不同的象点对应的系数不相同。因此, 用多项式拟合法确定的右核线一般是含有误差的。但是, 由于 SPOT 影象的几何特性比较稳定, 不同扫描线对应的外方位元素  $\Phi, \Omega, K, Z_s$  变化很小且接近线性变化, 并可证明这种线性变化引起的误差在拟合过程中可被消除; 而地形起伏相对于航高来说一般比较小, 也就是说, 由地形起伏引起的误差对于多数测图目的是可以接受的。因此, 在实际作业中, 采用多项式拟合法确定 SPOT 影象的近似核线是可行的。

### 3 实验结果

为验证上述方法的正确性与可行性, 文中利用法国马赛地区的一个 SPOT 立体象对(左、右影象的比例尺均为  $1:40$  万, 象元大小为  $26 \times 26 \mu\text{m}^2$ ) 进行了实验。实验中, 在立体象对上选取了 54 个均匀分布的点作为数据点, 用以解算 (2) 式中的多项式系数。另外, 选取了 33 个均匀分布的点作为检查点, 在每个检查点上, 利用解算出来的多项式系数和由立体观测得到的坐标  $y_1$  及  $x_2$  代入 (2) 式, 算出相应的  $y_2$ , 与  $y_2$  的量测值作比较, 其差异  $\Delta y_2$  用来衡量由拟合法确定的同名核线的精度。

由实验结果的初步分析, 得到以下两点看法:

(1) 由多项式拟合的残差表明, 多项式拟合法确定同名核线的理论是正确的。

图 3 是数据点上残差分布直方图。由图 3 可以看出, 数据点上残差是偶然误差, 很接近于均值为零的正态分布 (标准差  $\hat{\sigma}_0 = 14.6 \mu\text{m}$ ), 而不存在系统现象。这说明, 用多项式来表示每条右方核线以及认为不同的右方核线对应的多项式系数之间成线性关系是合理的。

(2) 利用由拟合法确定的同名核线进行核线相关时, 若采用左方一条核线与右方 3 至 5 条核线进行相关的相关方案, 即可获得满意的相关效果。

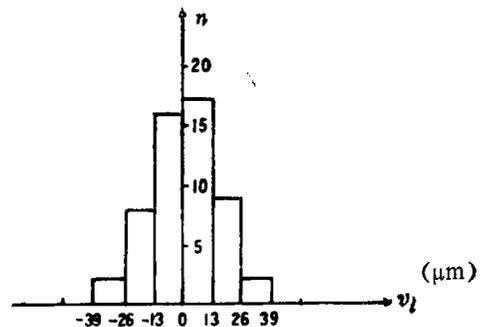


图 3

附表 检查点上残差分布

残差 $ \Delta y_2 $ 分布区间 ( $\mu\text{m}$ )	(0, 13)	[13, 26)	[26, 39)	[39, 52)	总点数	最大残差 ( $\mu\text{m}$ )
点的个数	16	9	7	1	33	40

附表所示是检查点上的残差分布情况。从表中可以看出, 大部分点上的残差在 1 个象素 ( $26 \mu\text{m}$ ) 以内; 最大残差为  $40 \mu\text{m}$ , 不超过 2 个象素。这样, 用 3 至 5 条右方核线与一条左方核线相关, 即可较好地完成影象匹配。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Dowman I J et al. Digital Processing of SPOT Data. Proceedings Intercommission Conference of Fast Processing of photogrammetric Data. Interlaken, Switzerland, 1987.
- [ 2 ] O'Neill M A, Dowman I J. The Generation of Epipolar Synthetic Stereo Mates for SPOT Images Using a DEM. ISPRS Commission III, Kyoto, 1988.
- [ 3 ] 张祖勋, 周月琴. SPOT卫星图象外方位元素的解求. 武测科技, 1988 ( 2 ).
- [ 4 ] Konecny G, Kruck E, Lohmann P. Ein universeller Ansatz für die geometrische Auswertung von CCD-Zeilenabtasteraufnahmen. BUL, No.4, 1986.

# A New Approach to Arrange the Approximate Epipolar Lines for SPOT Images

Zhang Zuxun     Zhou Yueqin

### Abstract

A New approach to arrange the approximate epipolar lines for SPOT images, referred to as the polynomial fitting method, is presented in this paper. With this method, it is not necessary to know any parameters of SPOT images and the terrain elevation information in advance. This paper detailly discusses the theory and the operation procedure. This new approach is proved to be effective and correct by the theoretical analysis and the experiments.

**【Key words】** SPOT image; approximate epipolar; polynomial fitting