


第五章

遥感图像几何处理



几何处理是改正遥感图像中的几何变形，并将其投影到需要的地理坐标系中。目的是满足应用中量测和定位的要求、实现多源遥感图像的几何配准、或者满足利用遥感图像进行地形图测图或更新的要求、等等。

主要内容:

- 遥感图像几何变形
- 遥感传感器的构像方程
- 遥感图像的几何处理
- 遥感图像几何处理的应用

一、遥感图像的几何变形

- 遥感图像的几何变形是指原始图像上各地物的几何位置、形状、尺寸、方位等特征与在**参照系统**中的表达要求不一致时产生的变形。
- 图像投影的参照系统（地图投影系统）
- 近似地图投影：地球切平面坐标系
 - 原点：传感器的星下点
 - X轴：东方向
 - Y轴：北方向
 - Z轴：由星下点铅垂向上

变形误差

➤ 静态误差与动态误差

静态误差：成像过程中，传感器相对于地球表面呈静止状态时所具有的各种变形误差。

动态误差：成像过程中，由于地球自转所造成的图像变形误差。

➤ 内部误差与外部误差

内部误差：由于传感器自身的性能、技术指标偏离标称数值所造成的。

外部误差：传感器本身处在正常工作的条件下，而由传感器以外的各因素所造成的误差。

引起变形误差的原因

- 传感器成像方式
- 传感器外方位元素的变化
- 地形起伏
- 地球曲率
- 大气折射
- 地球自转

► 传感器成像方式引起的图像变形

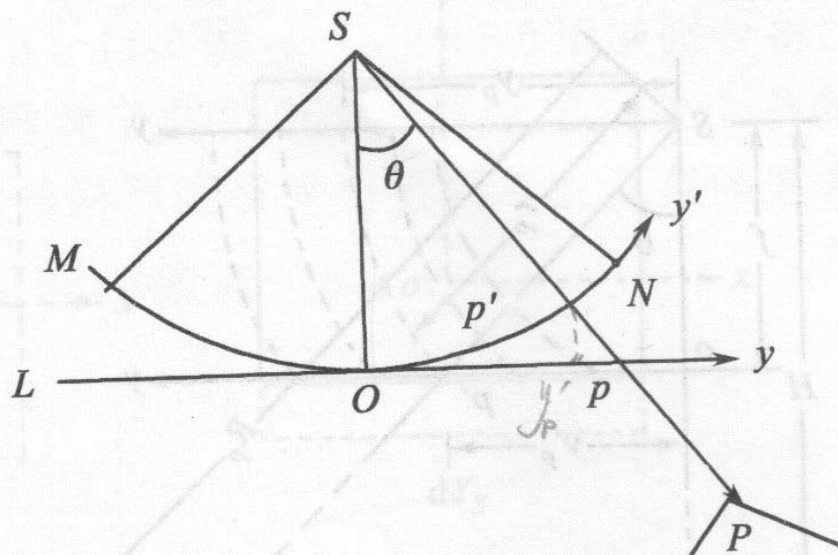


图 5-7 全景投影

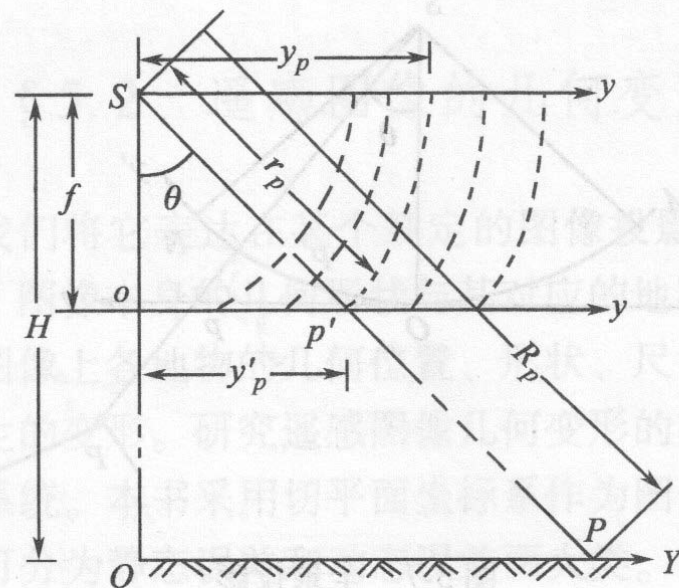
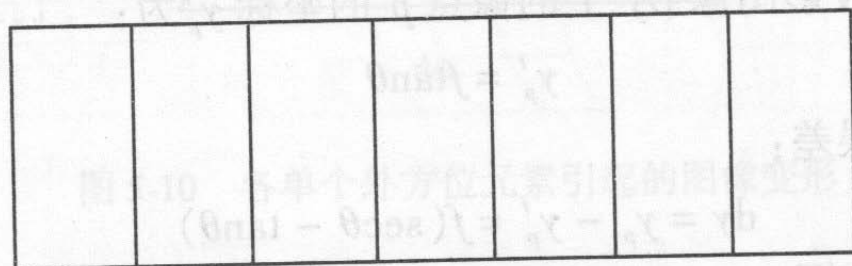
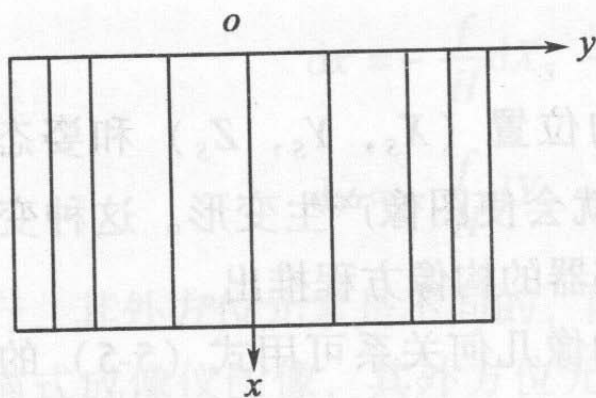


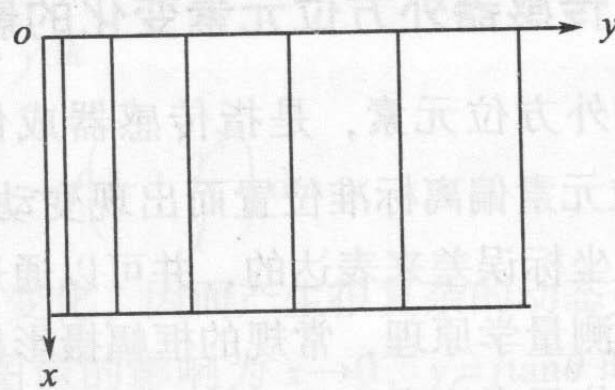
图 5-9 斜距投影变形



(a) 无变形的图形



(b) 全景投影变形图形



(c) 斜距投影变形图形

图 5-8 成像几何形态引起的图像变形

► 传感器外方位元素的变化

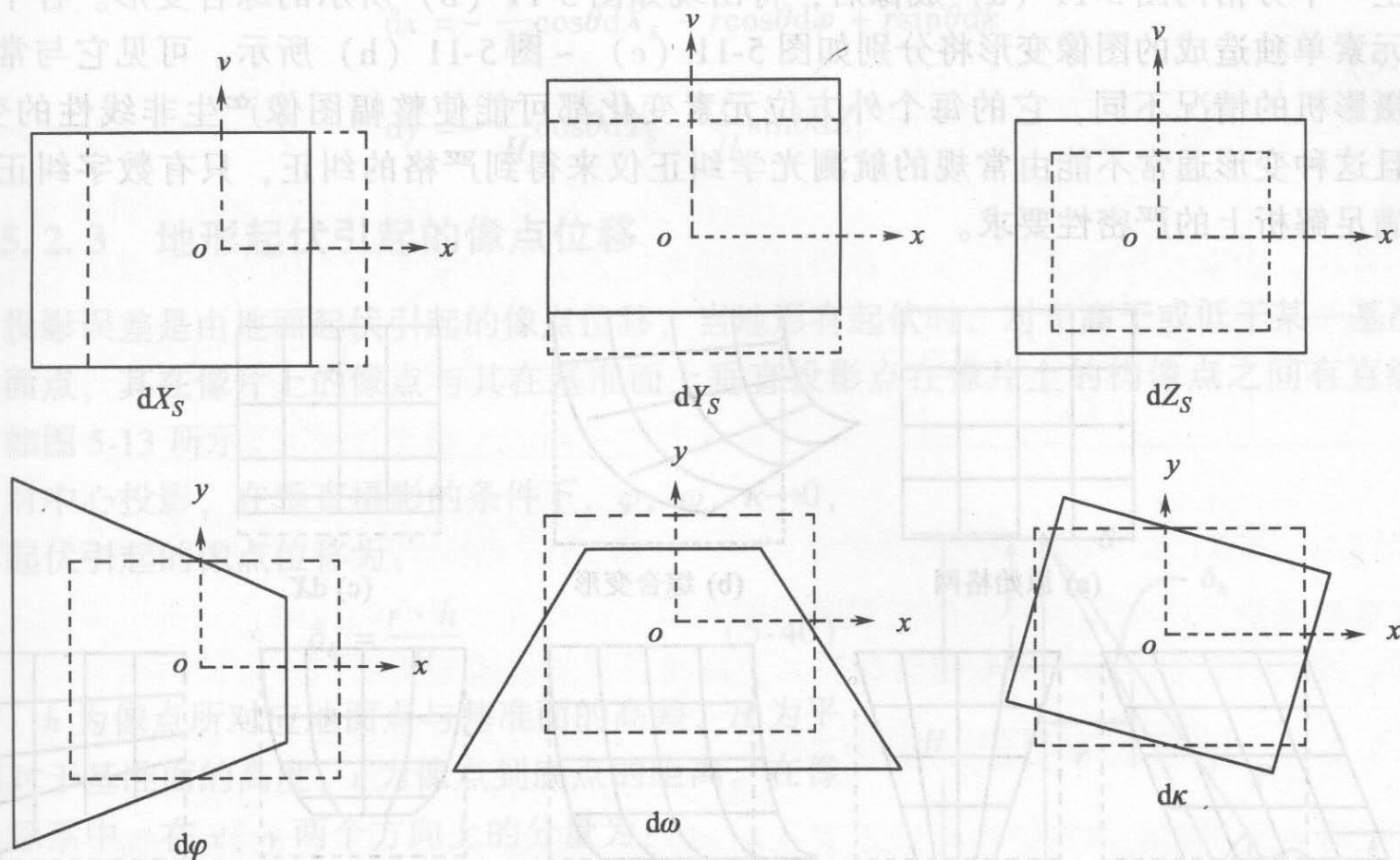


图 5-10 各单个外方位元素引起的图像变形

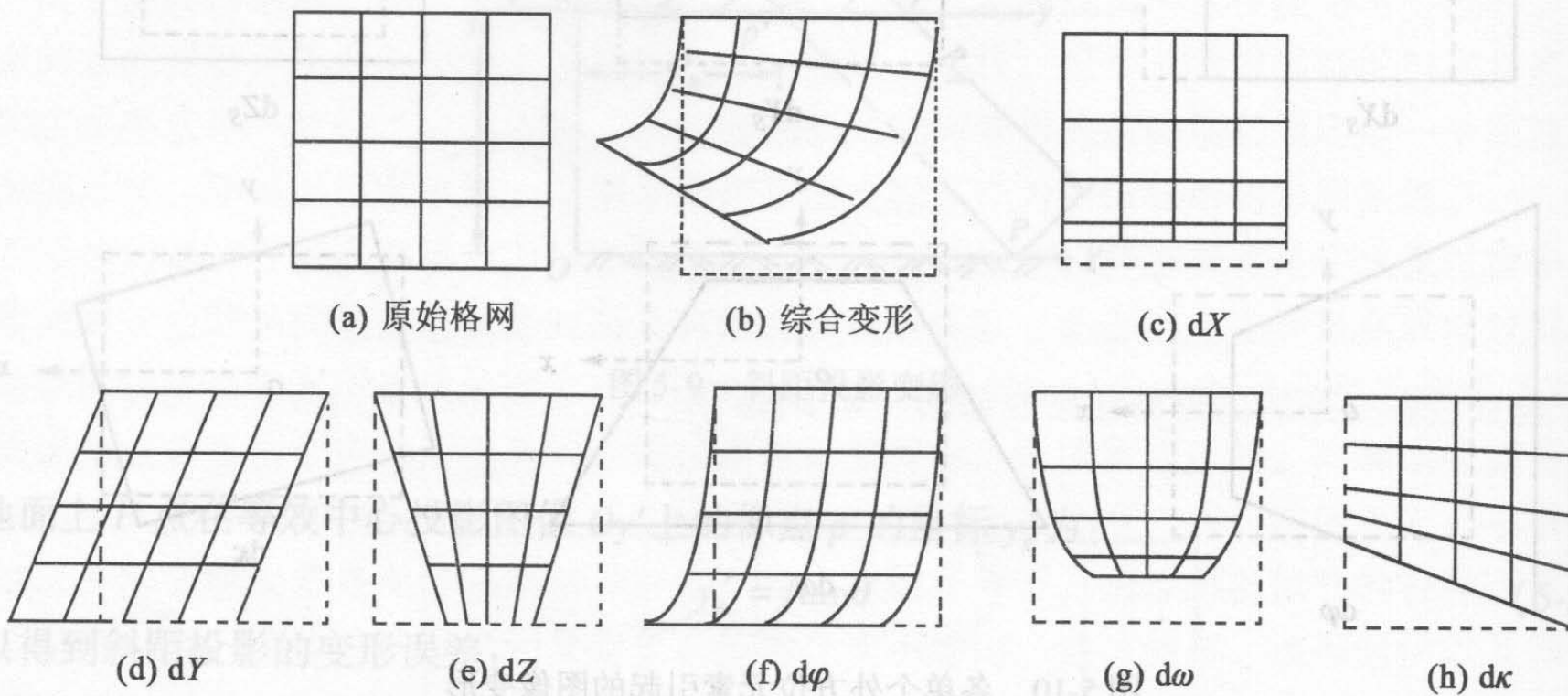
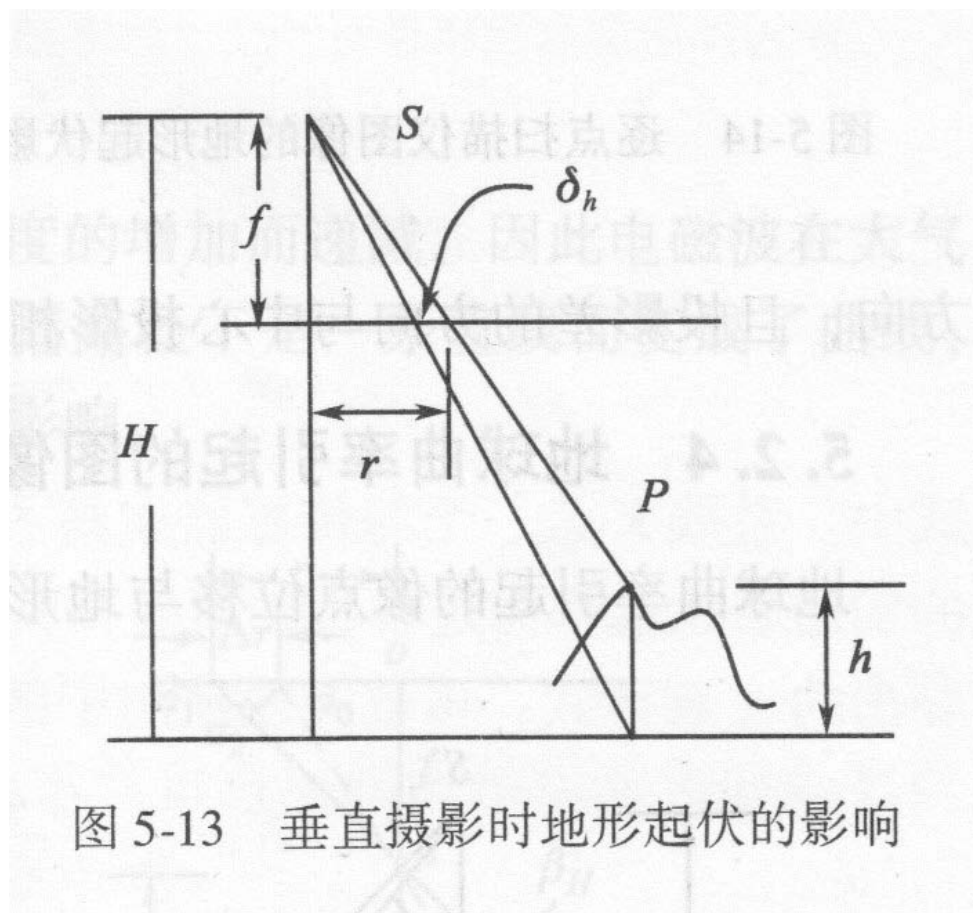


图 5-11 外方位元素引起的动态扫描图像的变形

► 地形起伏引起的像点位移



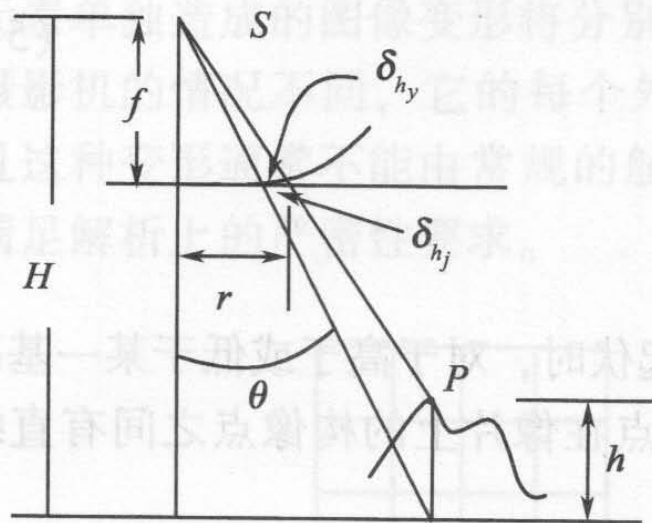


图 5-14 逐点扫描仪图像的地形起伏影响

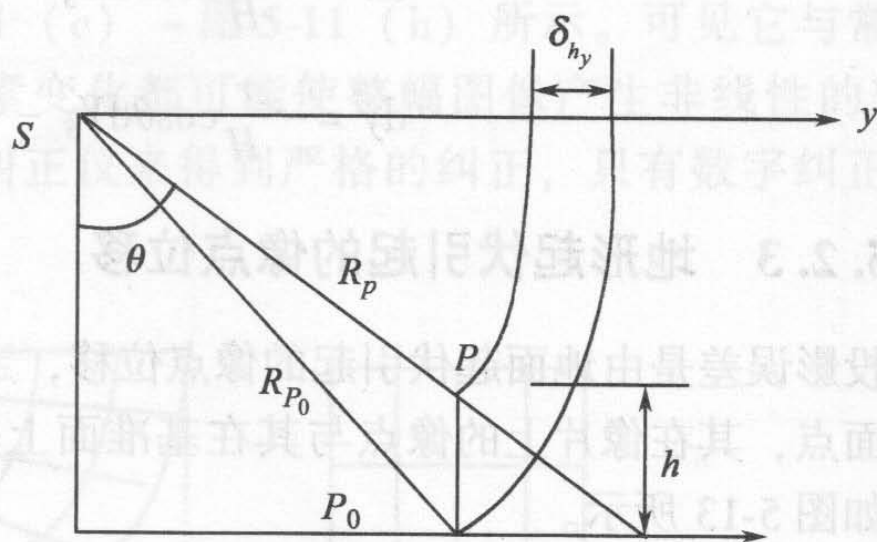
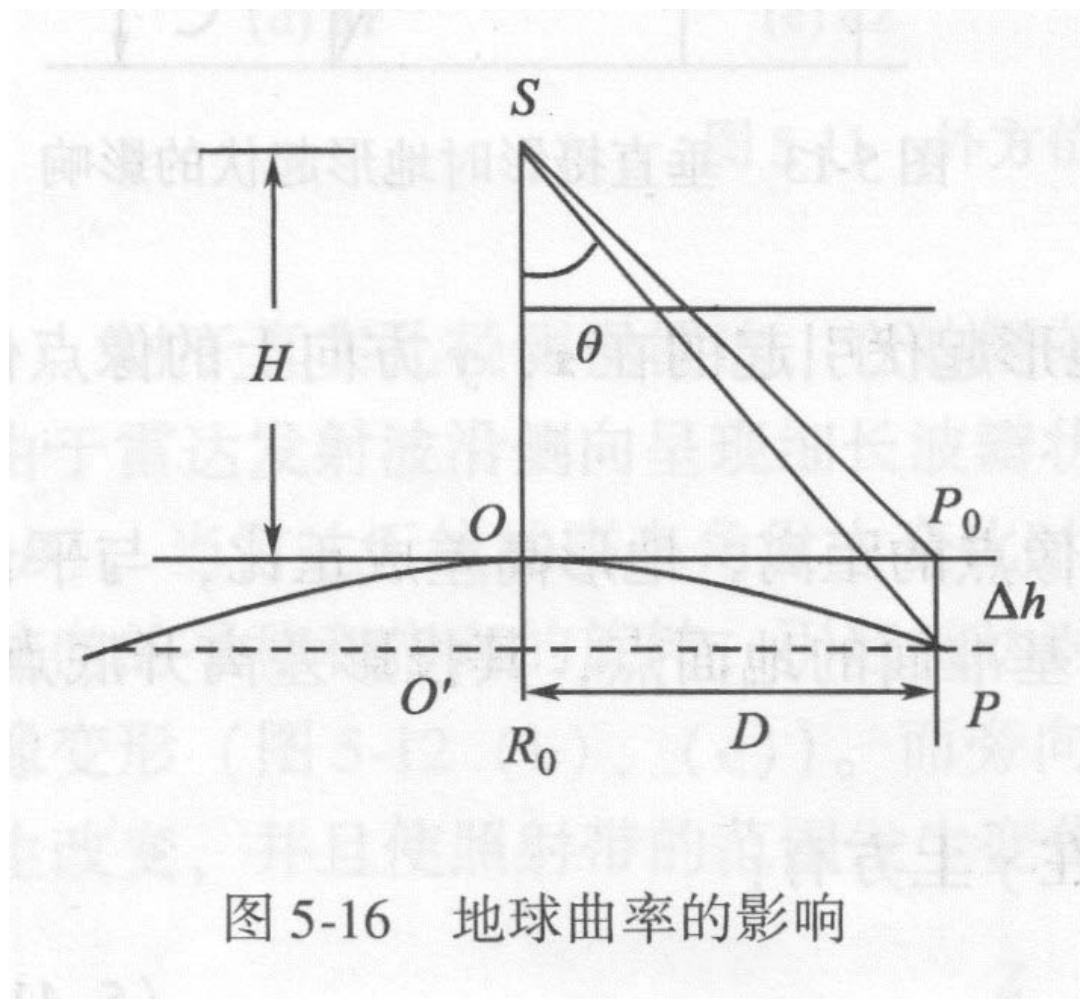


图 5-15 侧视雷达影像的地形起伏影响

➤ 地球曲率引起的图像变形



➤ 大气折射引起的图像变形

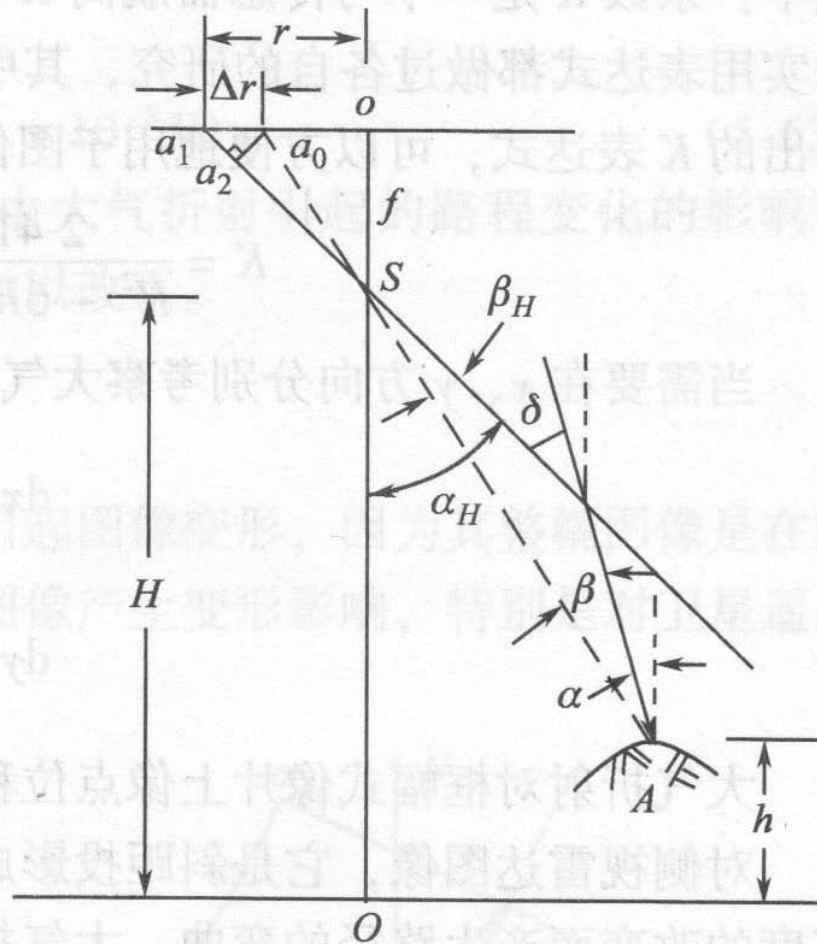


图 5-17 大气折光差

地球自转的影响

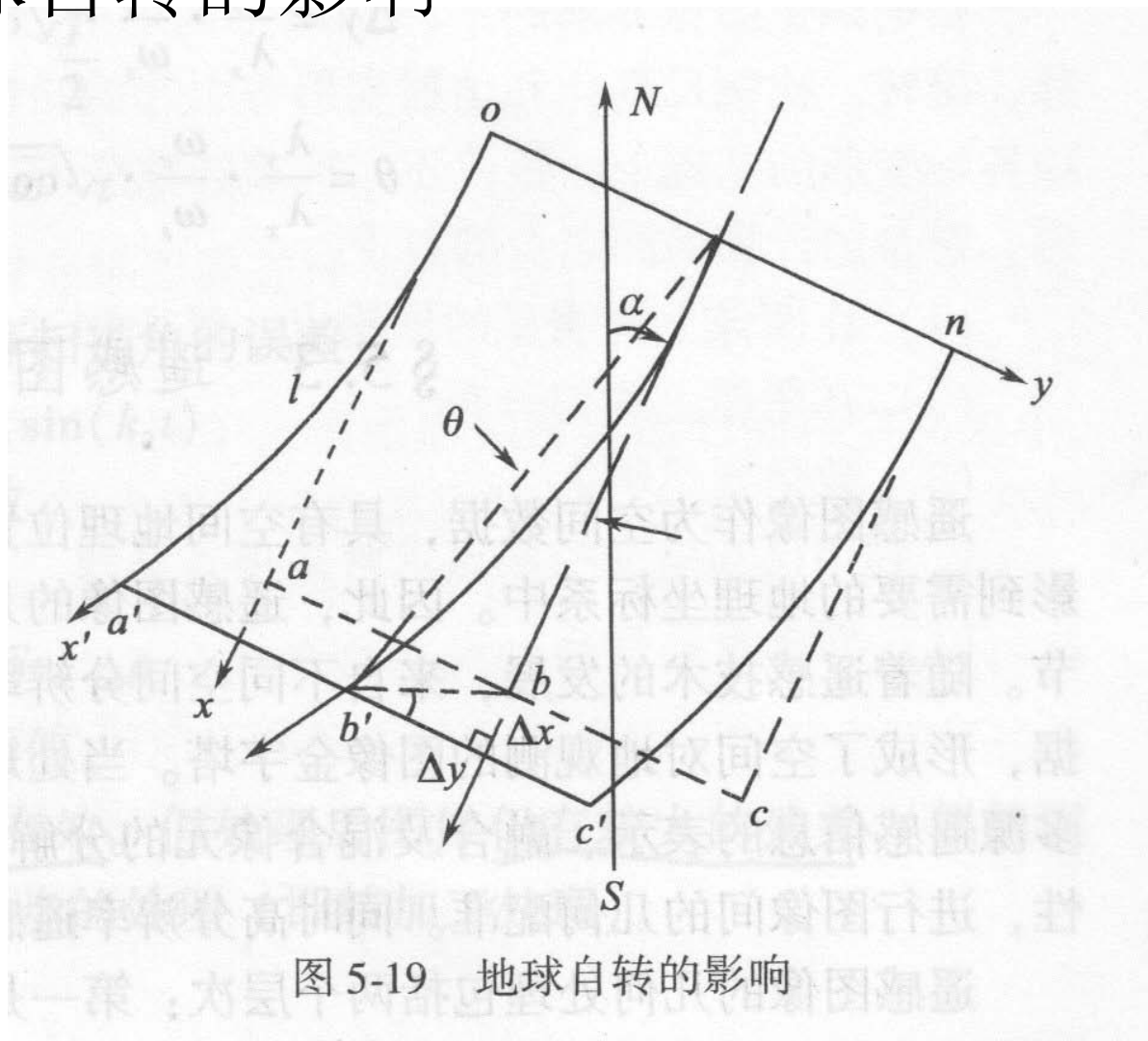


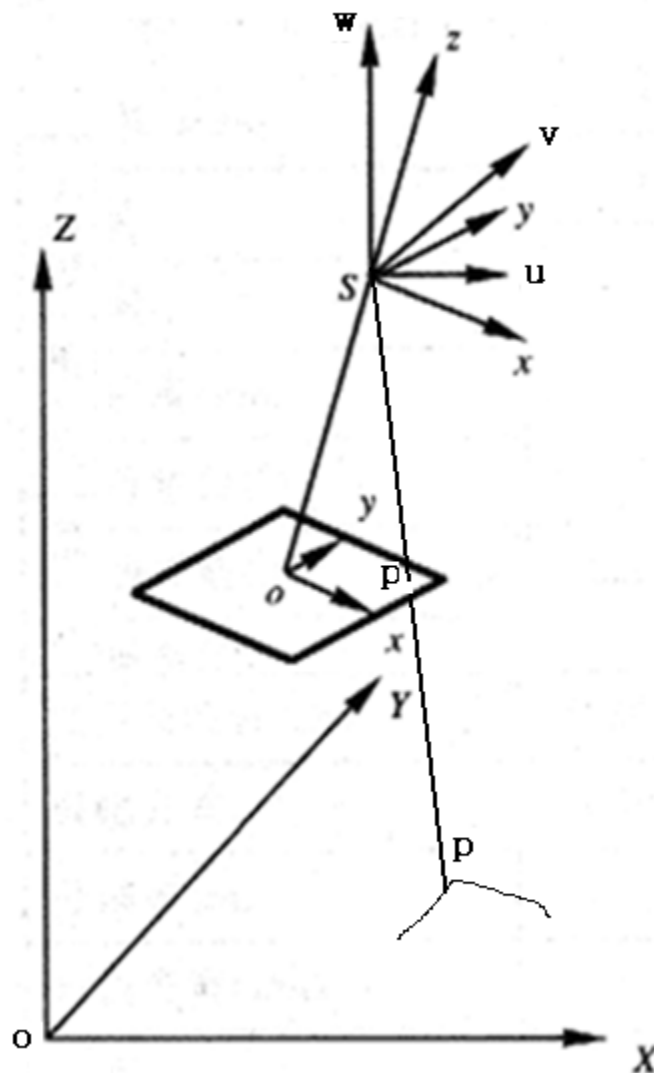
图 5-19 地球自转的影响

二、遥感传感器的构像方程

- 构像方程指地物点的图像坐标 (x, y) 和地面坐标 (X, Y, Z) 之间的数学关系。
- 构像方程是遥感图像几何数字纠正的数学基础，也是参量误差分析的基础。
- 传感器的构像方程可分为严格的物理模型和通用模型两类。

三个坐标系：

- 图像坐标系 $o-xyf$
- 地面坐标系 $O-XYZ$
- 传感器坐标系 $S-UVW$



通用构像方程

- 是传感器坐标系S-UVW与地面坐标系O-XYZ之间的坐标转换关系

$$\begin{bmatrix} X_p \\ Y_p \\ Z_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{bmatrix} + A \begin{bmatrix} U_p \\ V_p \\ W_p \end{bmatrix}$$

- 可据通用构像方程导出各种不同传感器的构像方程
 - 1、框幅摄影机的构像方程
 - 2、全景摄影机的构像方程
 - 3、推扫式传感器的构像方程
 - 4、红外和多光谱扫描仪的构像方程
 - 5、侧视雷达图像的构像方程

1、框幅摄影机（中心投影）构像方程

$$\begin{bmatrix} U \\ V \\ W \end{bmatrix} = \lambda_p \begin{bmatrix} x \\ y \\ -f \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} X_P \\ Y_P \\ Z_P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{bmatrix} + \lambda_p A \begin{bmatrix} x \\ y \\ -f \end{bmatrix}$$

正算公式

$$X_P = X_S + (Z_P - Z_S) \frac{a_{11}x + a_{12}y - a_{13}f}{a_{31}x + a_{32}y - a_{33}f}$$

$$Y_P = Y_S + (Z_P - Z_S) \frac{a_{21}x + a_{22}y - a_{23}f}{a_{31}x + a_{32}y - a_{33}f}$$

反算公式

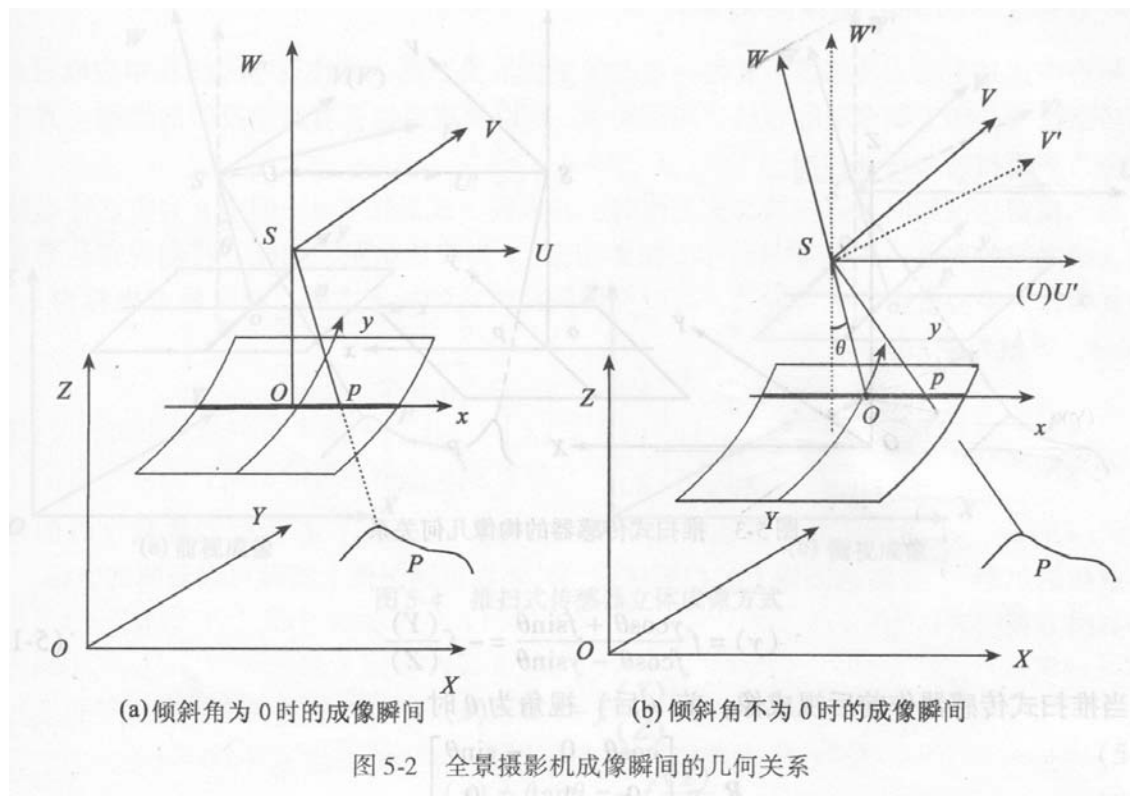
$$x = -f \frac{a_{11}(X_P - X_S) + a_{21}(Y_P - Y_S) + a_{31}(Z_P - Z_S)}{a_{13}(X_P - X_S) + a_{23}(Y_P - Y_S) + a_{33}(Z_P - Z_S)} = -f \frac{(X)}{(Z)}$$

$$y = -f \frac{a_{12}(X_P - X_S) + a_{22}(Y_P - Y_S) + a_{32}(Z_P - Z_S)}{a_{13}(X_P - X_S) + a_{23}(Y_P - Y_S) + a_{33}(Z_P - Z_S)} = -f \frac{(Y)}{(Z)}$$

2、全景摄影机的构像方程

(由一条曝光缝隙沿旁向扫描成像)

对一条缝隙图像而言，几何关系等效于中心投影沿旁向倾斜一个扫描角后，以中心线成像的情况：



$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_P = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{S_t} + \lambda A_t R_\theta \begin{bmatrix} x \\ 0 \\ -f \end{bmatrix} \quad R_\theta = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}$$

$$(x) = \frac{x}{\cos \theta} = -f \frac{(X)}{(Z)}$$

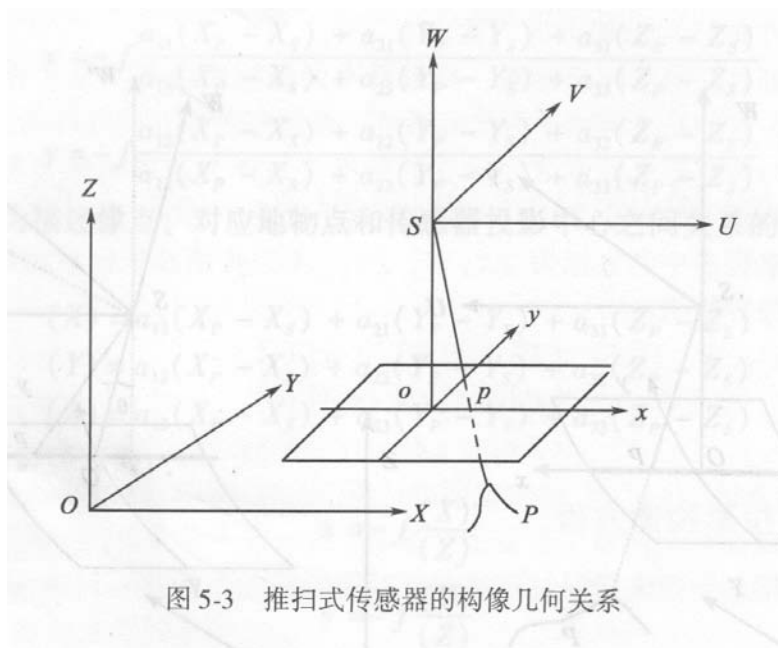
$$(y) = f \tan \theta = -f \frac{(Y)}{(Z)}$$

(x)、(y) 为等效的中心投影影像坐标。

3、推扫式传感器的构像方程

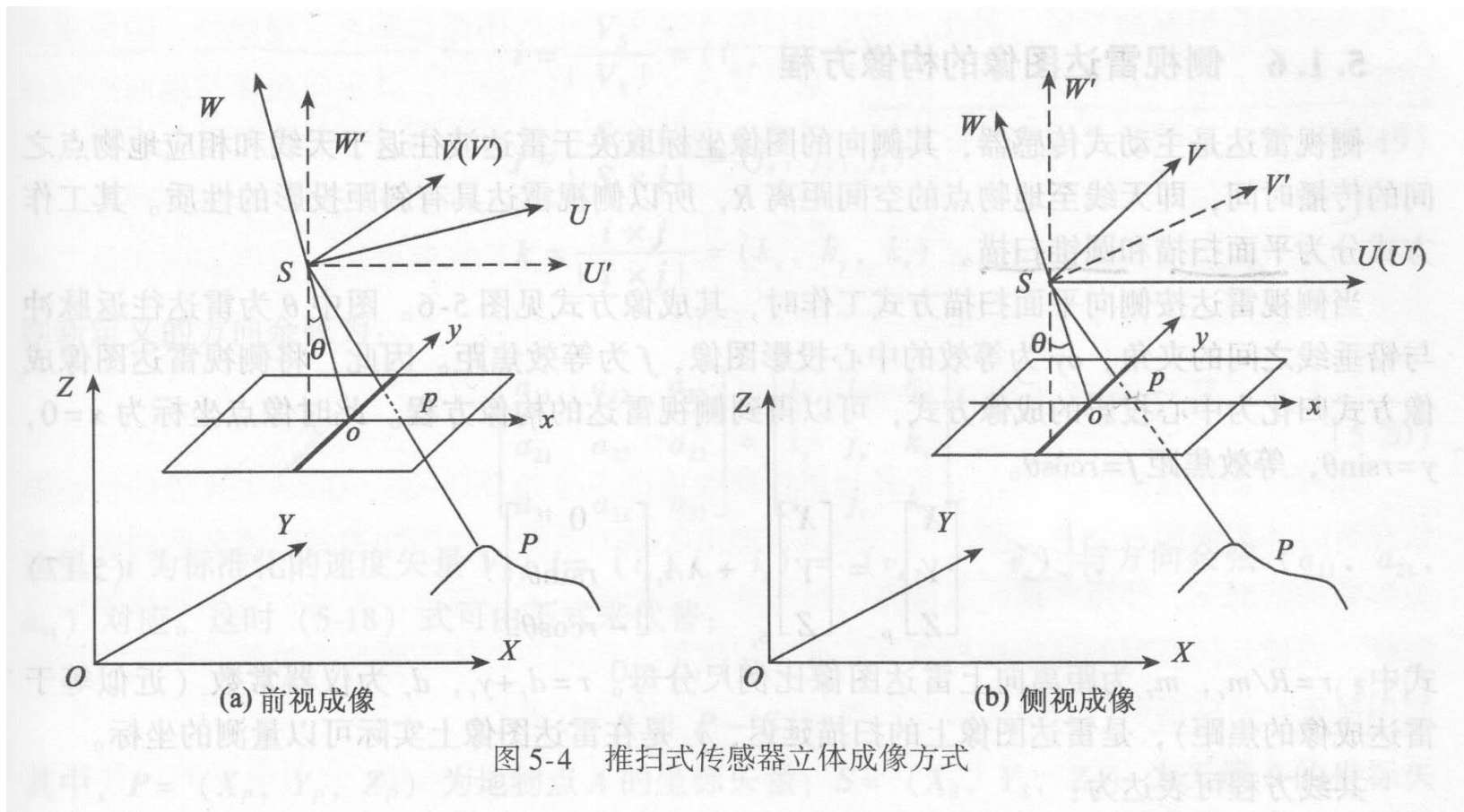
(行扫描成像)

(1) 垂直成像情况：每条线的成像属于中心投影



$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_P = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{S_t} + \lambda A_t \begin{bmatrix} 0 \\ y \\ -f \end{bmatrix} \quad \begin{aligned} (x) &= 0 = -f \frac{(X)}{(Z)} \\ (y) &= y = -f \frac{(Y)}{(Z)} \end{aligned}$$

(2) 倾斜扫描成像情况:



$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_P = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{S_t} + \lambda A_t R_\theta \begin{bmatrix} 0 \\ y \\ -f \end{bmatrix}$$

旁向傾斜

$$R_\theta = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad \begin{aligned} (x) &= 0 = -f \frac{(X)}{(Z)} \\ (y) &= f \frac{y \cos \theta + f \sin \theta}{f \cos \theta - y \sin \theta} = -f \frac{(Y)}{(Z)} \end{aligned}$$

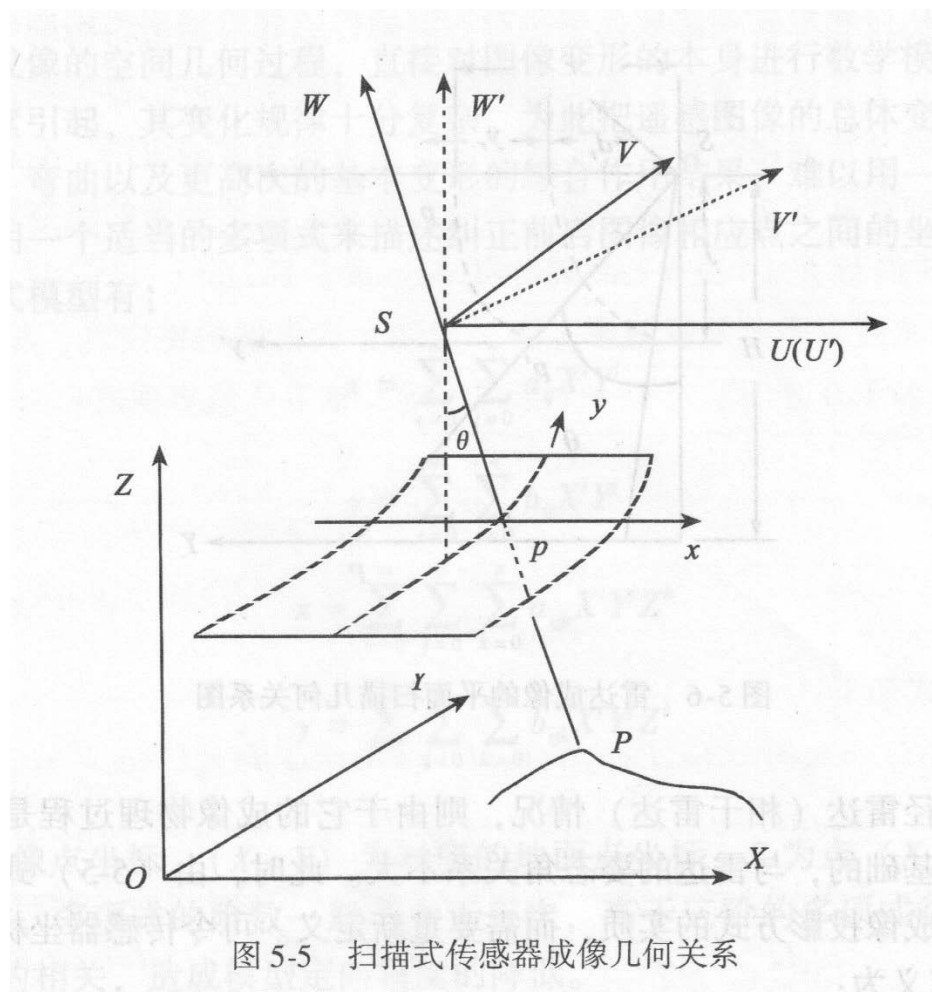
航向傾斜

$$R_\theta = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \quad \begin{aligned} (x) &= f \tan \theta = -f \frac{(X)}{(Z)} \\ (y) &= y \sec \theta = -f \frac{(Y)}{(Z)} \end{aligned}$$

4、扫描式传感器的构像方程

(点扫描成像)

每个像元的构像，等效于中心投影朝旁向旋转了扫描角后，以像幅中心成像。



$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_P = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{S_t} + \lambda A_t R_\theta \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -f \end{bmatrix} \quad R_\theta = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}$$

$$(x) = 0 = -f \frac{(X)}{(Z)}$$

$$(y) = f \tan \theta = -f \frac{(Y)}{(Z)}$$

5、侧视雷达图像的构像方程 (斜距投影)

侧向平面扫描方式:

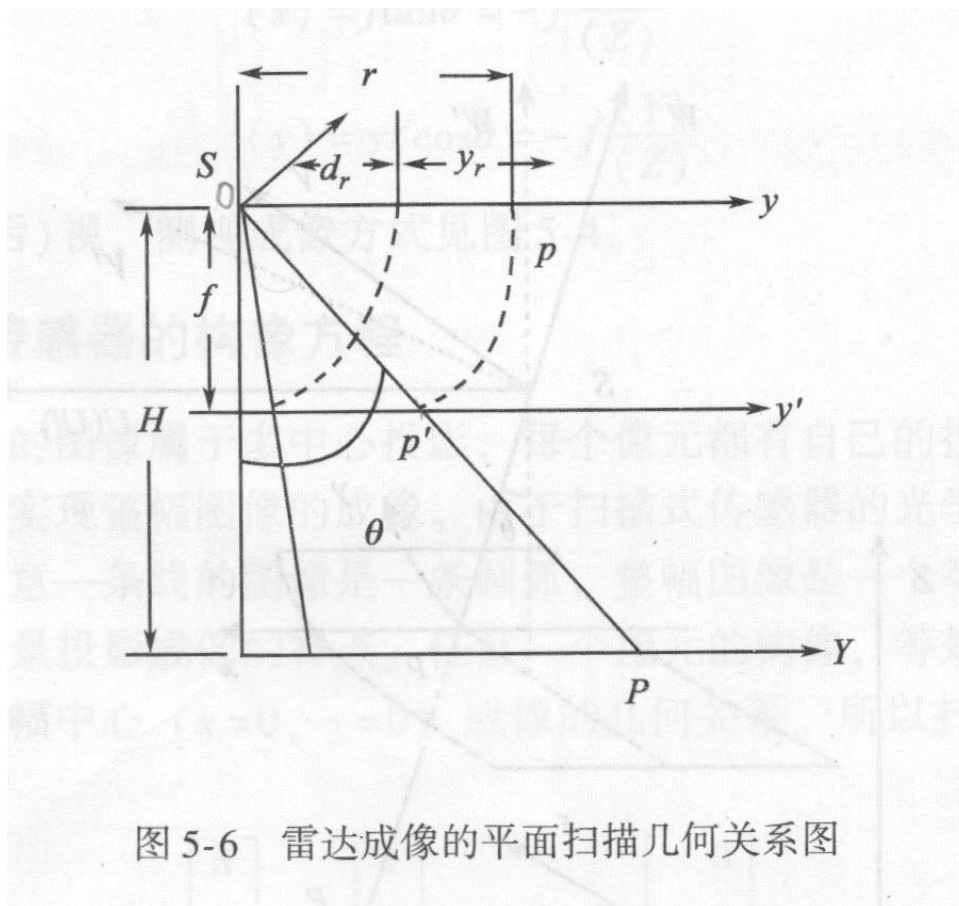


图 5-6 雷达成像的平面扫描几何关系图

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_P = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{S_t} + \lambda A_t \begin{bmatrix} 0 \\ r \sin \theta \\ -r \cos \theta \end{bmatrix} \quad \begin{aligned} (x) &= 0 = -f \frac{(X)}{(Z)} \\ (y) &= r \sin \theta = -f \frac{(Y)}{(Z)} \end{aligned}$$

注意：式中 A_t 的定义分真实孔径雷达和合成孔径雷达两种情况。

基于多项式的传感器模型

- 回避成像的空间几何过程，直接对图像变形的本身进行数学模拟。

$$x = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n a_{ij} X^i Y^j$$


$$y = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n b_{ij} X^i Y^j$$

$$x = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^p a_{ijk} X^i Y^j Z^k$$

$$y = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^p b_{ijk} X^i Y^j Z^k$$

基于有理函数的传感器模型

有理函数模型是各种传感器成像几何模型的一种比多项式模型更广义和更为精确的表达，具有独立于传感器、形式简单等特点，能满足传感器参数透明化、成像几何模型通用化和处理高速智能化的要求。



$$P = \sum_{i=0}^{m_1} \sum_{j=0}^{m_2} \sum_{k=0}^{m_3} a_{ijk} X^i Y^j Z^k$$

$$\begin{cases} r_n = \frac{p_1(X_n, Y_n, Z_n)}{p_2(X_n, Y_n, Z_n)} \\ c_n = \frac{p_3(X_n, Y_n, Z_n)}{p_4(X_n, Y_n, Z_n)} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} &= a_0 + a_1 Z + \\ &a_2 Y + a_3 X + a_4 ZY + a_5 ZX + a_6 XY + \\ &a_7 Z^2 + a_8 Y^2 + a_9 X^2 + a_{10} ZYX + \\ &a_{11} Z^2 Y + a_{12} Z^2 X + a_{13} ZY^2 + \\ &a_{14} Y^2 X + a_{15} ZX^2 + a_{16} YX^2 + \\ &a_{17} Z^3 + a_{18} Y^3 + a_{19} X^3 \end{aligned}$$

三、遥感图像几何处理

- 几何处理的两个层次
- 数字纠正的基本原理
- 数字纠正过程中的几个重要问题
- 常用的纠正变换方法

(一) 几何处理的两个层次

■ 粗加工处理

- 仅做系统误差改正
- 需要利用图像的构象方程来进行
- 对传感器的内部畸变改正很有效
- 处理后仍有较大残差

■ 精加工处理

进一步消除图像中的几何变形，产生符合某种地图投影或图形表达要求的新图像；

例：MSS数据粗纠正

- 已知图像的构像方程，把与传感器有关的测定的校正数据（如传感器的外方位元素等）代入构像公式对原始图像进行几何校正。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_P = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{S_t} + \lambda A_t R_\theta \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -f \end{bmatrix}$$

■ 投影中心坐标

- 星历表法

- GPS测定法

■ 传感器姿态角

- 姿态测量仪测定

■ 扫描角

- 平均扫描角速度

$$\varpi = \frac{\alpha}{T/2}$$

- 平均扫描角

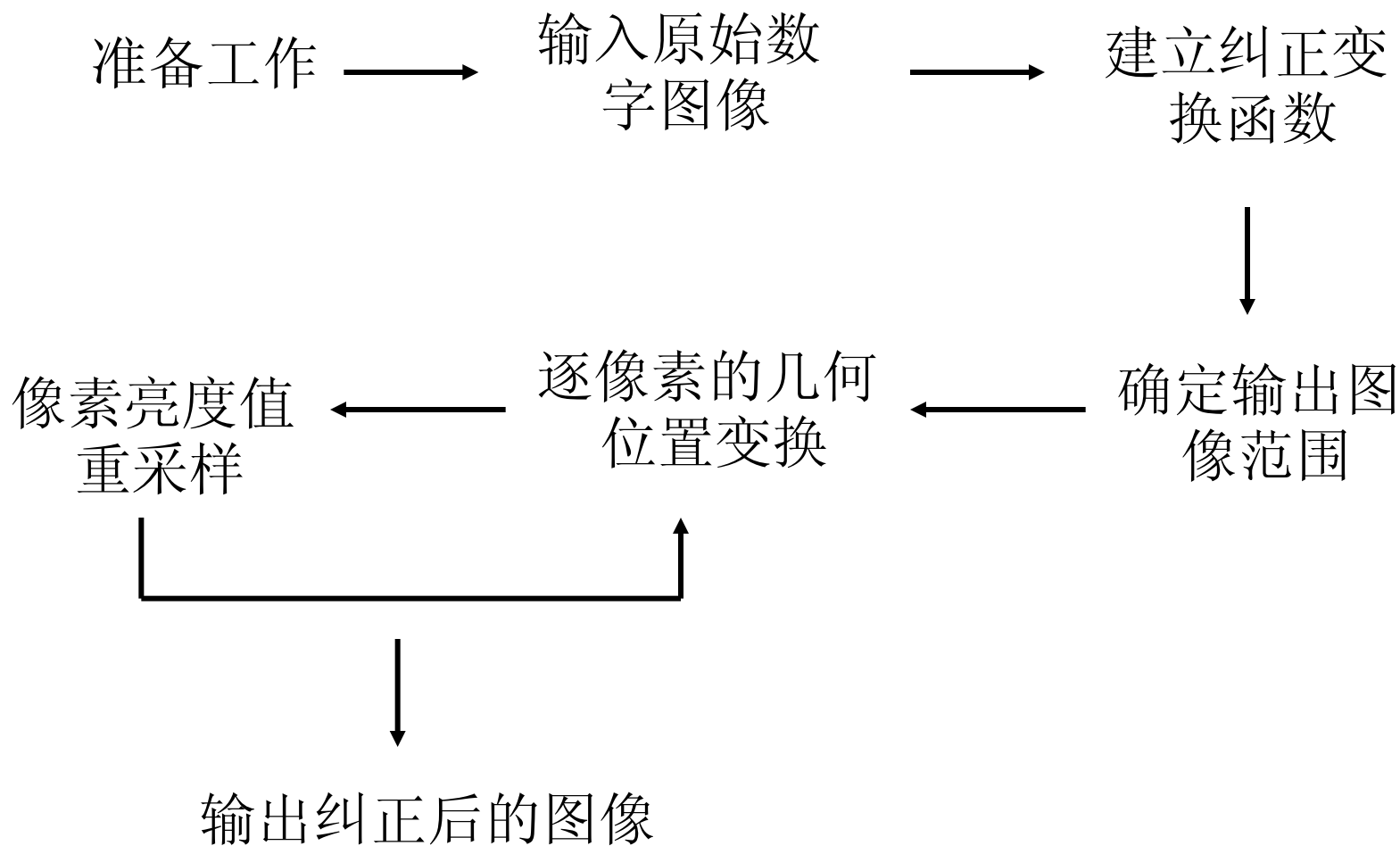
$$\bar{\theta} = \varpi \cdot t$$

- 扫描角误差改正数

$$\Delta\theta = k_1 \sin(k_2 t)$$

$$\theta = \bar{\theta} + \Delta\theta$$

(二) 数字精纠正的基本原理和过程



(三) 数字纠正过程中几个重要的问题

- 输出图像边界的确定
- 纠正变换方案
- 像素亮度值重采样

问题一：纠正后数字图像的边界范围的确定

即确定计算机为输出图像所开出的贮存空间大小，以及该空间边界（首行、首列，末行、末列）的地图（或地面）坐标值。

原则是：既包括了纠正后图像的全部内容，又使空白图像空间尽可能地少。

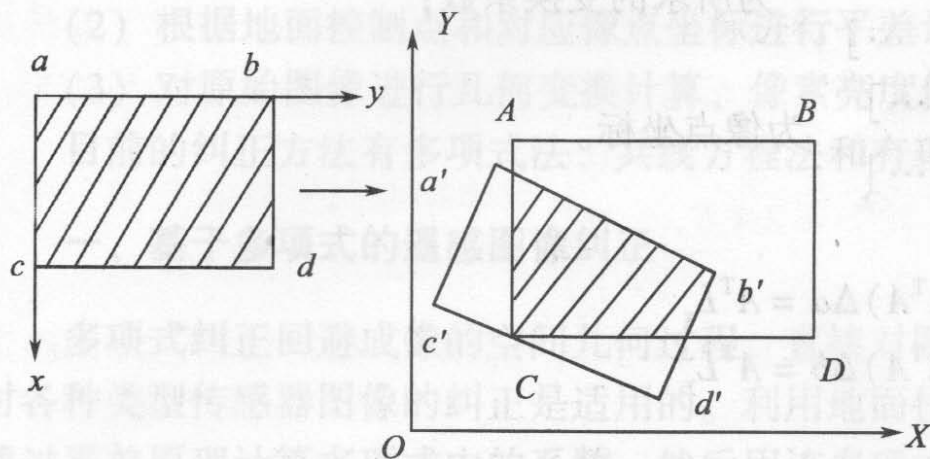


图 5-21 不正确边界范围

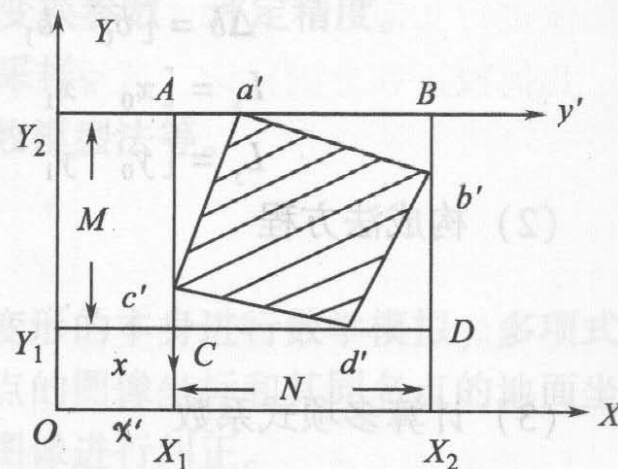


图 5-22 正确边界范围

确定过程:

- 把原始图象的四个角点按纠正变换函数投影到地图坐标系统中去;
- 找出其中最小的 X_1 、 Y_1 值和最大的 X_2 、 Y_2 值;
- 计算图象的行列数;

$$M = \frac{Y_2 - Y_1}{\Delta Y} + 1 \quad N = \frac{X_2 - X_1}{\Delta X} + 1$$

- 地面坐标转换为输出图象坐标

根据纠正变换函数可计算原始图像坐标 x, y 对应的地面坐标 X_p, Y_p ,

$$x'_p = \frac{Y_2 - Y_p}{\Delta Y} + 1 \quad x'_p = 1, 2, \dots, M$$

$$y'_p = \frac{X_p - X_1}{\Delta X} + 1 \quad y'_p = 1, 2, \dots, N$$

问题二：坐标纠正变换两种方案

直接法（需进行像元的重新排列，要求存储空间大一倍，计算时间也长）

间接法（常采用）

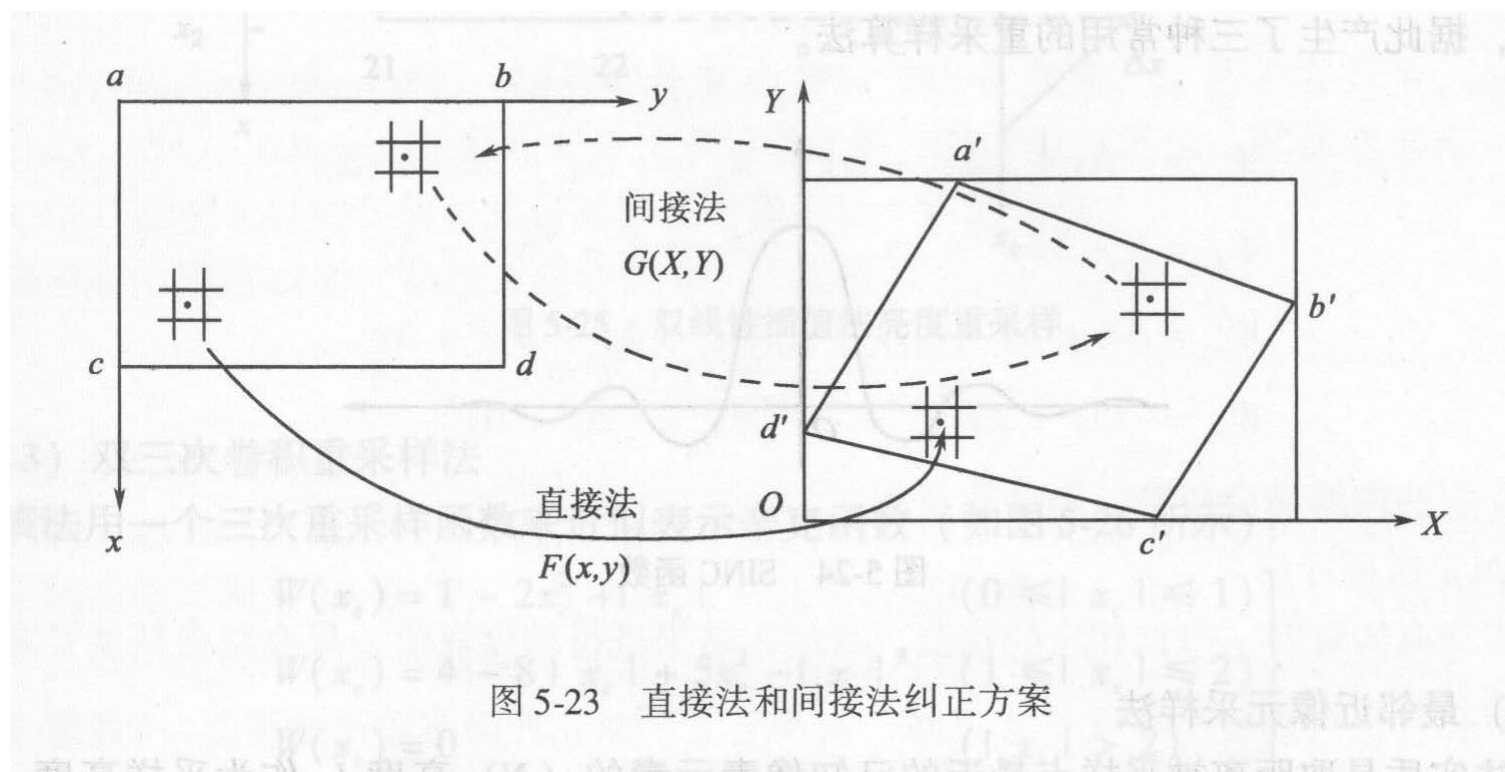


图 5-23 直接法和间接法纠正方案

问题三：亮度值重采样

- 几何变换后坐标计算值不为整数时，需要把该点周围邻近整数点位上的亮度值对该点的亮度贡献累积起来，构成该点位的新亮度值，即亮度值重采样。
- 理想的重采样函数是辛克（**SINC**）函数。
- 由于辛克函数使用不方便，所以常采用一些近似函数来代替它。

三种常用的重采样方法

1、双三次卷积重采样法

（内插精度较高，但计算量大）

2、双线性内插法

（实践中常采用）

3、最邻近像元采样

（简单计算量小、辐射保真度好，但几何精度低）

双三次卷积重采样法

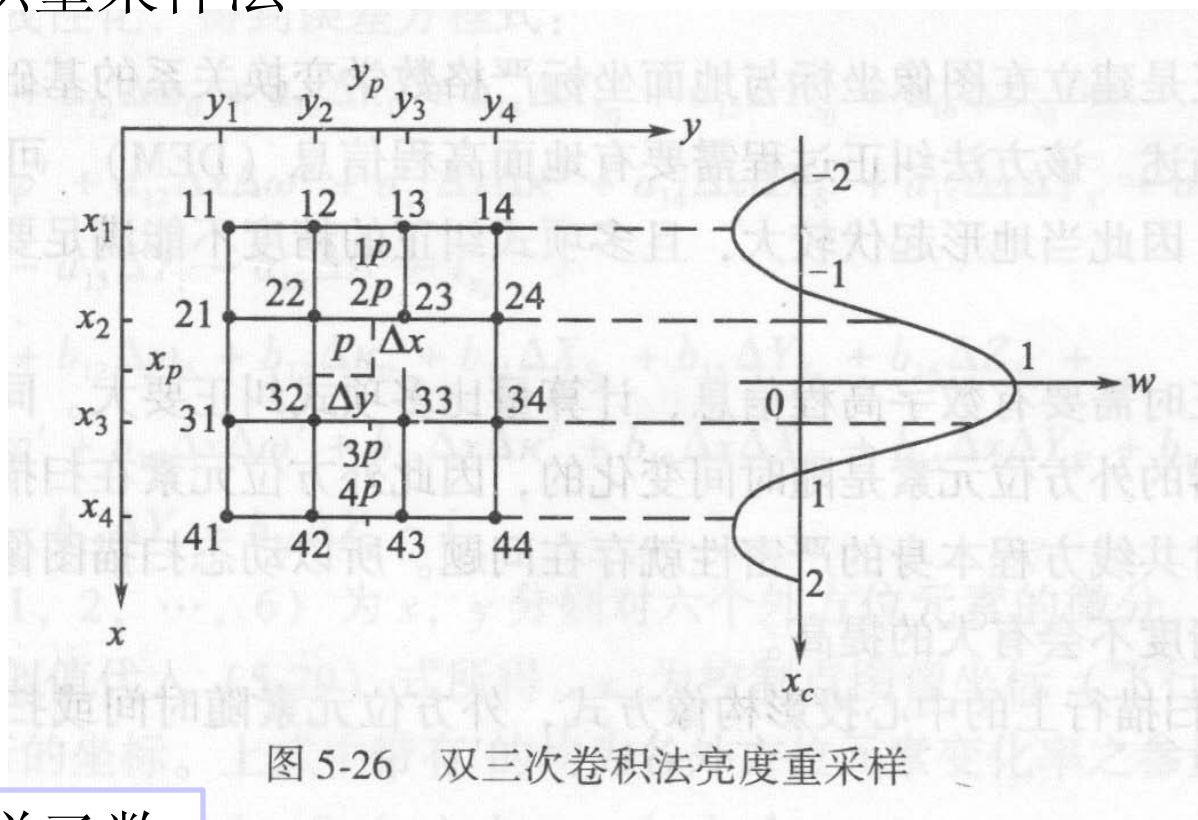


图 5-26 双三次卷积法亮度重采样

重采样函数:

$$\left. \begin{aligned} W(x_c) &= 1 - 2x_c^2 + |x_c|^3 & (0 \leq |x_c| < 1) \\ W(x_c) &= 4 - 8|x_c| + 5x_c^2 - |x_c|^3 & (1 \leq |x_c| \leq 2) \\ W(x_c) &= 0 & (|x_c| > 2) \end{aligned} \right\}$$

内插点亮度值 I_p 的计算:

$$I_P = W_x \cdot I \cdot W_y^T \quad I = \begin{bmatrix} I_{11} & I_{12} & I_{13} & I_{14} \\ I_{21} & I_{22} & I_{23} & I_{24} \\ I_{31} & I_{32} & I_{33} & I_{34} \\ I_{41} & I_{42} & I_{43} & I_{44} \end{bmatrix}$$

$$W_x = [W_{x1} \quad W_{x2} \quad W_{x3} \quad W_{x4}]$$

$$W_y = [W_{y1} \quad W_{y2} \quad W_{y3} \quad W_{y4}]$$

$$W_{x1} = -\Delta x + 2\Delta x^2 - \Delta x^3$$

$$W_{x2} = 1 - 2\Delta x^2 + \Delta x^3$$

$$W_{x3} = \Delta x + \Delta x^2 - \Delta x^3$$

$$W_{x4} = -\Delta x + \Delta x^3$$

$$W_{y1} = -\Delta y + 2\Delta y^2 - \Delta y^3$$

$$W_{y2} = 1 - 2\Delta y^2 + \Delta y^3$$

$$W_{y3} = \Delta y + \Delta y^2 - \Delta y^3$$

$$W_{y4} = -\Delta y + \Delta y^3$$

双线性内插法

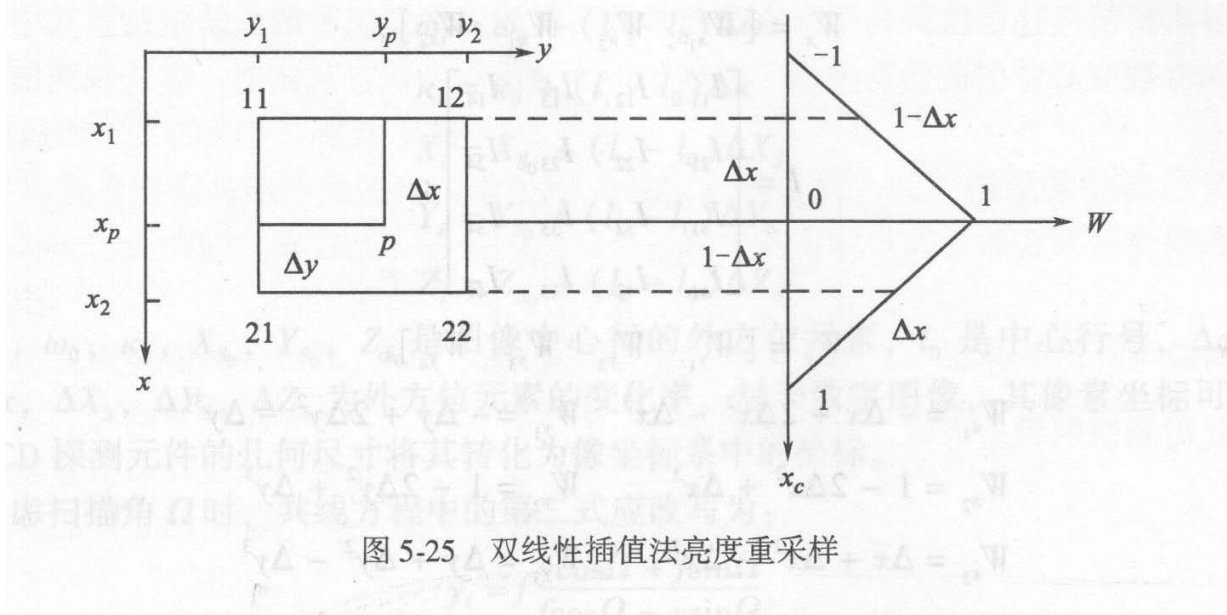


图 5-25 双线性插值法亮度重采样

$$W(x_c) = 1 - |x_c|, (0 \leq |x_c| \leq 1)$$

$$I_p = W_x \cdot I \cdot W_y^T = \begin{bmatrix} W_{x1} & W_{x2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{11} & I_{12} \\ I_{21} & I_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_{y1} \\ W_{y2} \end{bmatrix}$$

$$W_{x1} = 1 - \Delta x$$

$$W_{y1} = 1 - \Delta y$$

$$W_{x2} = \Delta x$$

$$W_{y2} = \Delta y$$

（四）常用纠正变换方法

- 多项式纠正法
- 严格的物理模型——共线方程纠正法
- 有理函数模型
- 基于自动配准的小面元微分纠正
- 加入高差改正的**CCD**线阵影像的多项式纠正

1. 多项式纠正法

- 回避成像的空间几何过程，直接对图像变形的本身进行数学模拟，即用一个适当的多项式来表达纠正前后图像相应点之间的坐标关系。
- 适用于各种类型传感器影像的纠正。
- 多项式模型纠正时，在控制点上拟合很好，但在其它点上可能有明显偏离。
- 校正精度与地面控制点的精度、分布、数量及实际地形有关。对地面相对平坦的情况，具有足够好的纠正精度；对于地形起伏较大的地区，效果不好，特别是当倾斜角大于10度时，效果更差。

一般多项式纠正变换公式

$$x = a_0 + (a_1X + a_2Y) + (a_3X^2 + a_4XY + a_5Y^2) + \dots$$

$$y = b_0 + (b_1X + b_2Y) + (b_3X^2 + b_4XY + b_5Y^2) + \dots$$

多项式中系数的个数N与阶数n的关系：

$$N = (n+1)(n+2)/2$$

一次项：纠正图像因平移、旋转、比例尺变化和仿射变形等引起的线性变形；

二次项：改正二次非线性变形。



多项式系数的确定方法：

- 1、用可预测的图像变形参数构成；
- 2、利用已知控制点（**GCP**）的坐标值按最小二乘法原理求解。

地面控制点要求：

- 数量要足够；
- 在影像上为明显的地物点，易于判读；
- 在影像上均匀分布。



利用**GCP**进行多项式系数的解算：

- 列误差方程式
- 构成法方程
- 计算多项式系数
- 精度评定

$$V_x = A\Delta a - L_x$$

$$V_y = A\Delta b - L_y$$

$$(A^T A)\Delta a = A^T L_x$$

$$(A^T A)\Delta b = A^T L_y$$

$$\Delta a = (A^T A)^{-1} A^T L_x$$

$$\Delta b = (A^T A)^{-1} A^T L_y$$

$$\begin{aligned} V_x &= \begin{bmatrix} V_{x1} & V_{x2} & \dots \end{bmatrix} \\ V_y &= \begin{bmatrix} V_{y1} & V_{y2} & \dots \end{bmatrix} \end{aligned} \quad A = \begin{bmatrix} 1 & X_1 & Y_1 & X_1 Y_1 & \dots \\ \vdots & & & & \vdots \\ 1 & X_m & Y_m & X_m Y_m & \dots \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \Delta a &= \begin{bmatrix} a_0 & a_1 & a_2 & \dots \end{bmatrix} & L_x &= \begin{bmatrix} x_0 & x_1 & x_2 & \dots \end{bmatrix} \\ \Delta b &= \begin{bmatrix} b_0 & b_1 & b_2 & \dots \end{bmatrix} & L_y &= \begin{bmatrix} y_0 & y_1 & y_2 & \dots \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$$\delta x = \pm \left(\frac{[V_x^T V_x]}{n - N} \right)^{1/2}$$

$$\delta y = \pm \left(\frac{[V_y^T V_y]}{n - N} \right)^{1/2}$$

2.共线方程纠正法

- 建立在严密的数学基础上，是对成像空间几何形态的直接描述。在纠正过程中引入了地面高程信息（**DEM**），可以改正因地形起伏而引起的投影差。
- 虽有严密的理论基础，但数学模型中参数的确定有着很强的近似性，因此其对动态扫描图像的校正精度并不比多项式的精度高。目前对该方法的研究主要是参数的解算问题。

共线方程参数的确定

- 共线方程中的待定系数：

三个位置参数 X_s, Y_s, Z_s

三个姿态参数 φ, ω, κ

- 参数解算的两种方式

- 1、利用可预测参数来直接构成

- 2、借助于控制点按最小二乘法原理来求解。

共线方程参数随时间变化的表征函数


- 对动态传感器，每个像素（或每条扫描线）都有各自的一套共线方程参数。
- 通常可以把整幅图像成像过程中共线方程参数的变化看作时间的连续函数（共线方程参数的表征函数），用来表达任一时刻传感器的位置和姿态。

例：SPOT图像的共线方程

SPOT图像式扫描行上的中心投影构像方式，外方位元素随时间或扫描行而变，共线方程为：

$$(x) = 0 = -f \frac{a_1(X_i - X_{Si}) + b_1(Y_i - Y_{Si}) + c_1(Z_i - Z_{Si})}{a_3(X_i - X_{Si}) + b_3(Y_i - Y_{Si}) + c_3(Z_i - Z_{Si})}$$

$$(y) = y = -f \frac{a_2(X_i - X_{Si}) + b_2(Y_i - Y_{Si}) + c_2(Z_i - Z_{Si})}{a_3(X_i - X_{Si}) + b_3(Y_i - Y_{Si}) + c_3(Z_i - Z_{Si})}$$


$$\varphi_i = \varphi_0 + (l_i - l_0)\Delta\varphi$$

$$\omega_i = \omega_0 + (l_i - l_0)\Delta\omega$$

$$\kappa_i = \kappa_0 + (l_i - l_0)\Delta\kappa$$

$$X_i = X_{s0} + (l_i - l_0)\Delta X_s$$

$$Y_i = Y_{s0} + (l_i - l_0)\Delta Y_s$$

$$Z_i = Z_{s0} + (l_i - l_0)\Delta Z_s$$

3.有理函数模型方法

(RFM, Rational Function Model)

- RFM各种传感器几何模型的一种更广义的表达形式，是对不同的传感器模型更为精确的表达形式，能适用于各类传感器。尤其是高分辨率遥感影像纠正的重要方法。
- RFM优点:由于引入较多的定向参数，模拟精度很高。
- RFM缺点:模型解算复杂，运算量大，并且要求控制点的数目相对较多。处理的影像大小受限，且只能校正控制点处的误差，控制点之间的误差并不能消除。

$$\begin{cases} Y = \frac{Num_L(P, L, H)}{Den_L(P, L, H)} \\ X = \frac{Num_S(P, L, H)}{Den_S(P, L, H)} \end{cases}$$

(P, L, H) 为正则化地面坐标
(X, Y) 为正则化像点坐标

$$Num_L(P, L, H) = a_1 + a_2L + a_3P + a_4H + a_5LP + a_6LH + a_7PH + a_8L^2 + a_9P^2 + a_{10}H^2 \\ + a_{11}L^3 + a_{12}LP^2 + a_{13}LH^2 + a_{14}L^2P + a_{15}L^2H + a_{16}P^3 + a_{17}P^2L + a_{18}H^2P + a_{19}P^2H + a_{20}H^3$$

$$Den_L(P, L, H) = b_1 + b_2L + b_3P + b_4H + b_5LP + b_6LH + b_7PH + b_8L^2 + b_9P^2 + b_{10}H^2 \\ + b_{11}L^3 + b_{12}LP^2 + b_{13}LH^2 + b_{14}L^2P + b_{15}L^2H + b_{16}P^3 + b_{17}P^2L + b_{18}H^2P + b_{19}P^2H + b_{20}H^3$$

$$Num_S(P, L, H) = c_1 + c_2L + c_3P + c_4H + c_5LP + c_6LH + c_7PH + c_8L^2 + c_9P^2 + c_{10}H^2 \\ + c_{11}L^3 + c_{12}LP^2 + c_{13}LH^2 + c_{14}L^2P + c_{15}L^2H + c_{16}P^3 + c_{17}P^2L + c_{18}H^2P + c_{19}P^2H + c_{20}H^3$$

$$Den_S(P, L, H) = d_1 + d_2L + d_3P + d_4H + d_5LP + d_6LH + d_7PH + d_8L^2 + d_9P^2 + d_{10}H^2 \\ + d_{11}L^3 + d_{12}LP^2 + d_{13}LH^2 + d_{14}L^2P + d_{15}L^2H + d_{16}P^3 + d_{17}P^2L + d_{18}H^2P + d_{19}P^2H + d_{20}H^3$$

在RFM中

- 光学投影系统产生的误差用一次项表示
- 地球曲率、大气折射和镜头畸变等产生的误差用二次项来模型化
- 未知的具有高阶分量的误差如相机振动等，用三次项来表示

RFC解算

第一步：建立空间格网。

(1) 目的是生成足够数量的控制点、检查点地面坐标

(2) 方法步骤:

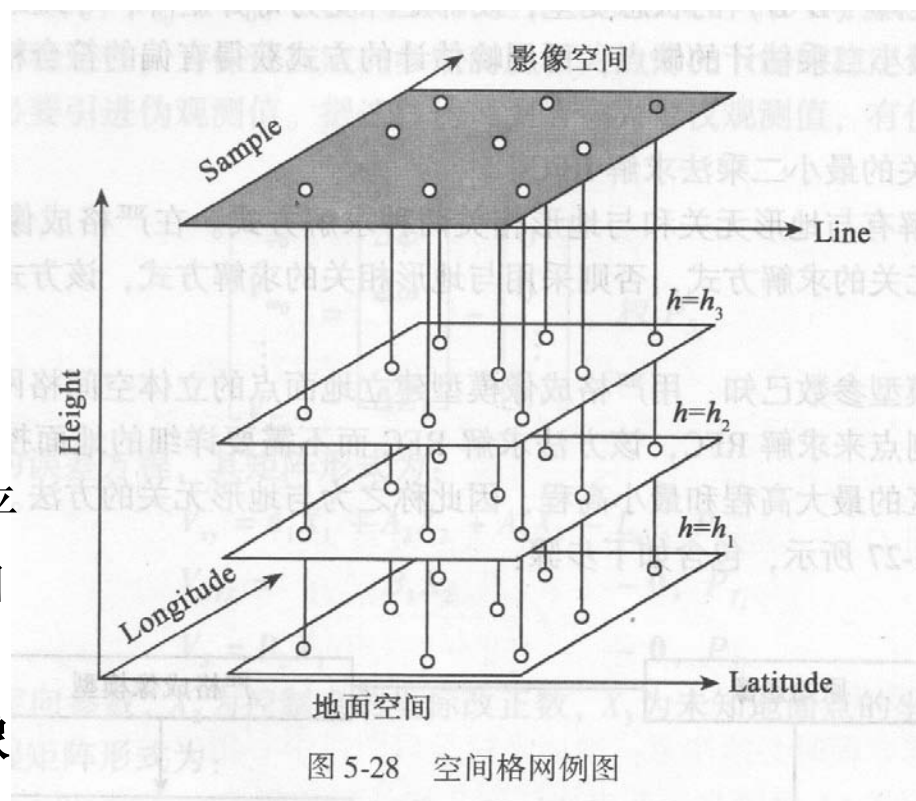
a.影像地面范围确定 (严格成像模型、影像四个角点的坐标)

b.高程范围确定 (**DEM**)

c.高程方向分层 (**2层以上**)，平面范围建立格网，得到控制点和检查点地面坐标

d.控制点影像坐标计算(严格成像模型、控制点地面坐标)

e.坐标正则化



第二步：最小二乘法RFC解算

$$F_X = \text{Num}_s(P, L, H) - X \cdot \text{Den}_s(P, L, H) = 0$$

$$F_Y = \text{Num}_L(P, L, H) - Y \cdot \text{Den}_L(P, L, H) = 0$$

$$\text{误差方程} \quad V = Bx - l, \quad W$$

$$B = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_X}{\partial a_1} & \cdots & \frac{\partial F_X}{\partial a_{20}} & \frac{\partial F_X}{\partial b_1} & \cdots & \frac{\partial F_X}{\partial b_{20}} & \frac{\partial F_X}{\partial c_1} & \cdots & \frac{\partial F_X}{\partial c_{20}} & \frac{\partial F_X}{\partial d_1} & \cdots & \frac{\partial F_X}{\partial d_{20}} \\ \frac{\partial F_Y}{\partial a_1} & \cdots & \frac{\partial F_Y}{\partial a_{20}} & \frac{\partial F_Y}{\partial b_1} & \cdots & \frac{\partial F_Y}{\partial b_{20}} & \frac{\partial F_Y}{\partial c_1} & \cdots & \frac{\partial F_Y}{\partial c_{20}} & \frac{\partial F_Y}{\partial d_1} & \cdots & \frac{\partial F_Y}{\partial d_{20}} \end{bmatrix}$$
$$x = [a_1 \quad \cdots \quad a_{20} \quad b_1 \quad \cdots \quad b_{20} \quad c_1 \quad \cdots \quad c_{20} \quad d_1 \quad \cdots \quad d_{20}]$$

$$l = \begin{bmatrix} -F_X^0 \\ -F_Y^0 \end{bmatrix}$$

$$\text{RFC系数} \quad x = (B^T B)^{-1} B^T L$$

第三步：RFC精度检查

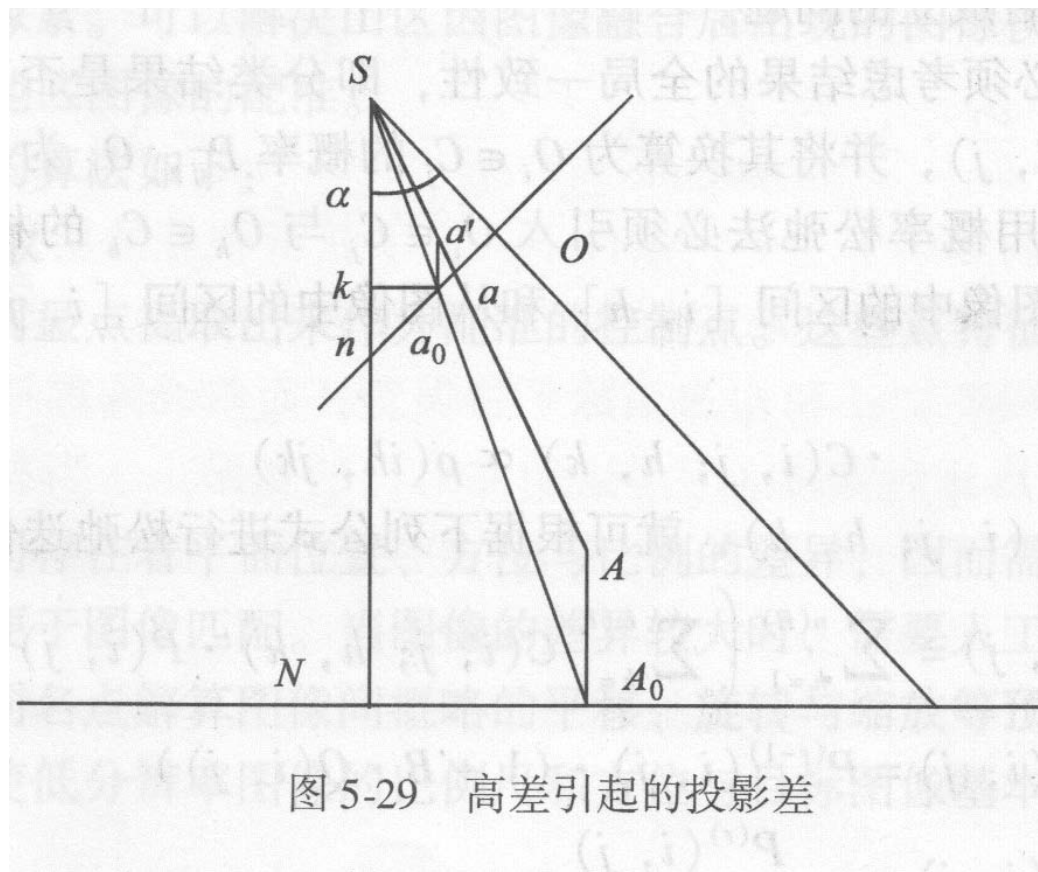
- a. 用求解的RFC计算检查点对应的影像坐标；
- b. 由严格成像模型计算检查点对应的影像坐标；
- c. 比较两种影像坐标，根据其差值评定RFC的精度。

4.加入高差改正的CCD线阵影像的多项式校正

aa_0 即为高差 h 引起的投影差，其大小为：

$$\delta_h = \frac{rh}{H} \left(1 - \frac{r \sin 2\alpha}{2f} \right)$$

其中 r 为以像底点 n 为像坐标原点时像点的坐标，即图中的 na 距离。



方法原理：

先改正因地形引起的变形；再用一般多项式来拟合，以改正其它的变形。

重采样时，先根据一般多项式函数直接计算像点坐标（所得结果中不包含高差影响），然后加上投影差，从而获得真实的像点坐标。

四. 遥感图象几何处理的应用

- 图像间的自动配准
- 数字图像镶嵌

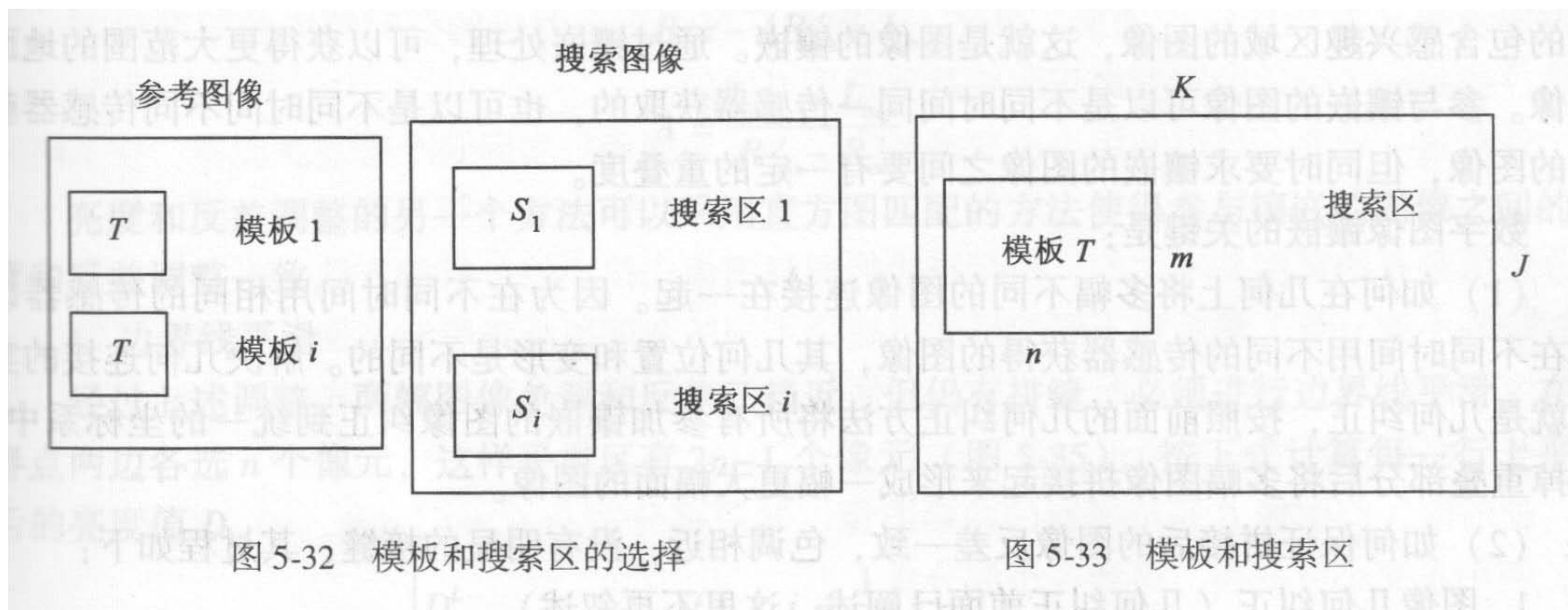


1. 图像间的配准

- 图像配准是多源数据进行比较和分析的基本保证
- 图像配准的两种方式：
 - ☞ 相对配准
 - ☞ 绝对配准
- 图像配准通常采用多项式纠正法，分两步
 - ☞ 确定足够数量的图像间同名点
 - ☞ 通过所选同名点解算多项式系数，通过纠正完成一幅图像对另一幅图像的几何纠正
- 图像间自动配准

(1) 图像自动配准的关键问题 ——同名点的选取

图像相关法:



相关性测度

■ 相关系数

$$\rho(c, r) = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (f_{i,j} - \bar{f}_{i,j})(g_{i+r,j+c} - \bar{g}_{r,c})}{\left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (f_{i,j} - \bar{f}_{i,j})^2 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (g_{i+r,j+c} - \bar{g}_{r,c})^2 \right)^{\frac{1}{2}}}$$

■ 差分测度

$$S(c, r) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |T_{i,j} - S_{i+r,j+c}|$$

■ 相关函数测度

$$R(c, r) = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n T_{i,j} \cdot S_{i+r,j+c}}{\left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m T_{i,j}^2 \cdot \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m S_{i+r,j+c}^2 \right)^{1/2}}$$

(2) 小面元微分纠正自动配准

- 全自动地获取大量密集同名点作为控制点构成密集三角网（小面元），利用小三角面元进行微分纠正，实现图像精确配准。
- 该方法可适用于平坦地区和丘陵地区图像的配准（相对纠正），检测中误差一般不超过**1.5**个像元。
- 该方法可以解决山区因图像融合后出现的图像模糊与重影问题。

算法步骤:

- 1.图像特征点提取: 利用兴趣算子提取图像中的明显点作为配准控制点。
- 2.预处理: 用1-3对同名点概略计算图像间的平移、旋转和缩放预处理系数。
- 3.粗匹配: 以特征点为中心建立目标窗口以及对应的搜索窗口, 根据相似性确定特征点的同名点。
- 4.精匹配: 几何条件约束的整体松弛匹配
- 5.小面元微分纠正: 用匹配所得的同名点构成三角网, 对其中的每一对三角形进行仿射变换纠正。

2. 数字图像镶嵌

- 指将不同的图像文件（相互之间要有一定的重叠度）合在一起形成一幅完整的包含感兴趣区域的图像。
- 镶嵌后的图像应反差一致，色调相近，没有明显的接缝。
- 方法实质也是图像的几何纠正。

数字图像镶嵌的关键问题：

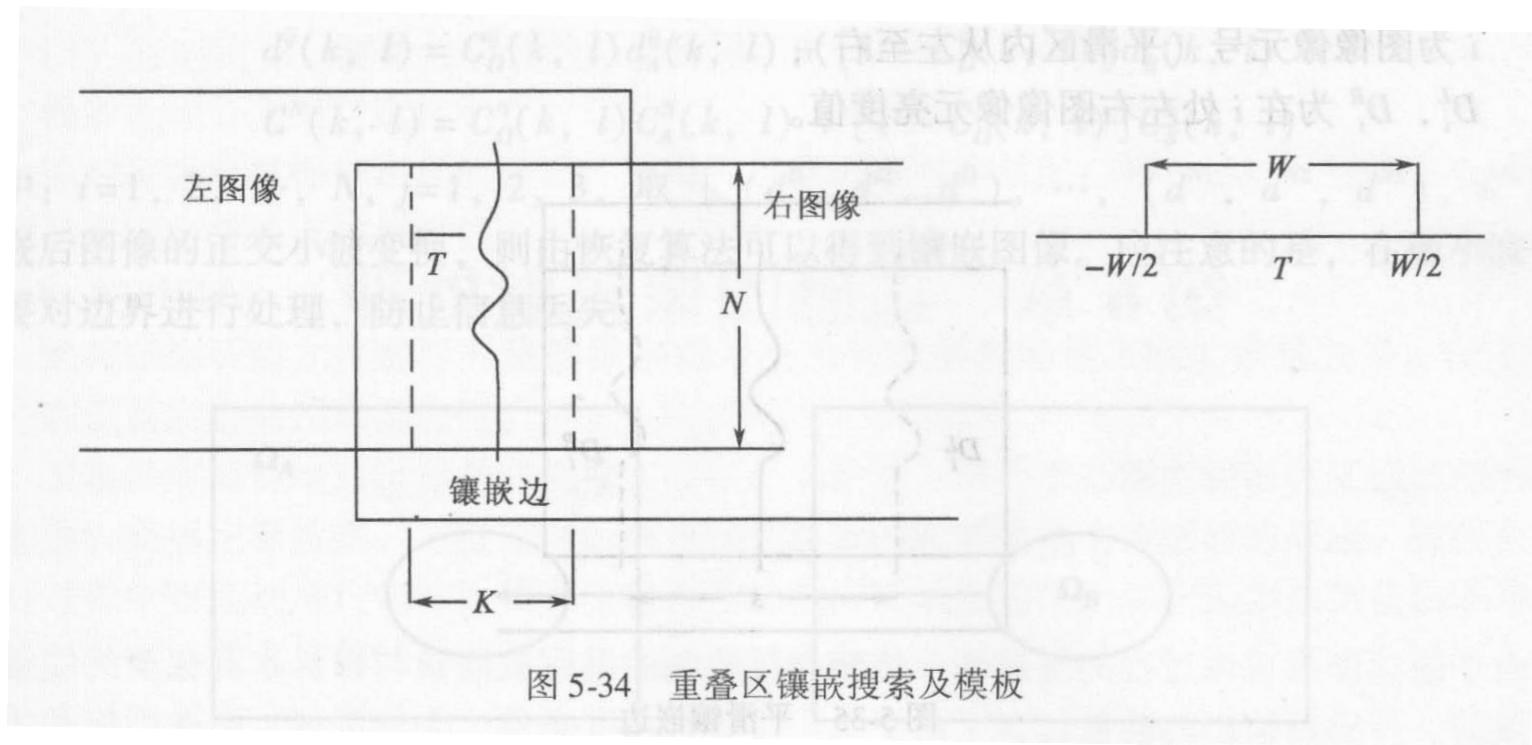
- 如何在几何上将多幅不同的图像连接在一起？
- 如何保证拼接后的图像反差一致，色调相近，而且没有明显的接缝？

数字图像镶嵌过程:

1. 图像几何纠正
2. 镶嵌边搜索
3. 亮度和反差调整
4. 边界线平滑

☞ 镶嵌边搜索

——镶嵌边是左右图像上亮度值最接近的连线。



☞ 亮度和反差调整

☞ 边界线平滑



谢谢