

遥感数字图像处理

Remote Sensing Digital Image Processing

潘竞虎

西北师范大学 地理与环境科学学院

2009年3月



第三章 遥感数字图像的几何处理

3.1 概述

1. 遥感图像的几何变形有两层含义

一是指卫星在运行过程中，由于姿态、地球曲率、地形起伏、地球旋转、大气折射、以及传感器自身性能所引起的几何位置偏差。

二是指图像上像元的坐标与地图坐标系统中相应坐标之间的差异。

△ 定义：遥感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，即说明遥感图像发生了几何畸变。

注：遥感图像的总变形是平移、缩放、旋转、偏扭、弯曲 及其他变形综合作用的结果。





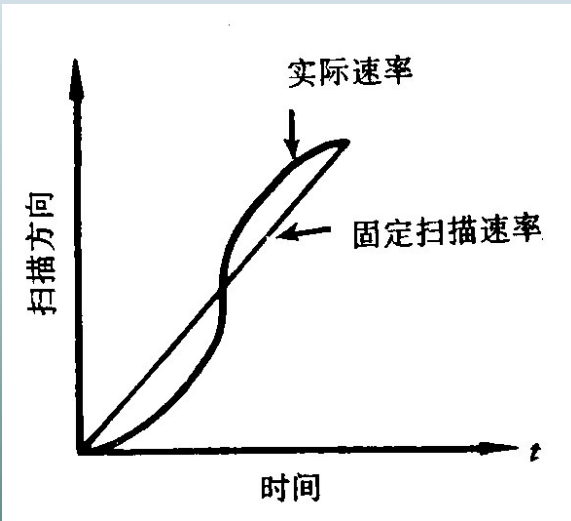
2 几何变形误差的影响因素

(1) 遥感器本身引起的畸变

遥感器本身引起的几何畸变与遥感器的结构、特性和工作方式不同而异。这些因素主要包括：

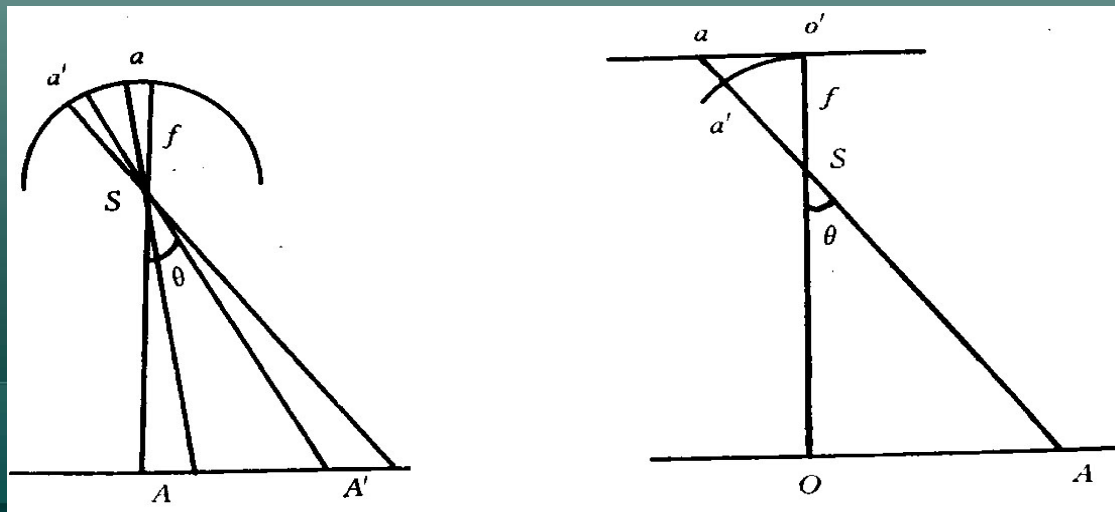
- 1) 透镜的辐射方向畸变像差；
- 2) 透镜的切线方向畸变像差；
- 3) 透镜的焦距误差；
- 4) 透镜的光轴与投影面不垂直；
- 5) 图像的投影面非平面；
- 6) 探测元件排列不整齐；
- 7) 采样速率的变化；
- 8) 采样时刻的偏差；
- 9) 扫描镜的扫描速度变化。





例如扫描形式成像的MSS，产生的几何畸变主要是由于扫描镜的非线性振动和其它一些偶然因素引起的。在地面上影响可达395米。

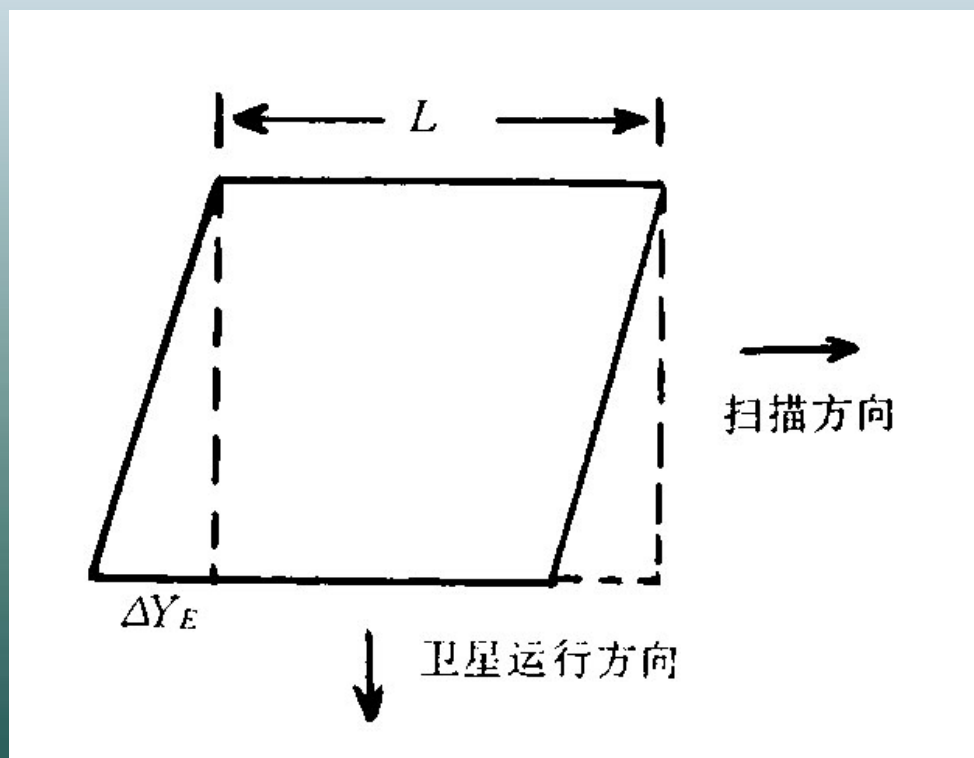
全景畸变：





(2) 外部因素引起的畸变

1) 地球自传引起的误差



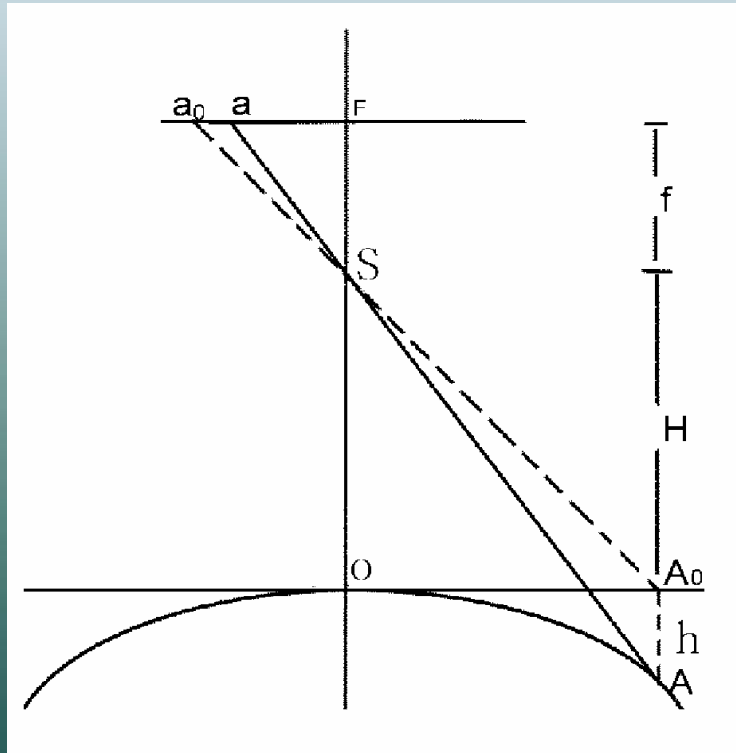
地球自转对于瞬时光学成像遥感方式没有影响，对于扫描成像则造成图像平行错动。如图所示：

$$\Delta y_e = t_e V \phi$$

Δy_e : 图像错动量； t_e : 扫描整景图像时间 ($t_e = L/R\omega$)； v_ϕ : 纬度为 ϕ 时该点地球自转线速度； L : 像幅地面长度； R : 地球平均半径6378km； ω : 卫星运行平均角速度。



2) 地球曲率的影响



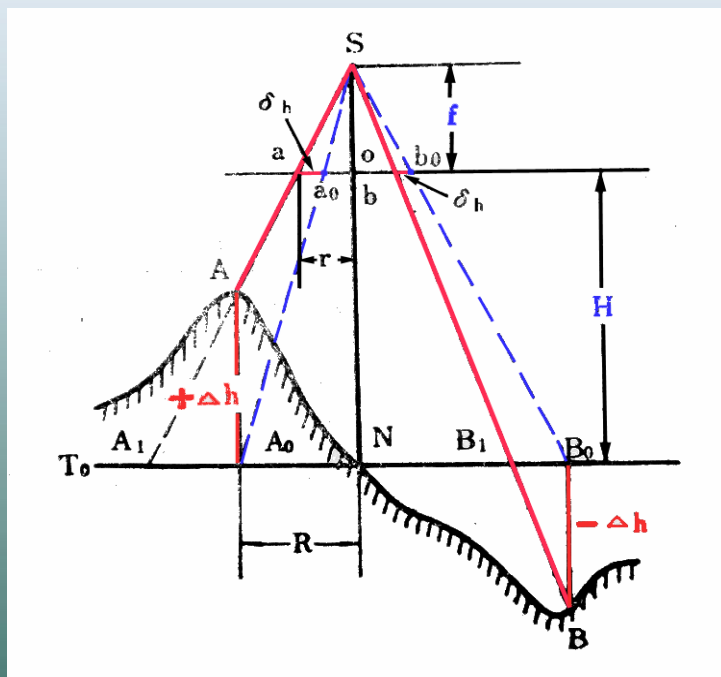
设 OA_0 为成像基准面， A 为地表一点。在考虑地球曲率影响情况下， A 与 OA_0 存在着由地球曲率引起的高差 h ， A 在 OA_0 代表的平面上投影点为 A_0 ，由于高差 h 的存在使得 A 点在像平面 Fa_0 上产生象点位移。一般来说，在星下点视场角比较小、扫描范围又比较小时地球曲率影响可以忽略，此时可以看成近垂直投影。

$$A_0O^2 = (2R_0 - h)h$$

$$h \approx A_0O^2 / 2R_0$$



3)地形起伏的影响



在高差同为正值的情况下，地形起伏在中心投影影像上造成的像点位移是远离原点向外移动，而在斜距投影（雷达）影像上则是向内变动的（page.64）。因此，在雷达影像上看到的是反立体。此外，高出地面物体的雷达影像可能带有“阴影”，远景影像可能被近景影像所覆盖。

地面起伏引起投影点相对于基准面上垂直投影点的像点产生的直线位移称为地面起伏引起的像点位移，也叫投影差。

$$\delta_h = \frac{\Delta h \cdot r}{H}$$

r 称为向径，像点至像底点的距离。
 Δh 为相对于基准面的高程差。

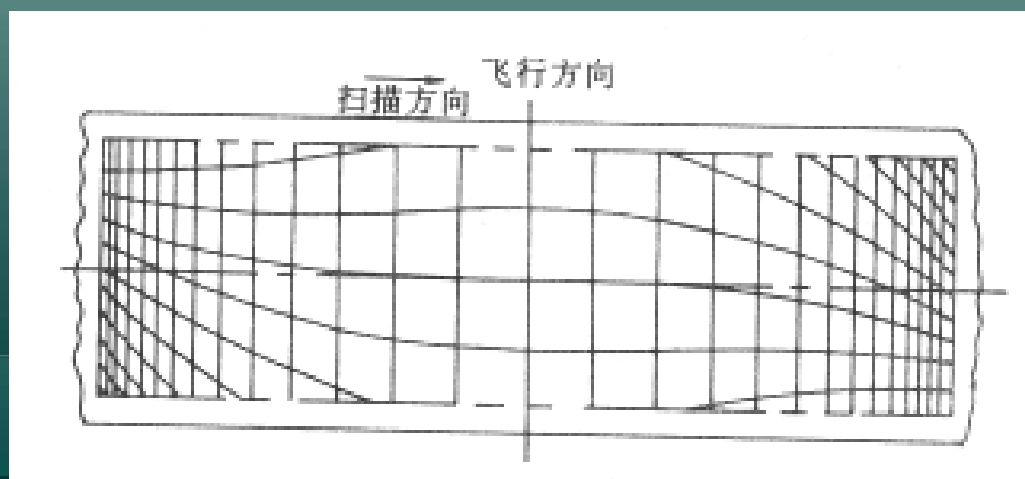


4) 传感器成像几何形态影响

传感器一般的成像几何形态有中心投影、全景投影、斜距投影以及平行投影等几种不同类型。其中，全景和斜距投影产生图像变形规律可以通过与正射投影的图像相比较获得。

a. 全景投影变形

红外机械扫描仪以及采用CCD直线阵列作为检测器的推帚式传感器的每一条扫描线都相当于中心投影，其成像面相当全景缝隙摄影机的投影面，是一个圆柱面，称之为全景面（page.61）。因此，扫描视场角越大边缘变形越大。



误差:

$$\begin{aligned} dy &= y_P - y'_P = f(\theta / \rho - \tan \theta) \\ &= y_P - f \cdot \tan(y_P \cdot \rho / f) \\ &= (f / \rho) \arctan(y'_P / f) - y'_P \end{aligned}$$

f 是焦距， θ 为成像角，

$\rho = 57.295$ 度/弧度



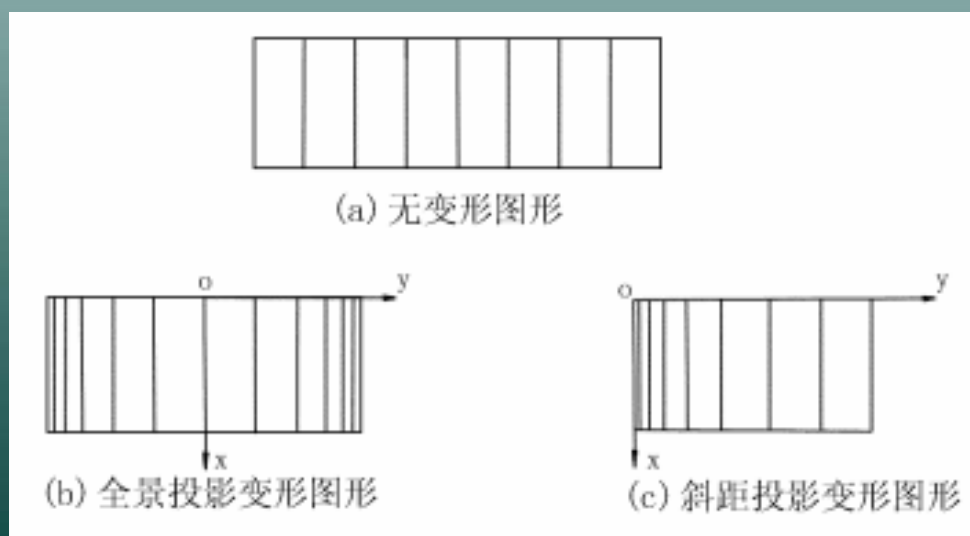
b. 斜距投影变形

侧视雷达属斜距投影，其成像变形规律如图3.2所示。

误差：

$$dy = y_P - y'_P = f(1/\cos - \tan \theta) = y_P \{1 - \sin[\arccos(f / y_P)]\}$$

两种成像方式对同一地物摄影成像的变形结果如下：





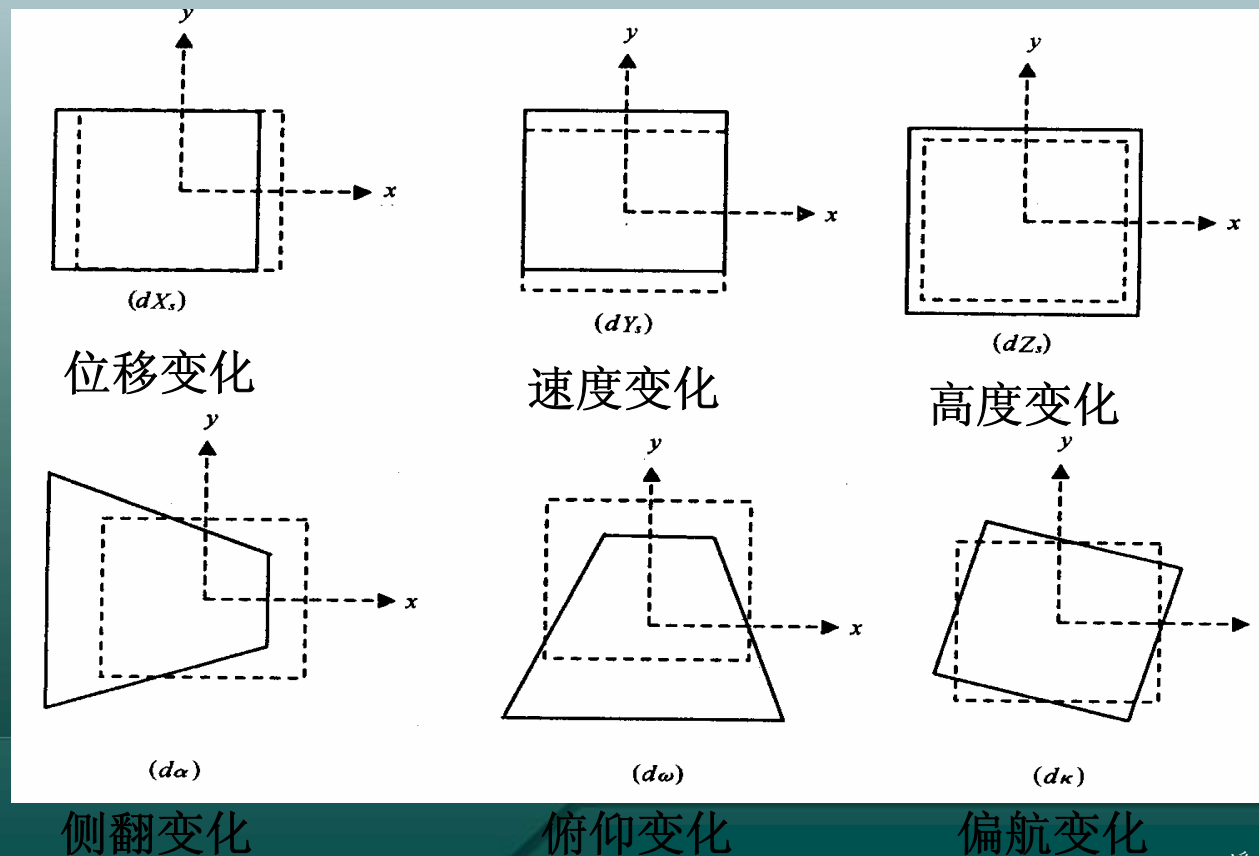
5) 传感器外方位元素变化的影响

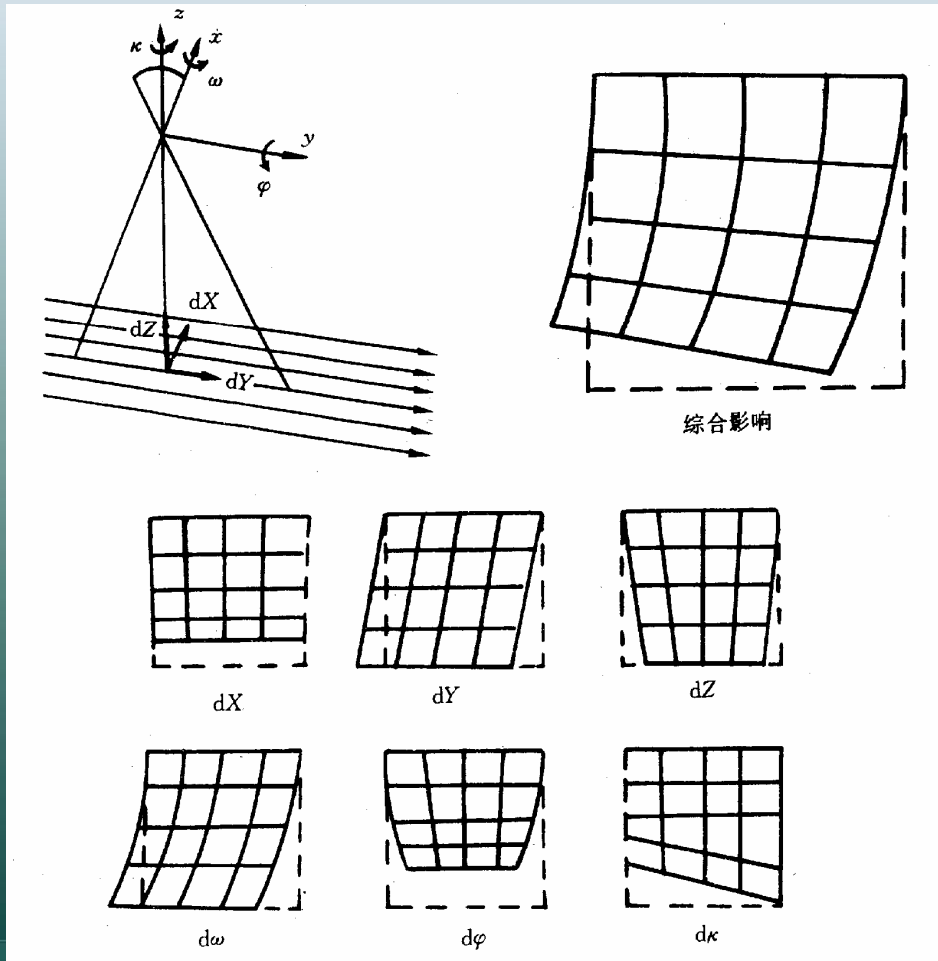
内方位元素：表示摄影中心与相片之间相关位置的参数，如像主点在像平面坐标系中的坐标 x_0 , y_0 ，摄影中心到相片的垂距 f 。内方位元素一般为已知值，由摄影机鉴定单位提供。

外方位元素：确定摄影光束在摄影瞬间的空间位置和姿态的参数，即6个自由度：三轴方向（ X 、 Y 、 Z ）及姿态角（ j 、 ω 、 K ）。



6个自由度其中任何一个发生变化，都会给遥感图像带来不同变形，这种畸变是成像瞬间的综合影响。对于不同类型的传感器，外方位元素变化带来的畸变可能不尽相同。

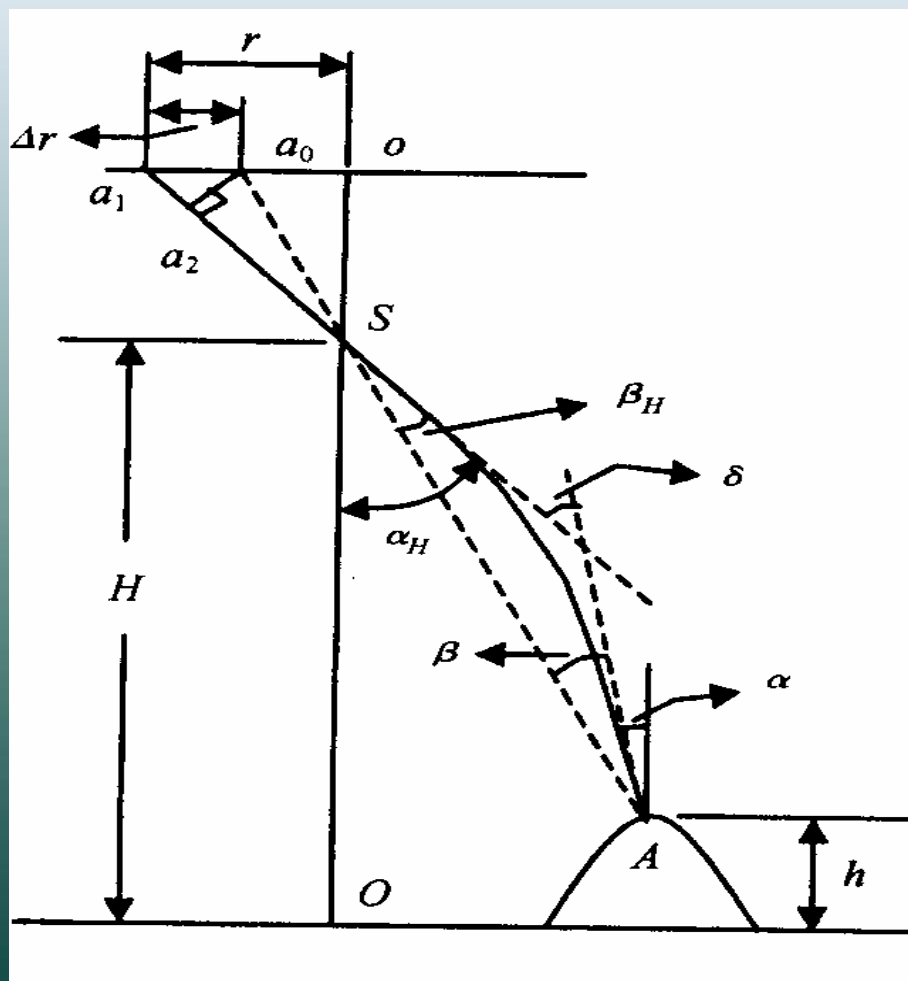




多光谱扫描图像6个自由度变化对地面一个方格网图像成像后带来畸变的表现形式



6) 大气折射的影响



整个大气层不是一个均匀的介质，因此电磁波在大气层中传播时的折射率也随高度的变化而变化，使电磁波传播的路径不是一条直线而变成了曲线，从而引起像点的位移，这种像点移位就是大气折光差。

侧视雷达是按斜距投影原理成像的。雷达电磁波在大气中传播时，一方面会因大气折射率的变化而产生路径弯曲，使传播路径变长；另一方面使电磁波传播速度减慢，传播时间增加。



(3) 处理过程中引起的畸变

遥感图像再处理过程中产生的误差，主要是由于处理设备产生的噪声引起的。

- 传输、复制
- 光学
- 数字



3. 几何校正的原理

- 遥感图象的几何**粗处理**和**精处理**。
- 遥感图像的几何纠正按照处理方式分为**光学纠正**和**数字纠正**。
- 遥感图像的几何纠正就是将含有畸变的图像纳入到某种地图投影。对地面覆盖范围不大的单幅图像，一般以正射投影方式使其改正到地球切平面上。
- 光学纠正主要用于早期的遥感图像的处理中，现在的应用已经不多。除了对框幅式的航空照片（中心投影）可以进行比较严密的纠正以外，对于大多数动态获得的遥感影像只能进行近似的纠正。
- 主要介绍数字图像的几何纠正，能够较精确地改正线性和非线性变形误差。

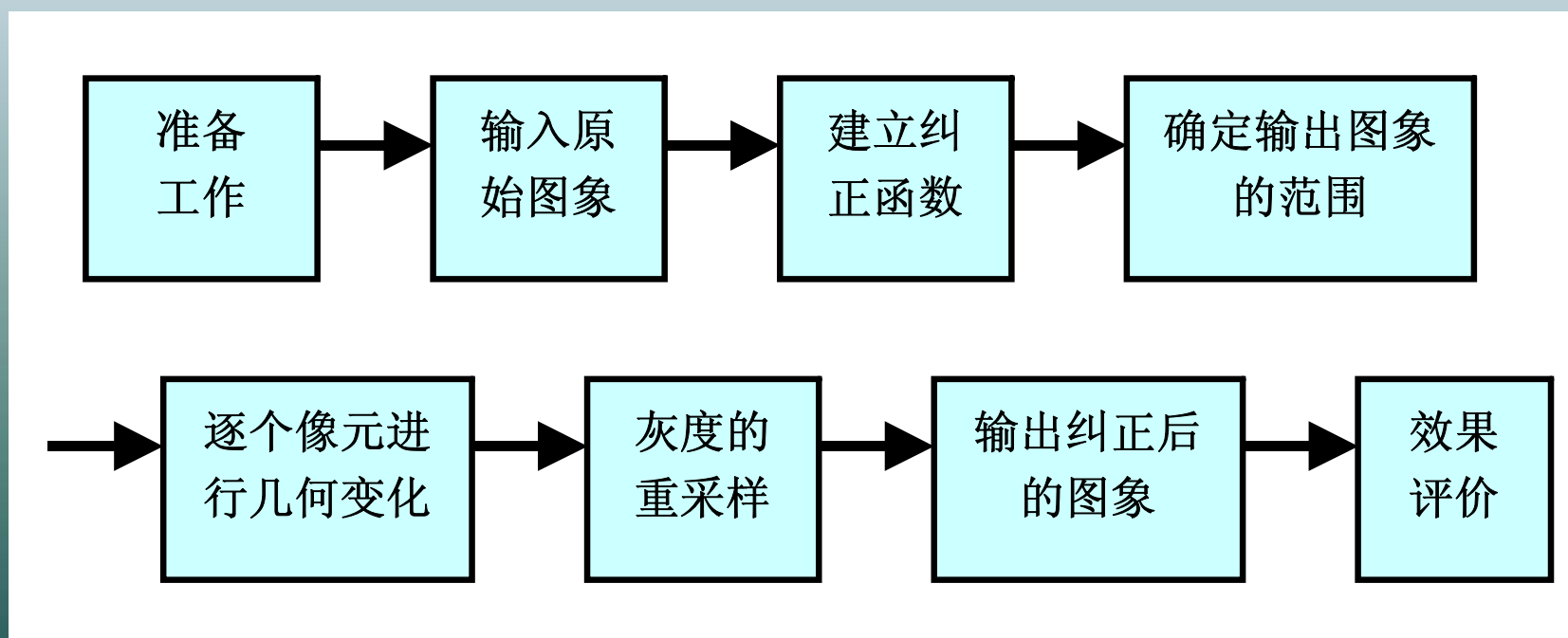


什么情况下需要做精纠正？

- comparing pixels scene to scene in applications, such as change detection or thermal inertia mapping (day and night comparison)
 - developing GIS data bases for GIS modeling
 - identifying training samples according to map coordinates prior to classification
 - creating accurate scaled photomaps
 - overlaying an image with vector data, such as ArcInfo
-
- comparing images that are originally at different scales
 - extracting accurate distance and area measurements
 - mosaicking images
 - performing any other analyses requiring precise geographic locations



数字图像纠正的处理过程框图



两个基本环节：**像元坐标变换**和**像元灰度值重采样**



(1) 确定输入图像和输出图像的坐标变换关系

数字图像几何纠正：通过计算机对离散结构的数字图像中的每一个像元逐个进行纠正处理的方法。这种方法能够精确地改正动态扫描图像所具备的各种误差。

基本原理：利用图像坐标和地面坐标（另一图像坐标、地图坐标等）之间的数学关系，即输入图像和输出图像间的坐标转换关系实现几何校正。

其中， (x_p, y_p) (X_P, Y_P) 分别是任意一个像元在原始图像和纠正后图像中的坐标。

间接法：
$$x_p = f_x(X_P, Y_P)$$

反解变换公式
$$y_p = f_y(X_P, Y_P)$$

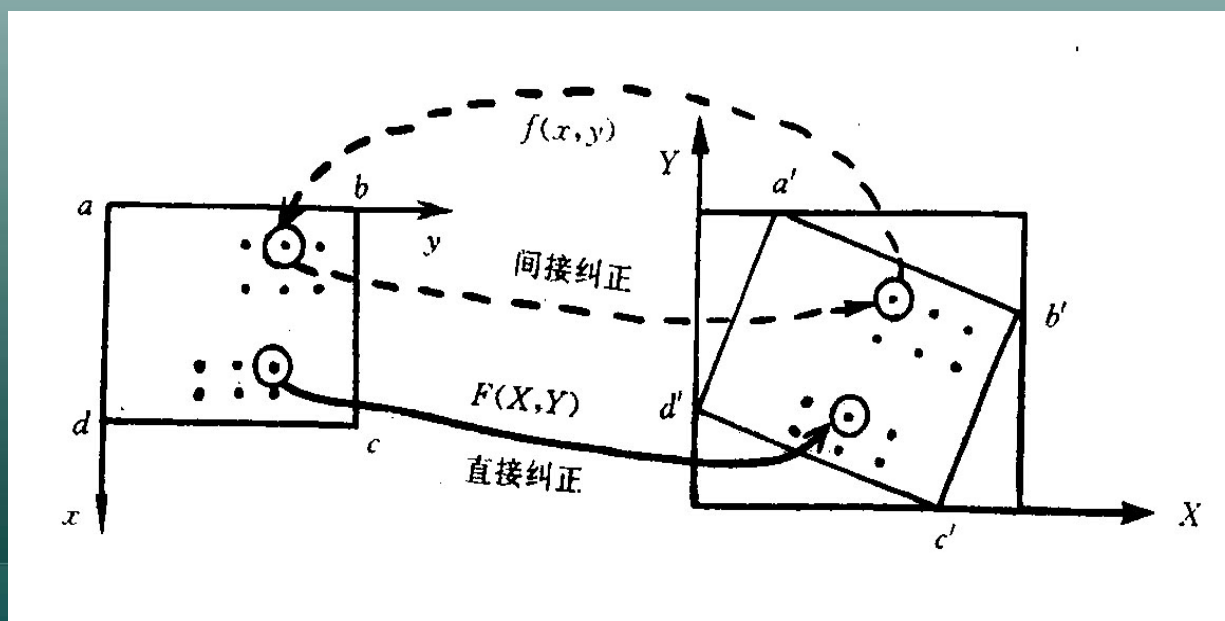
直接法：
$$X_P = F_X(x_p, y_p)$$

正解变换公式
$$Y_P = F_Y(x_p, y_p)$$



直接纠正方法:从原始图像阵列出发,按行列的顺序依次对每个原始图像像元点位用变换函数 $F()$ (正解变换公式)求得它在新图像中的位置,并将该像元灰度值移置到新图像的对应位置上。

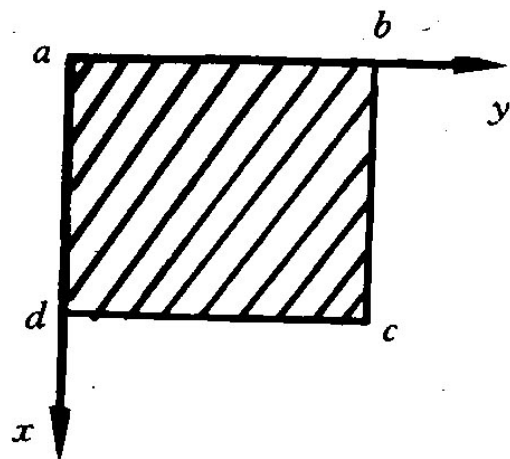
间接纠正法:从空白的新图像阵列出发,按行列的顺序依次对新图像中每个像元点位用变换函数 $f()$ (反解变换公式)凡求其它在原始图像中的位置,然后把算得的原始图像点位上的灰度值赋予空白新图像相应的像元。



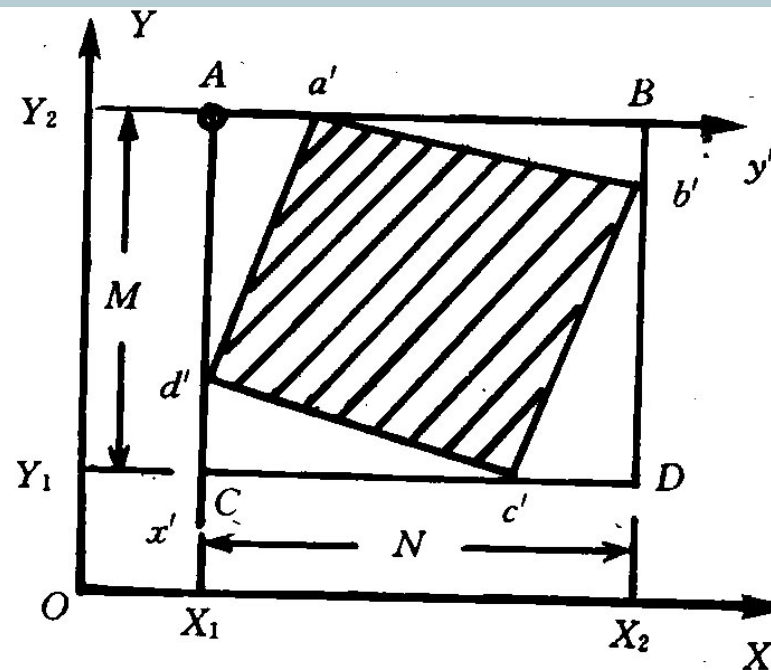


(2) 确定新的图像的边界

- 纠正后图像和原始图像的形状、大小、方向都不一样。所以在纠正过程的实施之前，必须首先确定新图像的大小范围。



(a)原始图像



(b)纠正图像



根据正解变换公式求出原始图像四个角点 (a, b, c, d) 在纠正后图像中的对应点 (a', b', c', d') 的坐标 (Xa', Ya') (Xb', Yb') (Xc', Yc') (Xd', Yd'),

然后求出最大值和最小值。

$$X_1 = \min (Xa', Xb', Xc', Xd')$$

$$X_2 = \max (Xa', Xb', Xc', Xd')$$

$$Y_1 = \min (Ya', Yb', Yc', YXd')$$

$$Y_2 = \max (Ya', Yb', Yc', Yd')$$



(3) 确定新图像的分辨率

- 目的是把边界范围转换为计算机中纠正后图像的储存数组空间。
- 必须在新图像的范围內，划分网格，每个网格点就是一个像元。
- 根据精度要求，定义输出像元的地面尺寸 $\Delta X, \Delta Y$ ，并以边界范围左上角A点为输出图像的坐标原点。 x' 轴(AC)表示图像行号, y' (AB)表示图像列号。
- 新图像的行数 $M = (Y_2 - Y_1) / \Delta Y + 1$;
- 新图像的列数 $N = (X_2 - X_1) / \Delta X + 1$;
- 新图像在A- x' - y' 坐标系的任意一个像元的坐标由它的行列号唯一确定。
- 行列号范围： $x' = 1, 2, \dots, M$ ； $y' = 1, 2, \dots, N$
- 任意一个输出图像坐标(行列号)与大地坐标的关系为：

$$x_p' = \frac{Y_2 - Y_p}{\Delta Y} + 1 \quad y_p' = \frac{X_p - X_1}{\Delta X} + 1 \quad X_p = X_1 + (y_p' - 1)\Delta X \quad Y_p = Y_2 - (x_p' - 1)\Delta Y$$

- 式中： X_p, Y_p 为纠正后像元P的地面坐标
- x_p', y_p' 为纠正后像元P的图像坐标(行列号)

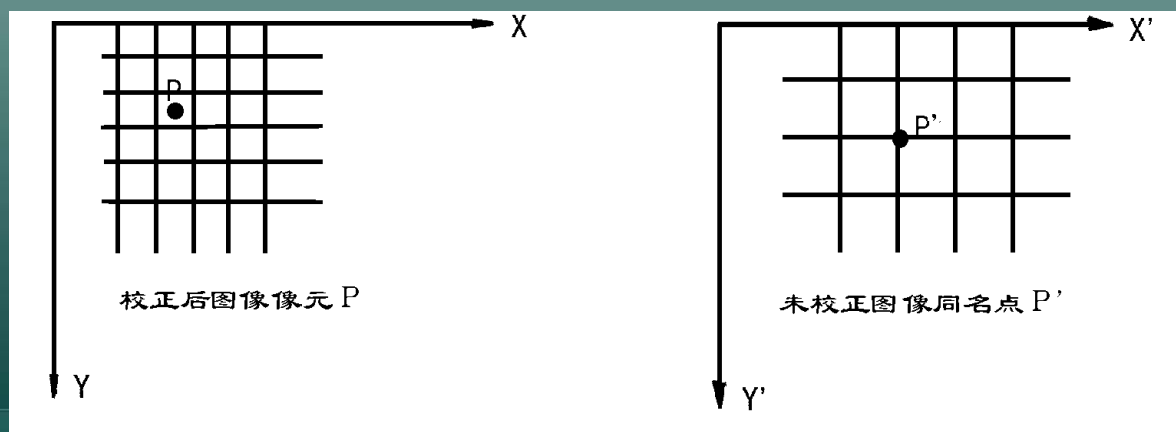


(4) 灰度的重采样

- 纠正后的新图像的每一个像元，根据变换函数，可以得到它在原始图像上的位置。如果求得的位置为整数，则该位置处的像元灰度就是新图像的灰度值。
- 如果位置不为整数，则像元灰度值需根据周围阵列像元的灰度确定，这种方法称为灰度重采样（这是相对遥感图像获取时已进行过一次采样而言）。

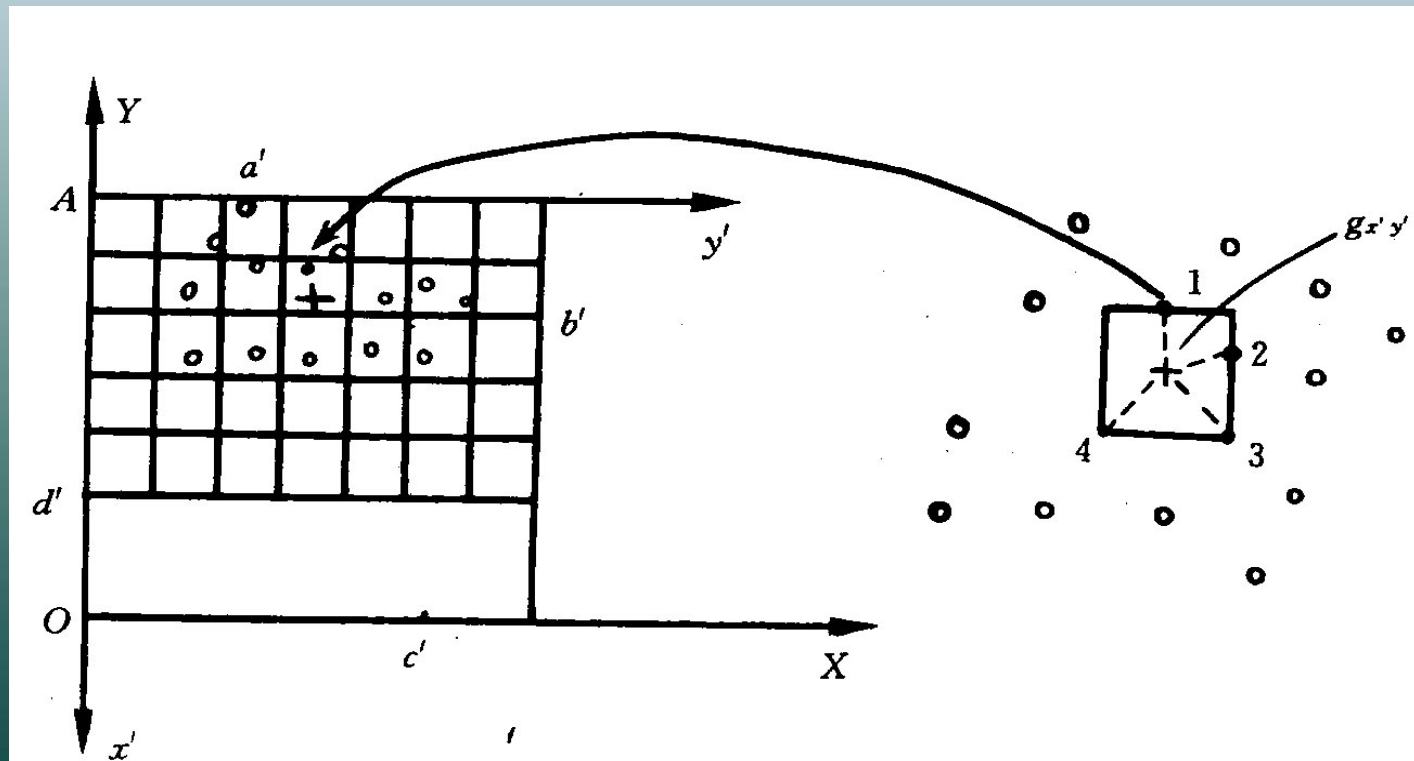
- 常用的方法：

- 1) 最近邻法
- 2) 双线性内插法
- 3) 三次卷积法





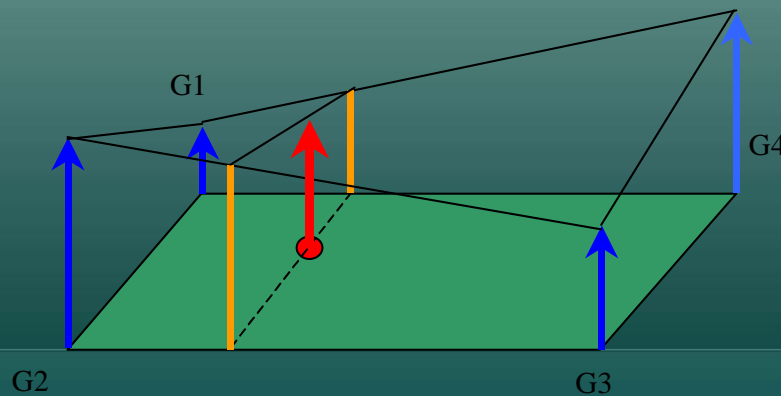
1) **最近邻法**: 距离实际位置最近的像元的灰度值作为输出图像像元的灰度值;





2) **双线性法**: 以实际位置临近的4个像元值, 确定输出像元的灰度值。公式为:

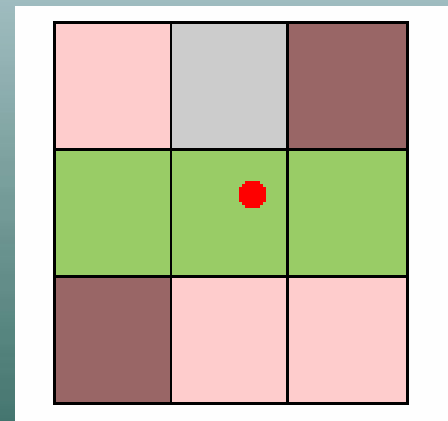
$$g_{(m,n)} = \frac{p_1g_1 + p_2g_2 + p_3g_3 + p_4g_4}{p_1 + p_2 + p_3 + p_4} = \frac{\sum_{i=1}^4 p_i g_i}{\sum_{i=1}^4 p_i}$$





3) **三次卷积法**以实际位置临近的**16**个像元值，确定输出像元的灰度值。公式为：

$$g(m, n) = \frac{\sum_{i=1}^{16} p_i g_i}{\sum_{i=1}^{16} p_i}$$





4 中心投影构像的几何纠正（航片）

目的：将中心投影影像纠正成正射投影影像。

航片的成像特点：

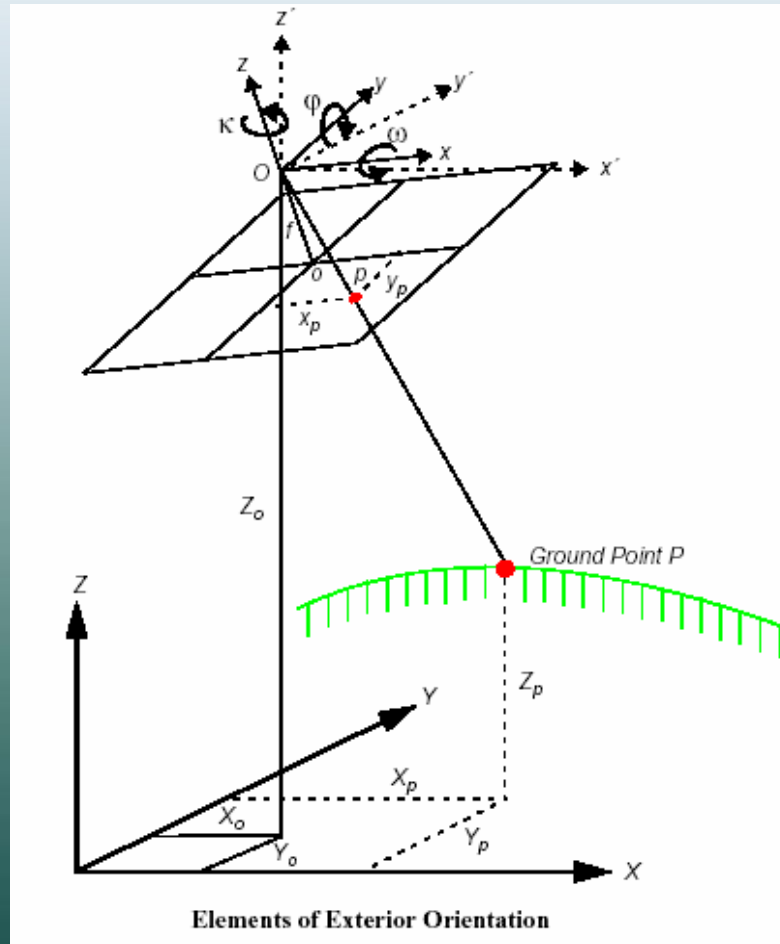
- 1.地物通过摄影中心与其成像点共一条直线；
- 2.投影中心到像平面的距离为物镜主距 f ；
- 3.地面起伏使得各处影像比例尺不同；
- 4.地物由于成像平面倾斜其成像会发生形变；
- 5.具有高差的物体成像在相片上有投影差。



将中心投影影像纠正到正射投影影像时必须考虑到地面的高程信息：①利用已知DEM；②建立立体模型，利用左右视差解算出地面高程。



中心投影构像方程



$$M = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix}$$

Using the three rotation angles, the relationship between the image space coordinate system (x , y , and z) and ground space coordinate system (X , Y , and Z or x' , y' , and z') can be determined. A 3×3 matrix defining the relationship between the two systems is used. This is referred to as the orientation or rotation matrix, M . The rotation matrix can be defined as follows:



中心投影构像方程 (The Collinearity Equation)



The rotation matrix is derived by applying a sequential rotation of omega about the x-axis, phi about the y-axis, and kappa about the z-axis.

an image vector a can be defined as the vector from the exposure station O to the image point p . A ground space or object space vector A can be defined as the vector from the exposure station O to the ground point P . The image vector and ground vector are collinear, inferring that a line extending from the exposure station to the image point and to the ground is linear.

$$a = kMA$$

$$a = \begin{bmatrix} x_p - x_o \\ y_p - y_o \\ -f \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} X_p - X_o \\ Y_p - Y_o \\ Z_p - Z_o \end{bmatrix}$$



$$\begin{bmatrix} x_p - x_o \\ y_p - y_o \\ -f \end{bmatrix} = kM \begin{bmatrix} X_p - X_o \\ Y_p - Y_o \\ Z_p - Z_o \end{bmatrix}$$

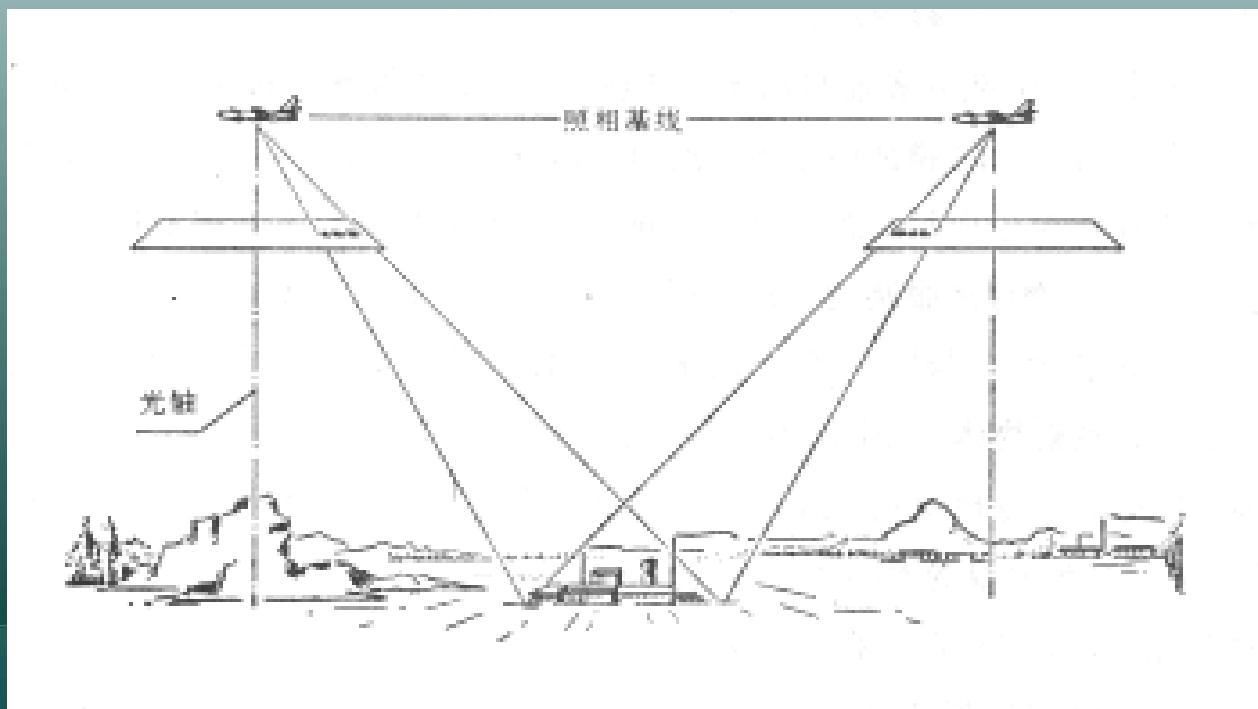
$$x_p - x_o = -f \frac{m_{11}(X_p - X_{o_1}) + m_{12}(Y_p - Y_{o_1}) + m_{13}(Z_p - Z_{o_1})}{m_{31}(X_p - X_{o_1}) + m_{32}(Y_p - Y_{o_1}) + m_{33}(Z_p - Z_{o_1})}$$

$$y_p - y_o = -f \frac{m_{21}(X_p - X_{o_1}) + m_{22}(Y_p - Y_{o_1}) + m_{23}(Z_p - Z_{o_1})}{m_{31}(X_p - X_{o_1}) + m_{32}(Y_p - Y_{o_1}) + m_{33}(Z_p - Z_{o_1})}$$



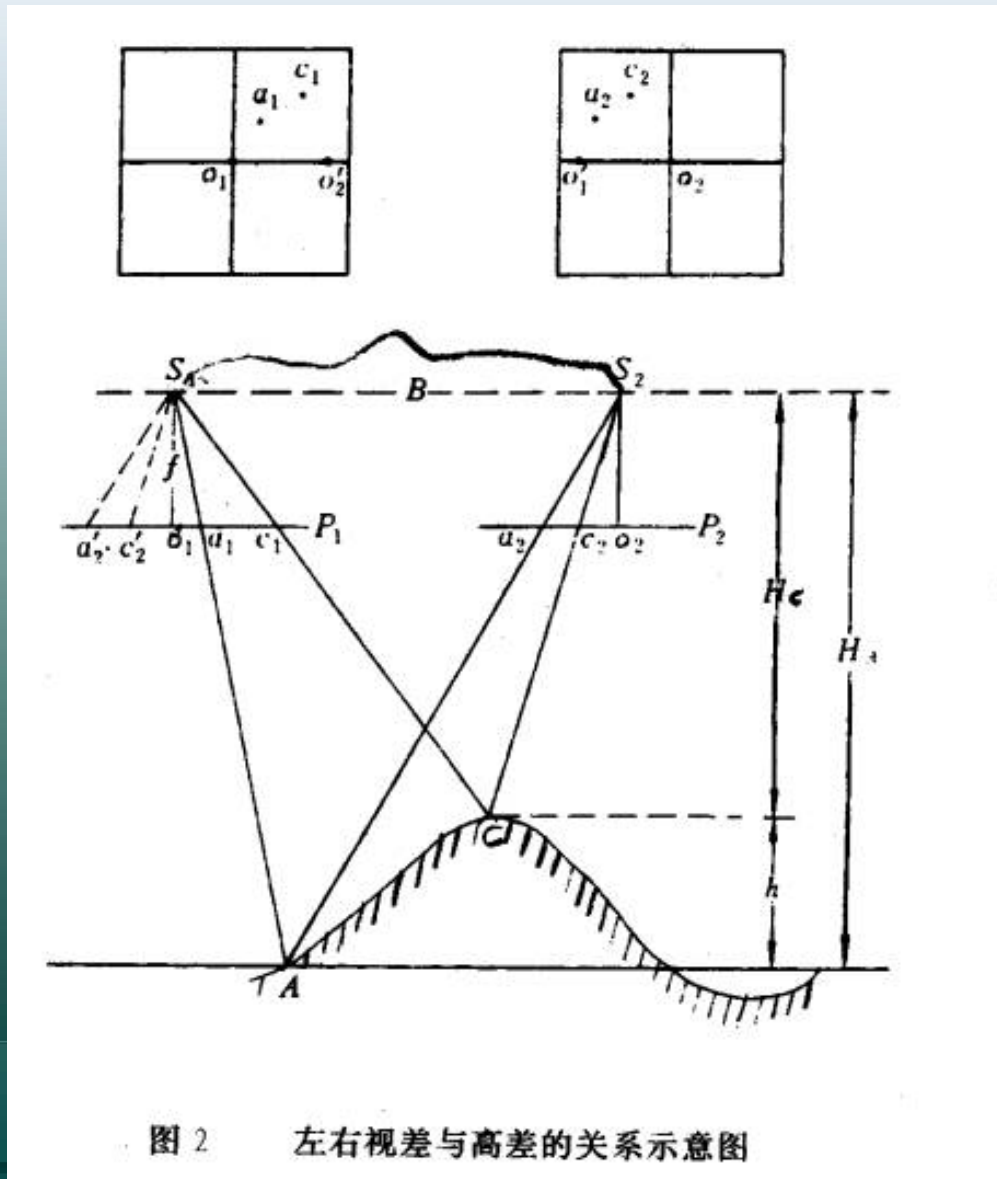
航片的立体模型

航空摄影中需要在同一照相高度，从两个不同角度对同一地区拍摄的两张像片（一个立体像对）才能构成立体模型。同一物体在两张空中照片上，呈现出互有差别的影像，并具有不同的左右视差，假若用两眼代替镜头，分别各看一张照片，则各像点在眼睛网膜上所形成的影像，同样会形成不同的生理视差而获得物体的立体效应。





航片的立体模型





航片测量高程差

像对上同名地物点的横坐标差称为左右视差（横坐标差），如图所示，地面点A在左右两像片上的影像分别为 a_1 、 a_2 ，A点在左像片上的横坐标为 X_{a1} ，在右像片上的横坐标为 X_{a2} ，A点左右视差 $P_a = a_1 + a_2$ 。同样，C点的左右视差 $P_c = c_1 + c_2$ 。

地面上A C两点的高差 $h = H_a - H_c$ （以A为基准点）， $S_1 S_2$ 为摄影基线实长， $P_a = a_1 + a_2$ 和 $P_c = c_1 + c_2$ ，表示A点和C点的左右视差。根据它们的几何关系（图中 $\Delta S_1 a'_2 a_2$ 与 $\Delta S_2 A S_1$ ），用相似三角形对应边的比可推导得到高差与左右视差的关系公式，即：

$$h = \Delta p \cdot H_A / (b + \Delta p)$$

式中： h 为C点相对基准点A的高（程）差； Δp 为A、C两像点间的左右视差较（ $P_c - P_a$ ），即C像点的左右视差相对A像点的左右视差的差数。 b 为像片上摄影基线长（同一航片上两个像主点距离）， H_A 为航高。



多中心投影影像的构像方程



1. CCD推帚式传感器

(1) 旁向倾斜

$$\begin{bmatrix} 0 \\ y \\ -f \end{bmatrix} = \lambda R_{\Omega_0}^T R^T \begin{bmatrix} X_A - X_S \\ Y_A - Y_S \\ Z_A - Z_S \end{bmatrix} \quad R_{\Omega_0} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \Omega_0 & -\sin \Omega_0 \\ 0 & \sin \Omega_0 & \cos \Omega_0 \end{bmatrix}$$

(2) 航向倾斜

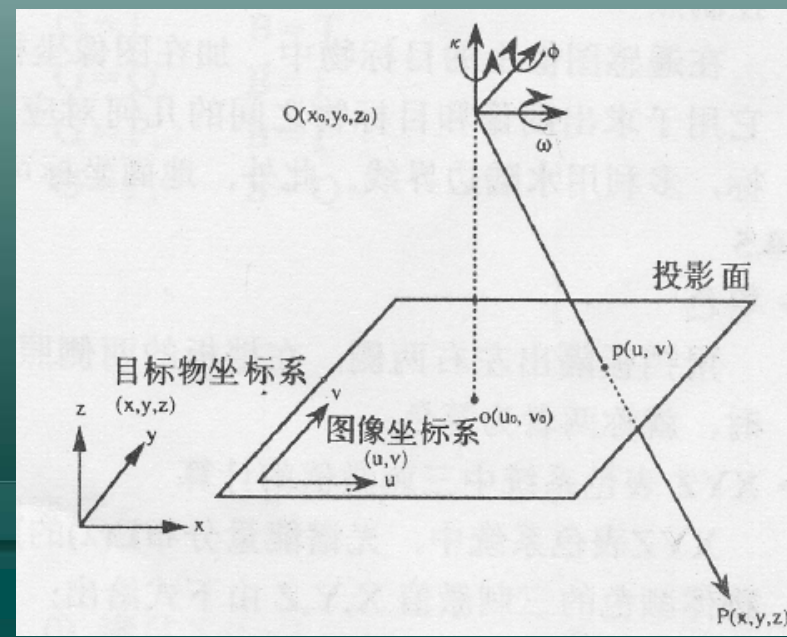
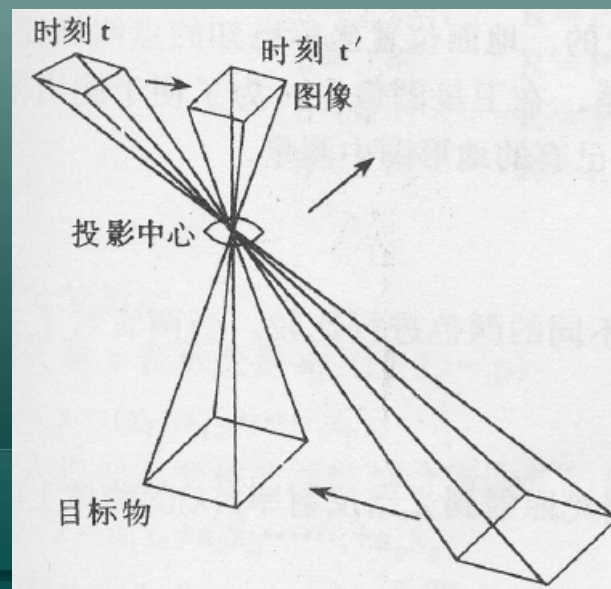
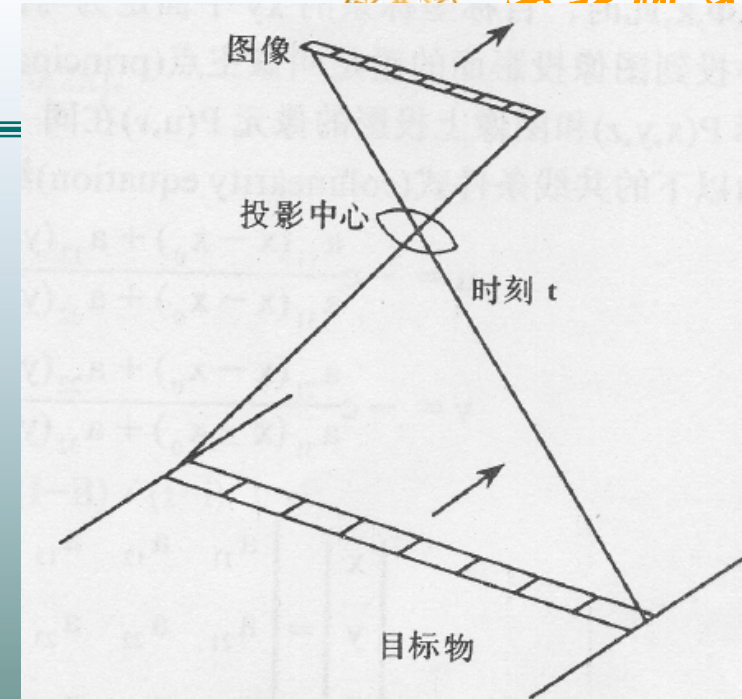
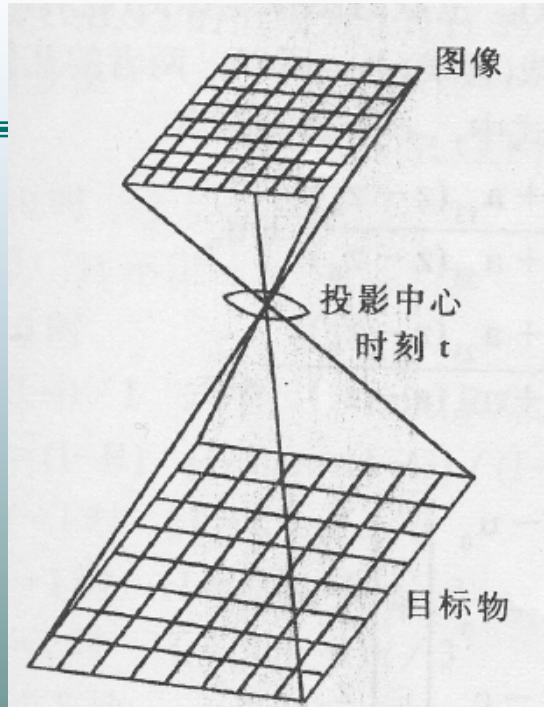
$$\begin{bmatrix} 0 \\ y \\ -f \end{bmatrix} = \lambda R_{\Phi_0}^T R^T \begin{bmatrix} X_A - X_S \\ Y_A - Y_S \\ Z_A - Z_S \end{bmatrix} \quad R_{\Phi_0} = \begin{bmatrix} \cos \Phi_0 & 0 & -\sin \Phi_0 \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \Phi_0 & 0 & \cos \Phi_0 \end{bmatrix}$$

2. 全景摄影机

$$\begin{bmatrix} x \\ 0 \\ f \end{bmatrix} = \lambda R_{\theta}^T R^T \begin{bmatrix} X_A - X_S \\ Y_A - Y_S \\ Z_A - Z_S \end{bmatrix} \quad R_{\Omega_0} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}$$

3. 红外和多光谱扫描仪

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -f \end{bmatrix} = \lambda R_{\theta}^T R^T \begin{bmatrix} X_A - X_S \\ Y_A - Y_S \\ Z_A - Z_S \end{bmatrix} \quad R_{\Omega_0} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}$$





5、正射雷达图像校正 (Orthoradar Rectification)

目的：将SAR图像从其传感器坐标格网转换到特定的地图投影坐标系统，同时校正因遮挡作用引起的地形变形。

应用：例如 SAR图像与Landsat、SPOT、DEM、GIS数据的配准、融合。

方法1：使用仿射变换、多项式校正、弹性拉伸等通用工具。

方法2：使用特定的头文件信息产生几何模型。

常见雷达影像：**Radarsat**数据（加拿大）、**ERS-1**和**ERS-2**数据（德国、意大利）



谢 谢 !
Thank you very much

