

《摄影测量学》第八章

全数字摄影测量基础



8.1 概述

8.2 数字影像及数字影像重采样

8.3 基于灰度的数字影像相关

8.4 SIFT匹配方法

8.5 核线相关与同名核线的确定

8.6 数字摄影测量系统



数字摄影测量

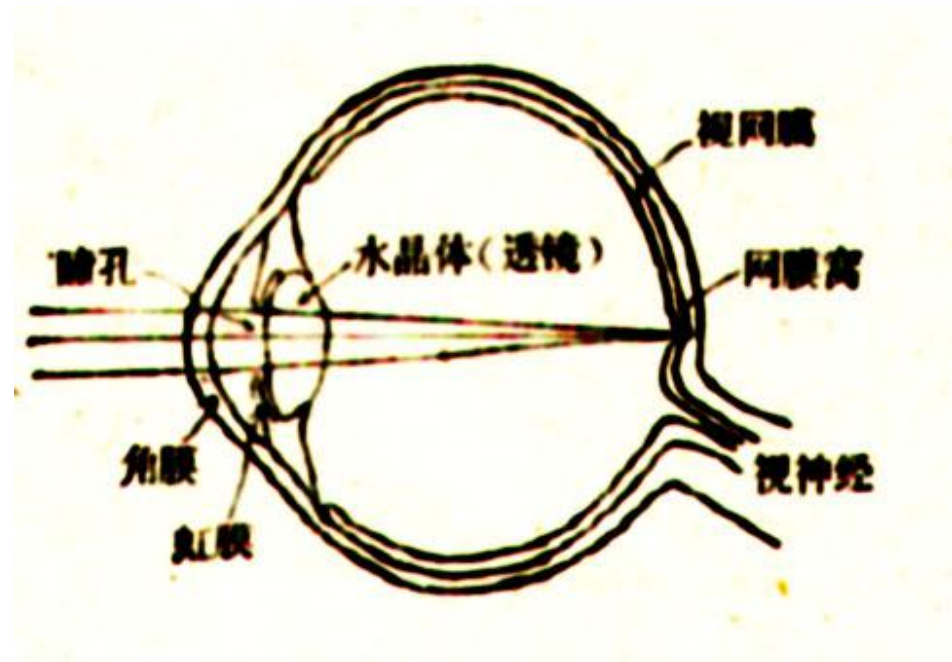
(1) 数字摄影测量概述

① 摄影测量自动化的发展

怎样用

机器代替人眼
识别同名点

是摄影测量自动化的
关键之一
——也是
摄影测量工作者
长期追求的目标

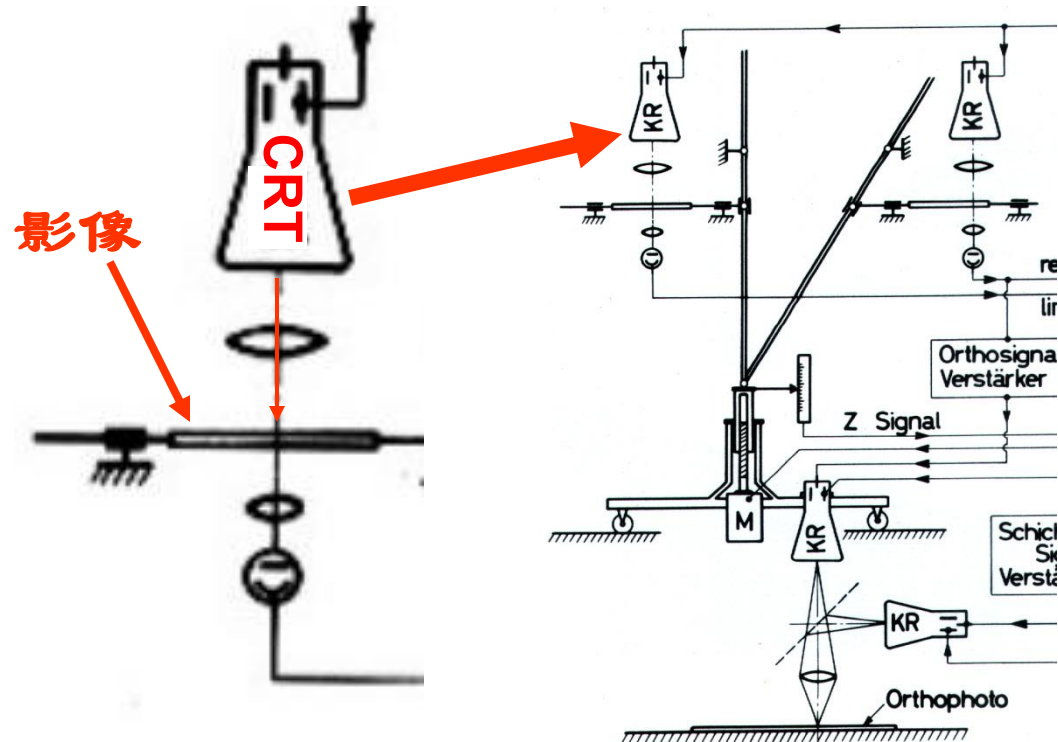
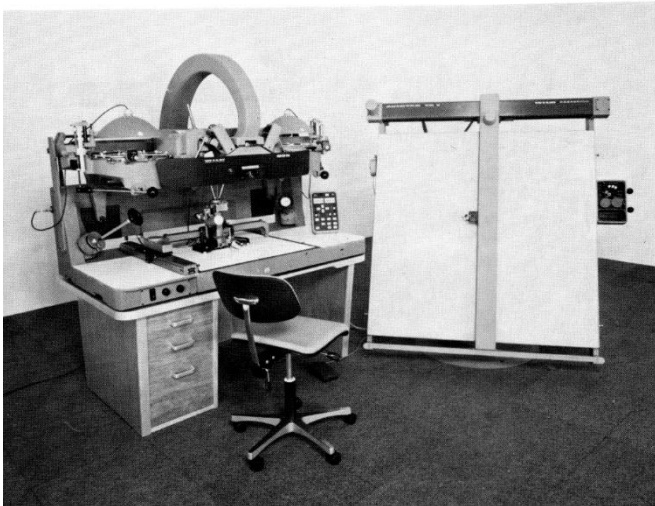


60年代很多摄影测量工作站用

阴极射线管CRT

将影像的灰度信号转换为电信号

试图实现摄影测量自动化



② 数字摄影测量基本特点

(a) 用数字影像替代光学—胶片的影像;

光学影像通过扫描仪,获得数字影像



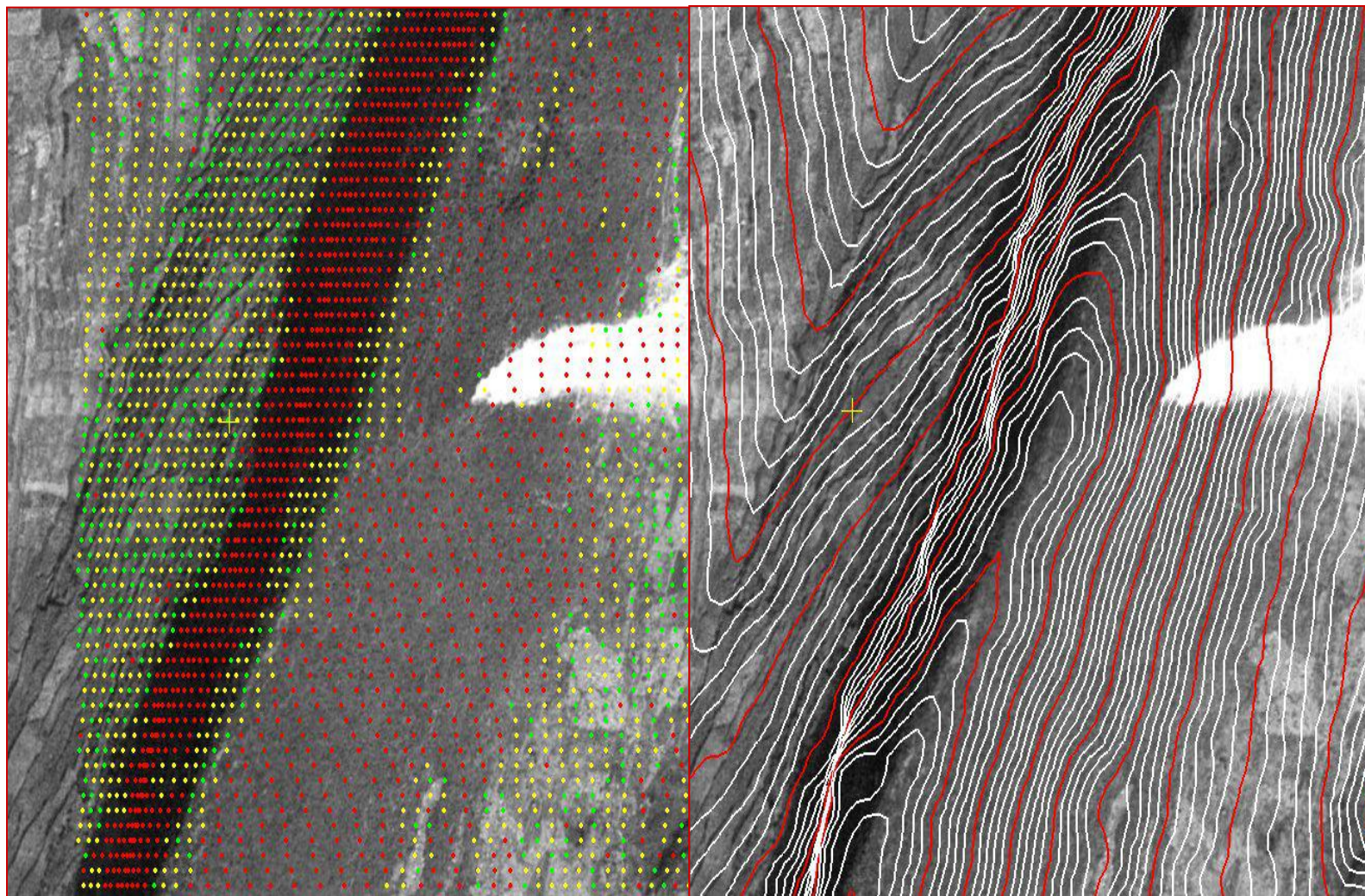
直接用数码相机,获得数字影像



(b) 由此计算机+软件进行全部的摄影测量;

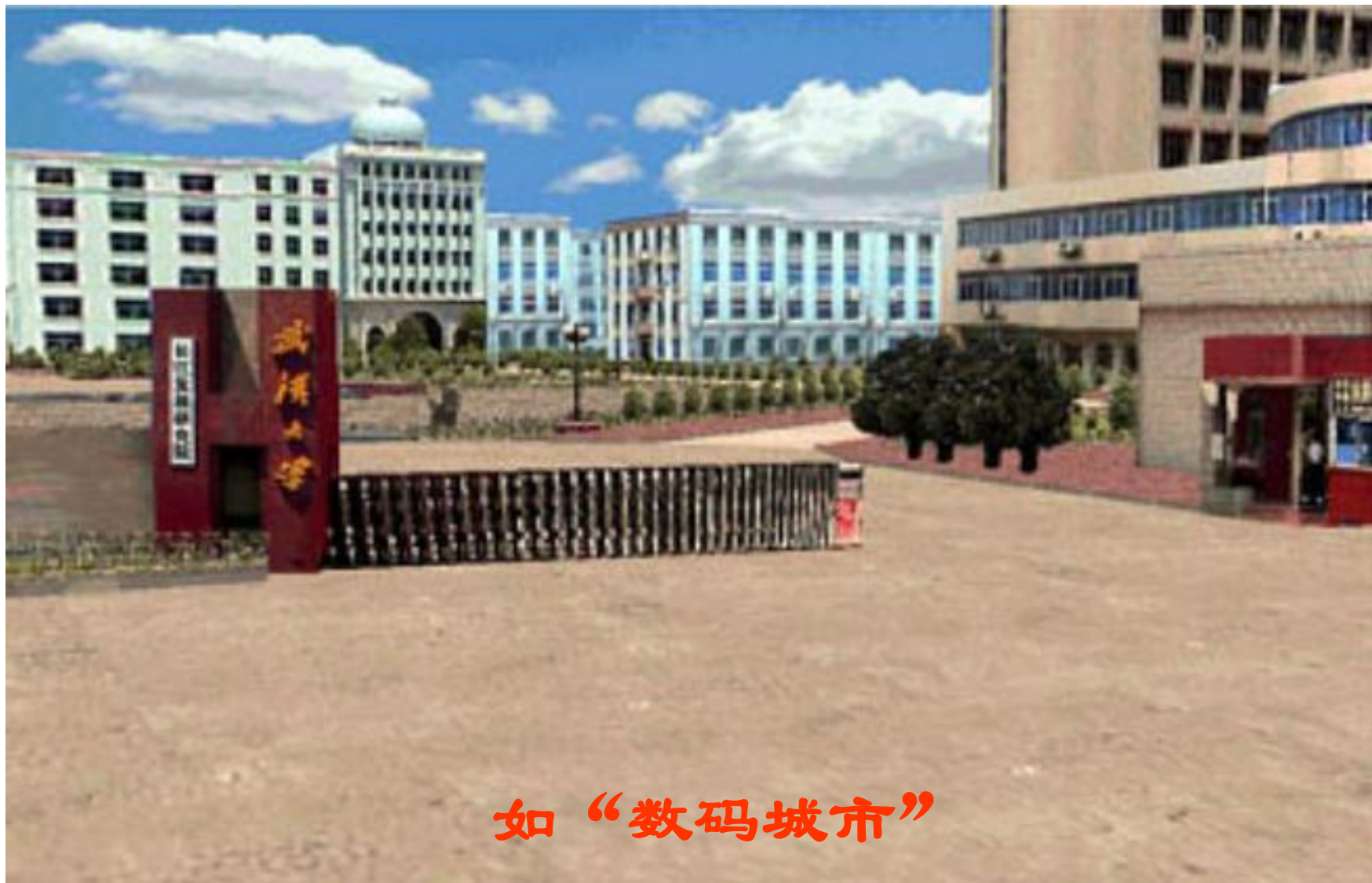


(c) 数字图像处理技术，实现自动、半自动化；



自动匹配“密集同名点” ---生成等高线

(*d*) 同时也大大地扩大了摄影测量的功能。



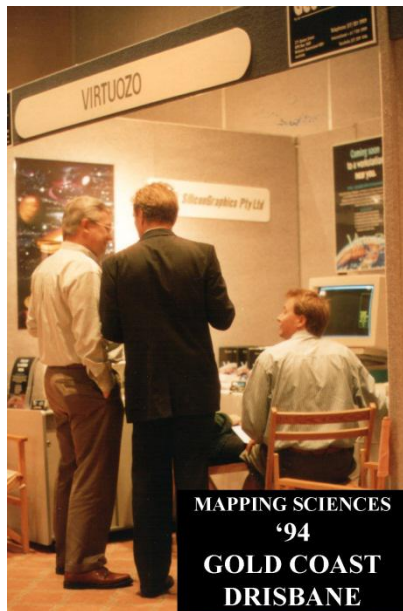
如“数码城市”

③ 数字摄影测量在我国的发展历史



早在1978年代，王之卓先生就提出了“全数字化自动测图系统的研究方案”

不仅获得了一系列的奖励、而且实现了产业化、国际化，推动我国摄影测量生产的跨越式发展



一、数字摄影测量的定义

❖ 数字摄影测量是基于**数字影像与摄影测量**的基本原理，应用**计算机技术、数字影像处理、影像匹配、模式识别**等多学科的理论与方法，提取所摄对象用数字方式表达的几何与物理信息的摄影测量学的分支学科。

——利用数字灰度信号，采用数字相关技术量测同名像点，在此基础上通过解析计算，进行内定向、相对定向和绝对定向，建立数字立体模型，从而建立数字高程模型，绘制等高线，制作正射影像图以及为地理信息系统提供基础信息等。

最大的优点：

- ❖ 由计算机代替人眼进行立体观察
- ❖ 与计算机图像处理紧密联系

二、数字摄影测量的特点

- ❖ 自动化程度高
- ❖ 可处理多种资料
- ❖ 产品多样化
- ❖ 功能多

三、数字摄影测量的发展

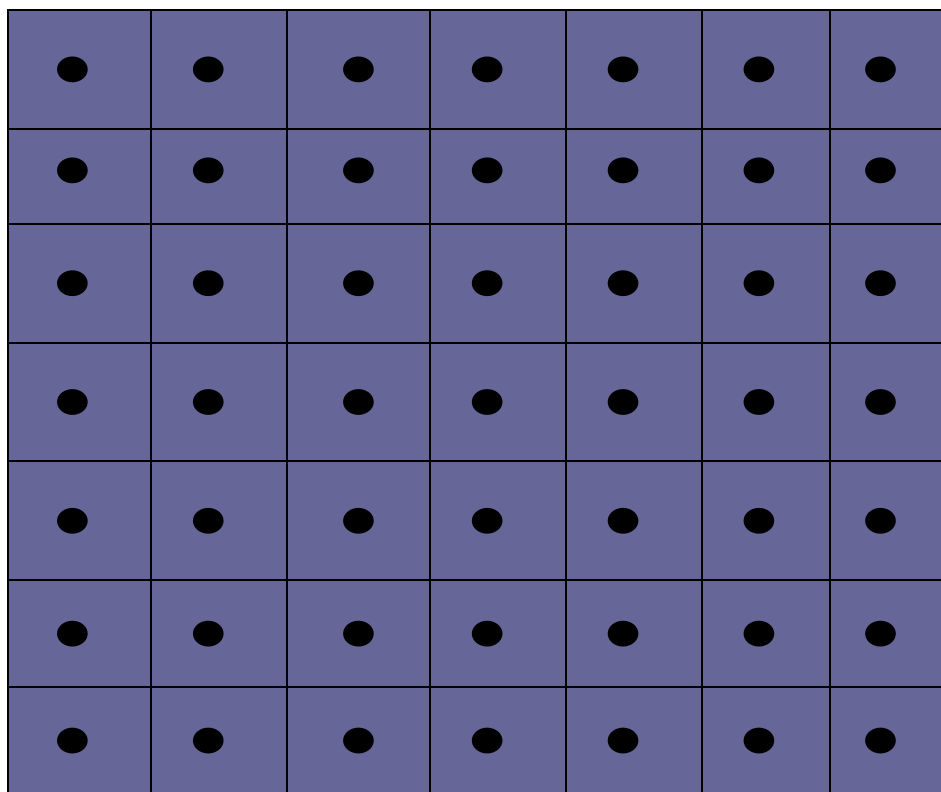
基于电子相关的自动化测图 \longrightarrow 基于光学相关的自动化测图
 \longrightarrow 基于数字相关的自动化测图

数字摄影测量系统DPS (Digital Photogrammetric System)

数字摄影测量工作站DPW (Digital Photogrammetric Workstation): 实现数字影像自动测图的系统。

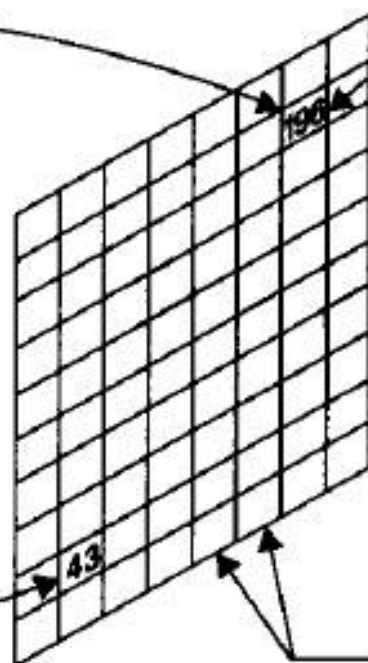
8.2 数字影像及数字影像重采样

数字影像的概念





物理图像



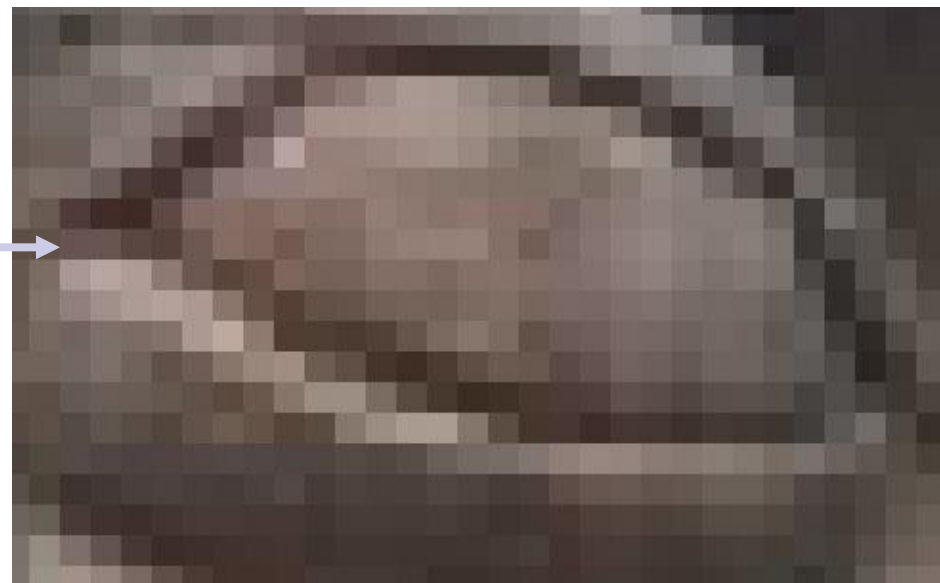
数字图像

灰度

像素

数字影像

数字影像是由“像点”——称为象元(pixel)组成



象元 (象素)

一、影像的灰度

影像的灰度又称为**光学密度**。透明像片（正片或负片）影像的灰度值，反映了它透明的程度，即透光的能力。设投影在透明像片上的光通量为 F_0 ，而透过透明像片后的光通量为 F ，则 F 与 F_0 之比称为透光率 T ， F 与 F_0 之比称为不透过率（或阻光率） O ，有：

$$\left\{ \begin{array}{l} T = \frac{F}{F_0}, O = \frac{F_0}{F} \end{array} \right.$$

因此，像点愈黑，则透过的光通量愈小，不透过率愈大，所以透过率和不透过率都可以说明影像黑白的程度。但是人眼对明暗程度的感觉是按对数关系变化的。为了适应人眼的视觉，在分析影像的性能时，不直接用透过率或不透过率表示其黑白程度，而用不透过率的对数值表示：

$$D = \log O = \log \frac{1}{T}$$

D称为影像的灰度，当光线全部透过时，即透过率等于1，则影像的灰度等于0，当光通量仅透过百分之一，即不透过率是100时，则影像的灰度是2，实际的航空底片的灰度一般在0.3到1.8范围之内。

二、数字影像及获取方法

数字影像是一个**二维**的数字矩阵

$$\begin{bmatrix} g(1,1) & g(1,2) & \cdots & g(1,N) \\ g(2,1) & g(2,2) & \cdots & g(2,N) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ g(M,1) & g(M,2) & \cdots & g(M,N) \end{bmatrix}$$

矩阵的每一个元素称为**像元素** (Pixel)。

矩阵中的每一个像元素 $g(m, n)$ 是一个灰度值，对应着光学影像或实体的一个微小区域，称为**像素**。各元素的**灰度值** $g(m, n)$ 代表其影像经过**采样与量化**了的“灰度级”，一般是0-255之间的某个整数。

矩阵的每一行对应于一个扫描行。数字化像元素的点位坐标可由像元素在矩阵中所在行、列号 m, n 来表示：该坐标通常称为**扫描**坐标。

$$\begin{cases} \bar{x} = \bar{x}_0 + (n-1)\Delta x \\ \bar{y} = \bar{y}_0 - (m-1)\Delta y \end{cases}$$

Viewer #1 : 榴蓮小星.bmp (:Layer_1):(:Layer_2):(:Layer_3)

File Utility View AOI Raster Help



ImageInfo (榴蓮小星.bmp)

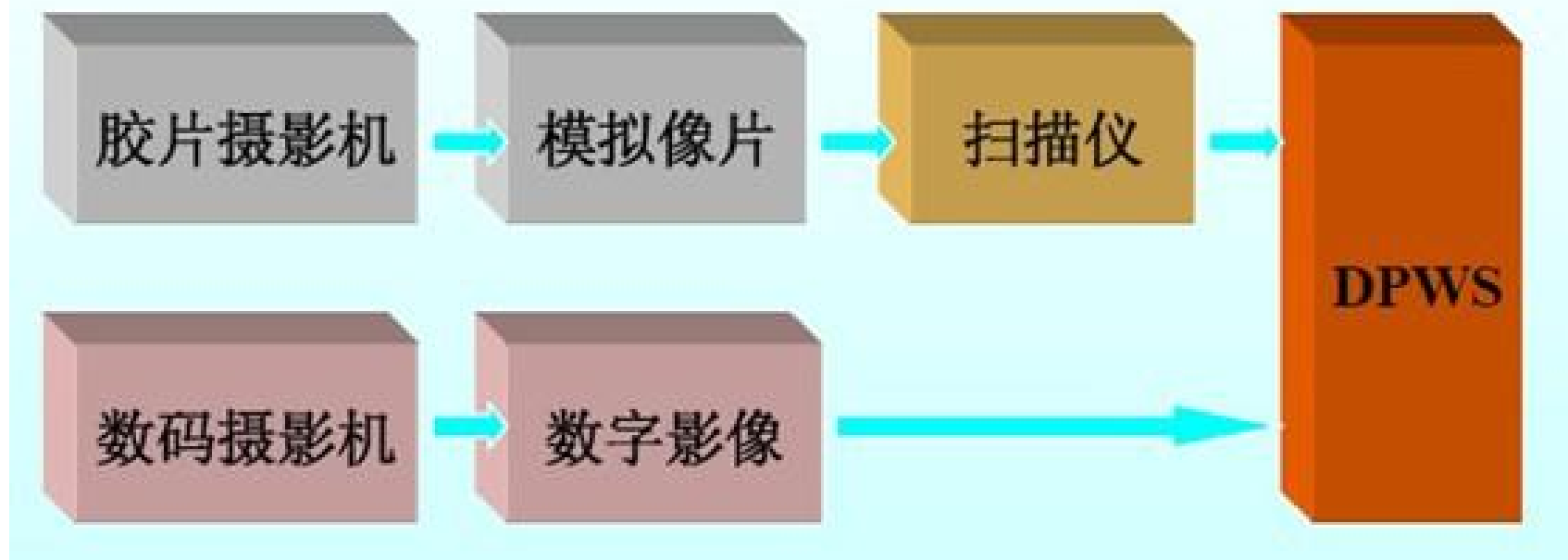
File Edit View Help



General Projection Histogram Pixel data

Row	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	28	28	27	28	27	28	28	27	31	31	32	32	32
1	28	27	27	28	28	28	28	28	32	31	32	32	32
2	28	28	28	28	27	28	28	28	32	32	32	32	32
3	28	28	28	28	28	28	28	28	32	32	32	32	32
4	28	28	28	28	28	28	27	28	28	28	28	29	29
5	28	28	28	28	28	28	27	28	28	28	28	29	29
6	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	29	29
7	28	28	27	28	27	27	28	28	28	27	27	29	29
8	28	28	28	27	28	27	28	28	28	28	28	29	28
9	28	28	27	28	28	28	28	27	28	27	28	28	28
10	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	29	29
11	28	28	27	28	28	28	28	28	28	28	28	29	29
12	27	27	27	27	27	27	27	27	28	28	28	28	28
13	26	27	27	27	27	27	27	26	27	28	28	27	28
14	27	26	26	27	27	27	27	27	28	28	28	28	28
15	27	27	27	27	26	27	27	27	28	28	28	28	28
16	27	27	27	27	27	26	26	27	28	28	28	27	28
17	26	27	27	26	26	27	27	26	27	28	28	27	28
18	26	27	27	27	27	27	27	27	28	28	28	28	28
19	27	27	26	27	27	27	26	27	28	28	28	28	28
20	27	27	27	26	27	27	26	27	27	27	27	27	27
21	26	27	27	27	26	26	27	27	27	27	27	27	27
22	27	27	27	27	27	27	27	27	27	26	27	27	28

数字影像可以直接通过空间飞行器中的扫描式传感器产生，也可以利用影像数字化器对摄取的光学像片经过采样和量化而获取。



影像扫描数字化

❑ 影像数字化过程：采样和量化

❑ 影像数字化仪器：扫描仪（器）



✓ 电子光学扫描器

■ 平台式

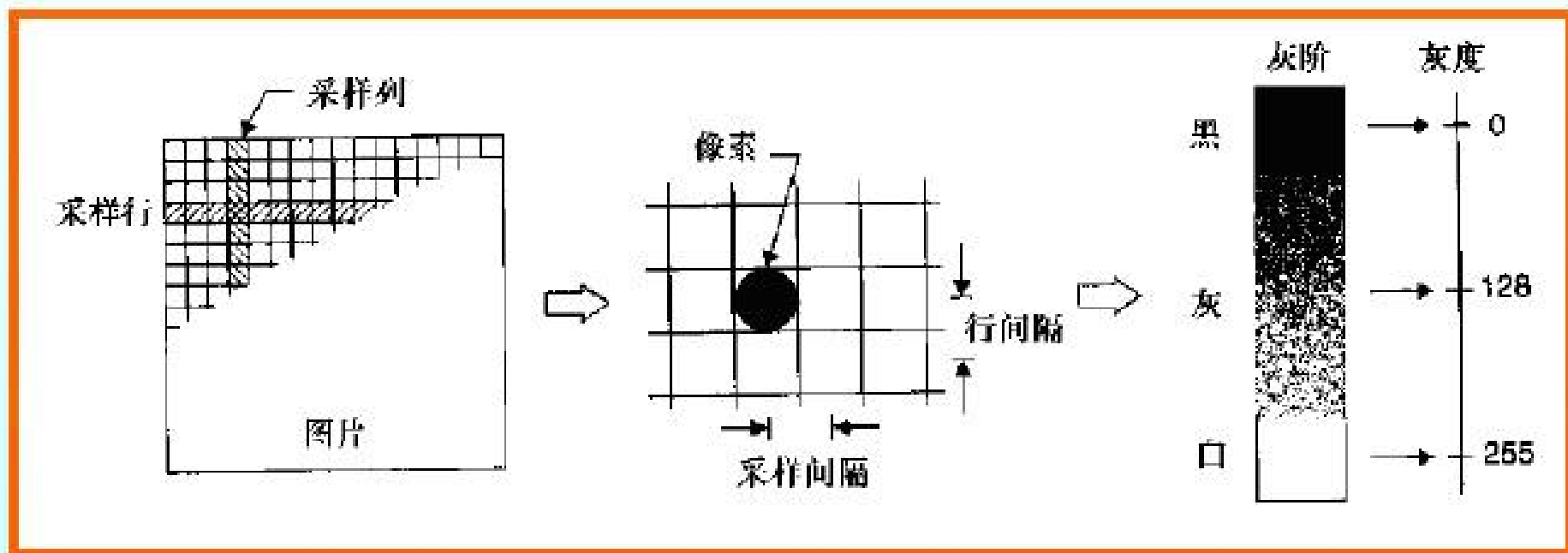
■ 滚筒式

✓ 固体阵列扫描器



影像数字化

如何进行数字化



采样

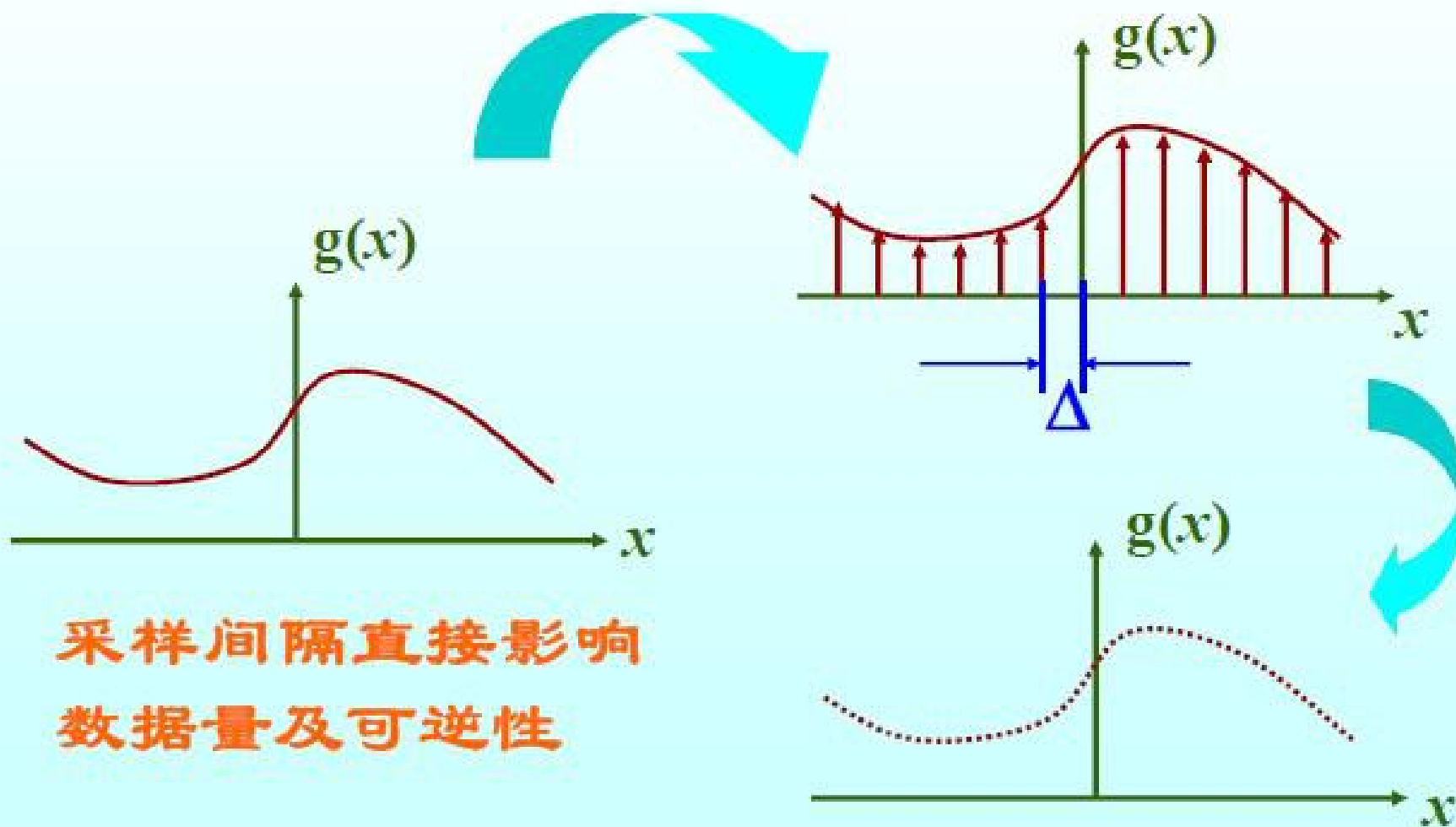
像片上像点是连续分布的，但在影像数字化过程中不可能将每一个连续的像点全部数字化，而只能每隔一个间隔 Δ 读一个点的灰度值，这个过程称为**采样**， Δ 称为**采样间隔**。

实质——对影像几何空间（像平面）的离散化，取得像元点位。

采样间隔（通常取与像元边长相等）可取 12.5, 25, 50, 100, (μm)

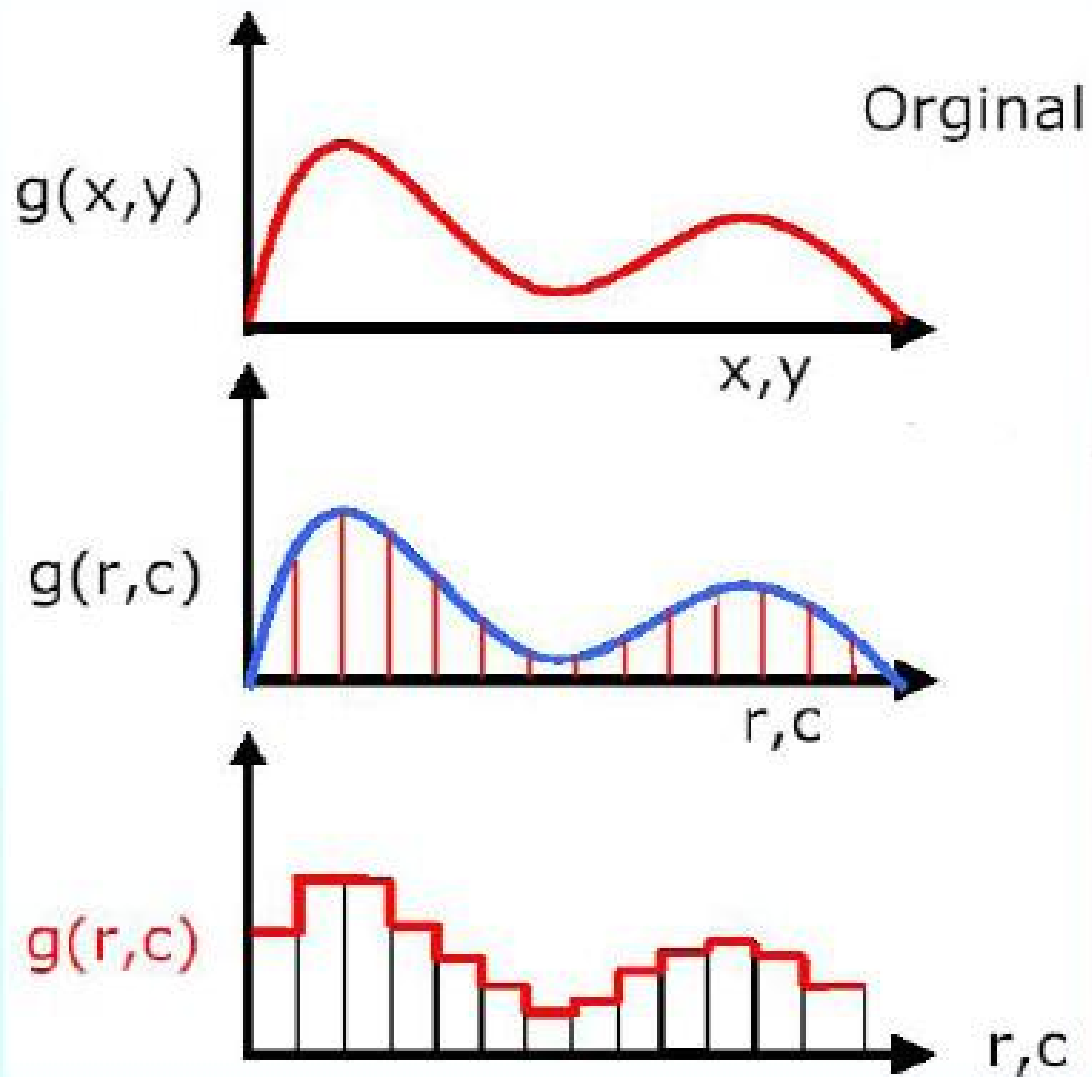
关于采样

采样过程即离散化



采样间隔直接影响
数据量及可逆性

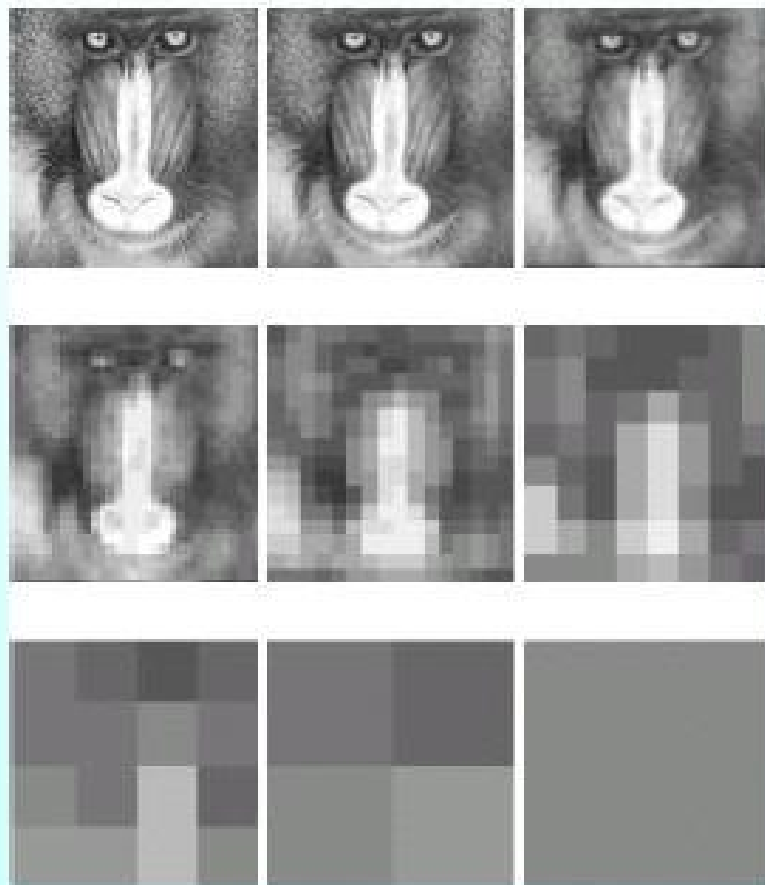
关于采样



采样后是不连续的等间隔序列，采样过程会给影像的灰度带来误差。例如相邻两个点的影像被丢失，亦即影像的细部受到损失，若要减少损失，则采样间隔越小越好。但是采样间隔越小，数据量越大，增加了运算工作量和提高了对设备的要求。究竟如何确定采样间隔，应根据精度要求和影像分解力，另外还要考虑到数据量和存贮设备的容量。

关于采样

采样间隔的影响



采样间隔直接影响
数据量及可逆性

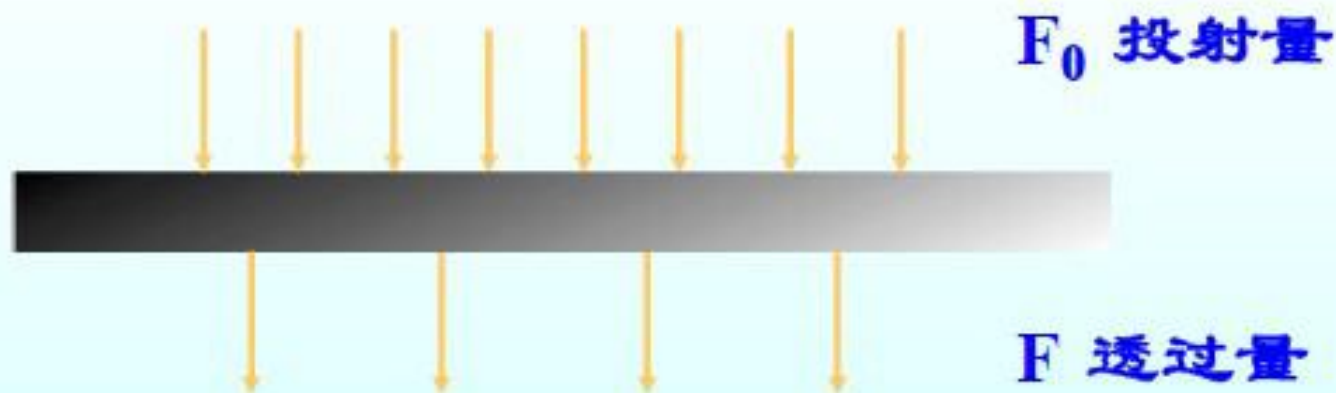
量化

通过上述采样过程得到每个点的灰度值不是整数，这对于计算很不方便，为此，应将各点的灰度值取为整数，这一过程称为影像灰度的**量化**。

实质——对影像灰度空间的离散化，取得各像元的灰度值。

关于量化

量化即定量描述 (举例)



透过率: $T = F / F_0$

不透过率: $O = F_0 / F$

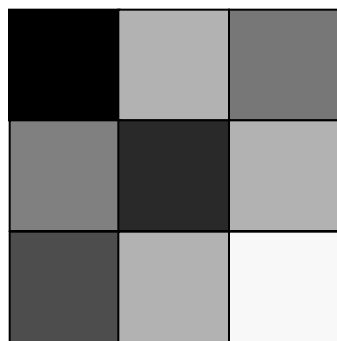
影像灰度: $D = \log O = \log(1/T) \approx 0.2 \sim 1.8$

量化成 2^n 级表示

其**方法**是将透明像片有可能出现的最大灰度变化范围进行等分，等分的数目称为“灰度等级”；然后将每个点的灰度值在其相应的灰度等级内**取整**，取整的原则是四舍五入。由于计算机中数字均用二进制表示，因此灰度等级一般都取为 2^m （ m 是正整数）。

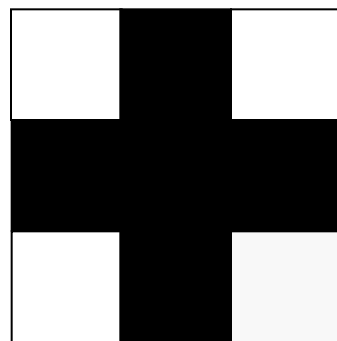
当 $m=1$ 时，灰度只有黑白两级，当 $m=8$ 时，则得256个灰度级，0为黑，255为白，每个像元素得灰度值占8bit，即一个字节。

对于黑白影像而言，影像的黑白程度用灰度级 (gray level) 表达，一般用一个字节-8bits。



$$\longrightarrow \begin{bmatrix} 0 & 180 & 150 \\ 130 & 90 & 180 \\ 100 & 180 & 250 \end{bmatrix}$$

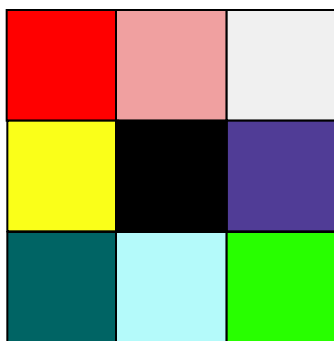
灰度图像



$$\longrightarrow \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

二值图像

对于彩色影像，每个像元用三个字节表示
(红、绿、蓝)表示，其中R, G, B由不同的
灰度级来描述。



$$R = \begin{bmatrix} 255 & 240 & 240 \\ 250 & 0 & 80 \\ 0 & 180 & 40 \end{bmatrix}$$

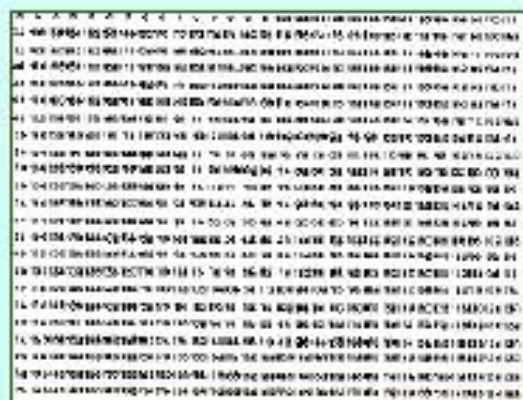
$$G = \begin{bmatrix} 0 & 160 & 240 \\ 255 & 0 & 60 \\ 100 & 250 & 255 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 160 & 240 \\ 25 & 0 & 150 \\ 100 & 250 & 0 \end{bmatrix}$$

采样和量化的结果

结果：得到数字化影像（二维灰度阵列）

$$g = \begin{bmatrix} g_{0,0} & g_{0,1} & \cdots & g_{0,n-1} \\ g_{1,0} & g_{1,1} & \cdots & g_{1,n-1} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ g_{m-1,0} & g_{m-1,1} & \cdots & g_{m-1,n-1} \end{bmatrix} m \times n$$



进一步关于扫描数字化

■ 要注意数字影像与数字化影像的区别

■ 要选择合适的采样间隔和量化等级

■ 关于影像扫描数字化的数据量计算举例：

对 230×230 黑白航片，当采样间隔 $\Delta = 12.5 \mu m$ 时，
每行（列）有**18400 pixels**，则存储量为：

$$(18400 \times 18400) \div (1024 \times 1024) = 322 \text{ MB}$$

像元大小	100 μm	50 μm	25 μm
数据量	5 MB	21 MB	84 MB

进一步关于扫描数字化

若在影像数字化过程中几何和辐射质量损失严重，则会影响后续数据处理的质量。

□ 影响扫描数字化影像质量的因素：

- ✓ 原始影像质量
- ✓ 扫描仪的性能
- ✓ 扫描参数设置



进一步关于扫描数字化

□ 扫描数字化过程中需考虑的问题：

- ✓ 扫描仪的几何精度
- ✓ 影像（扫描）分辨率

对于影像分辨率为**40lp/mm**的航空影像，
建议采用：

10 μ m \times 10 μ m分辨率扫描黑白影像

15 μ m \times 15 μ m分辨率扫描彩色影像

讨论：如何在数据量可接受的情况下尽可能保持原始影像的分辨率和信息量值得研究。

进一步关于扫描数字化

□ 扫描数字化过程中需考虑的问题（续）

✓ 色彩恢复（Color Reproduction）：此问题涉及扫描仪的色彩检校

是否需要对扫描仪进行色彩检校最简单的方法是：

比较扫描后影像与原始影像的色彩差别

进一步关于扫描数字化

□ 扫描数字化过程中需考虑的问题（续）

讨论：

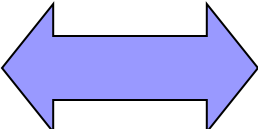
作为扫描仪的购买者或使用者，一般很少会去关心影像噪声、反差动态范围（MTF）以及扫描仪其他的光学、电子、机械等误差，这就意味着同一张原始影像在不同的扫描仪上扫描，即使分辨率等设置一样，但扫描的结果不一样。

对扫描仪的检校是一项很重要的工作。

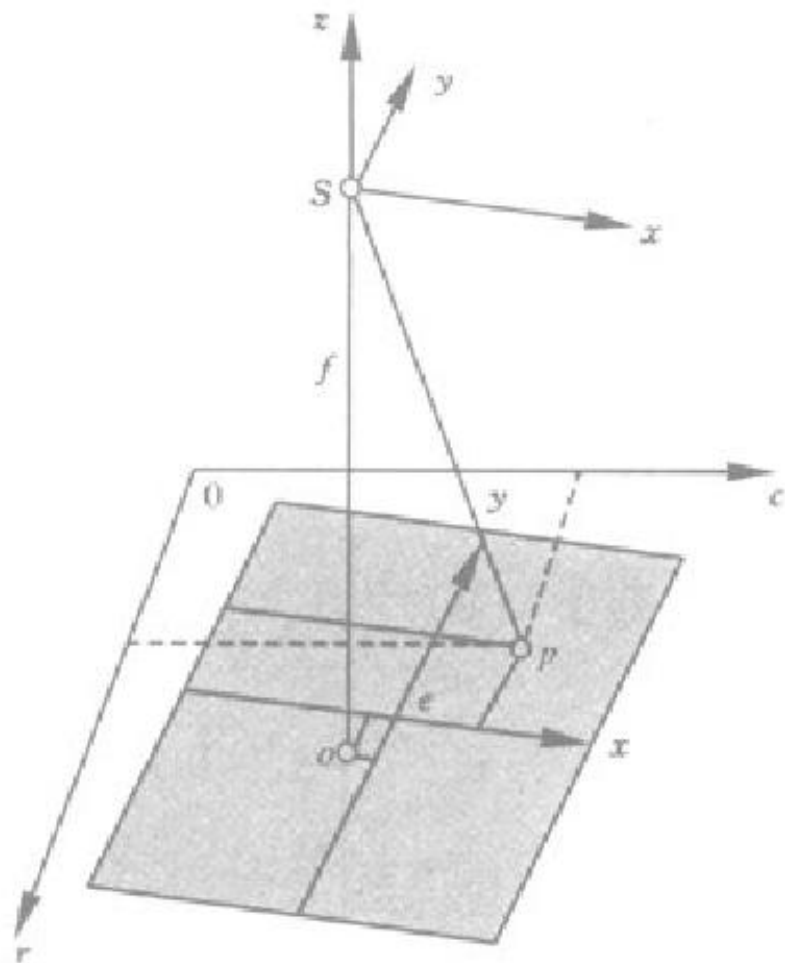
数字影像的定向

✓ 定义:

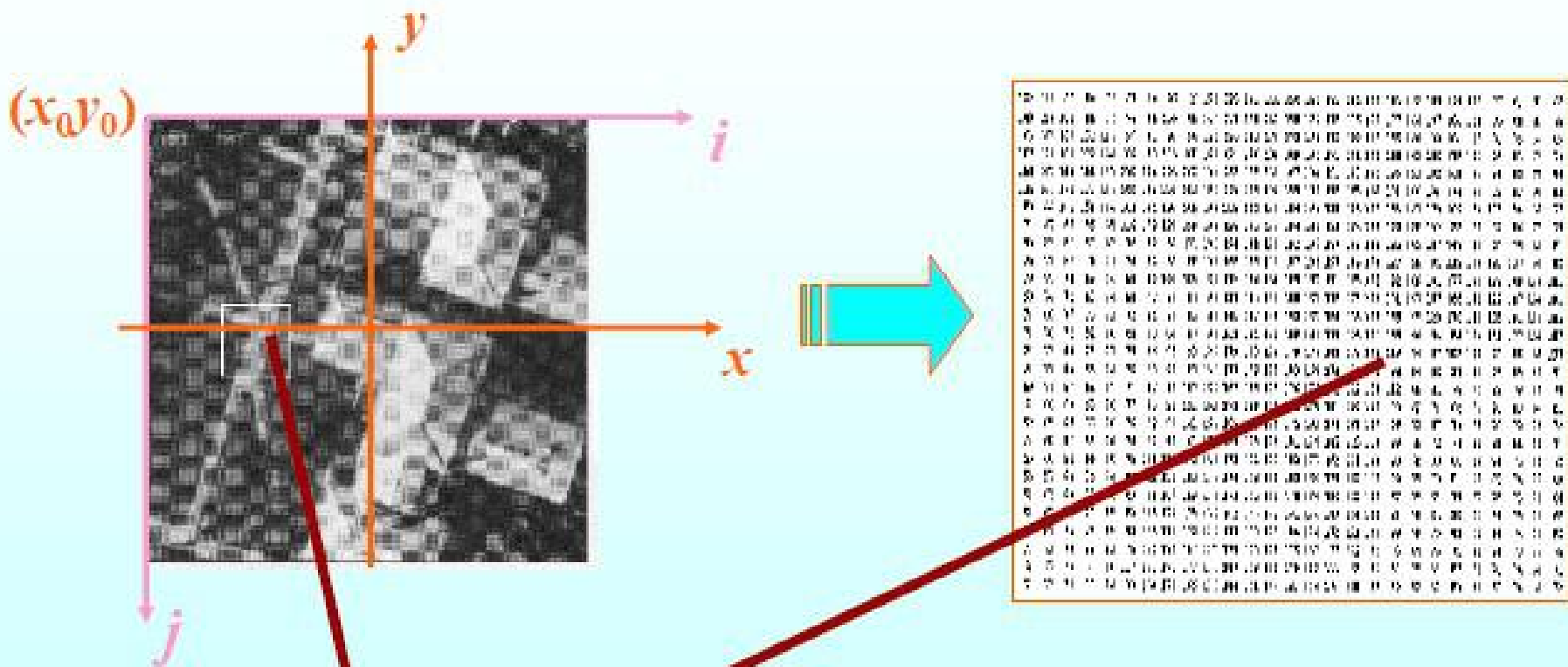
✓ 目的:

扫描坐标  像片坐标

如图中， $o-cr$ 为影像扫描坐标系， $e-xy$ 为框标坐标系， $o-xy$ 为像平面坐标系， $S-xyz$ 为像空间坐标系。

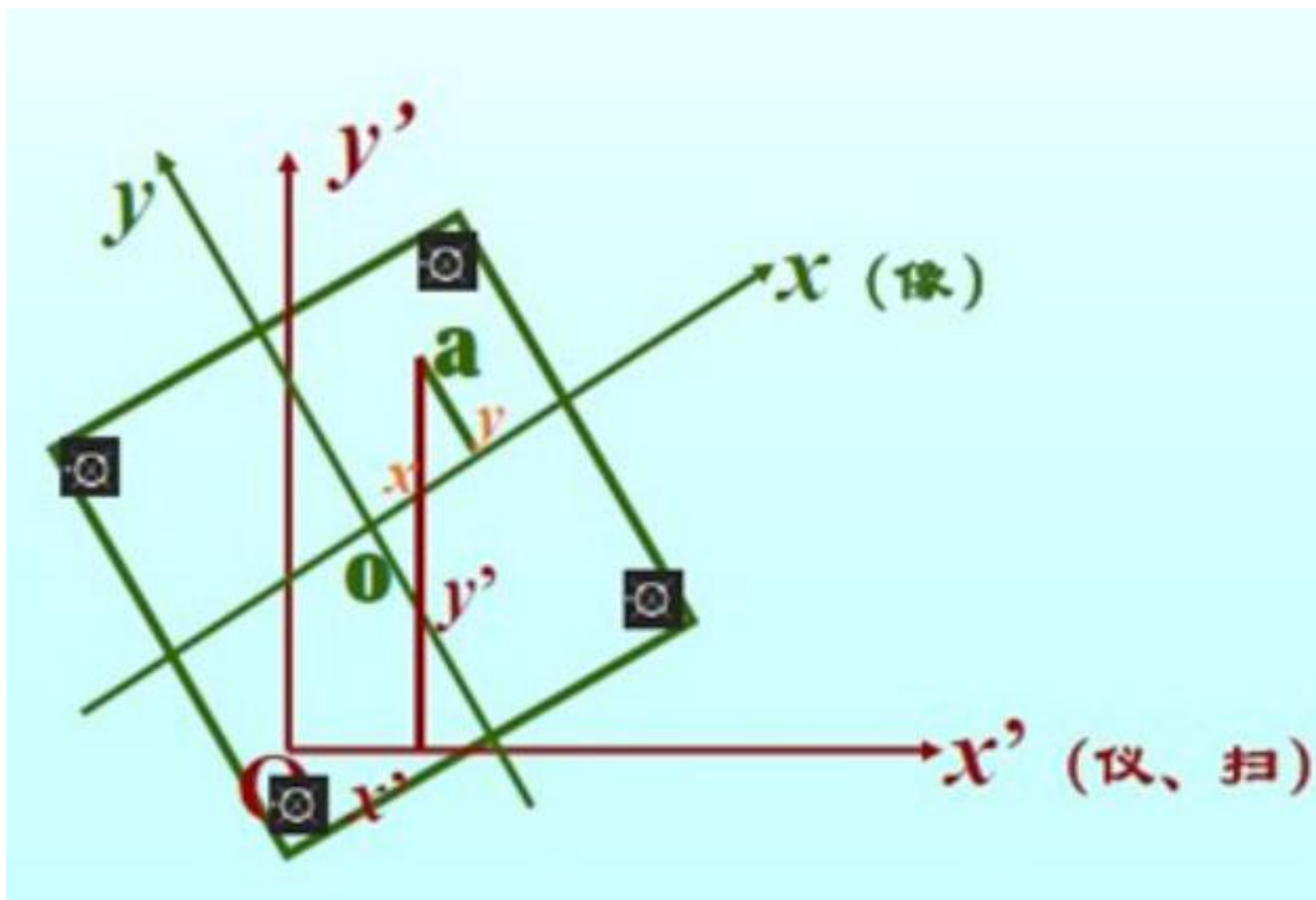


扫描坐标与影像坐标转换



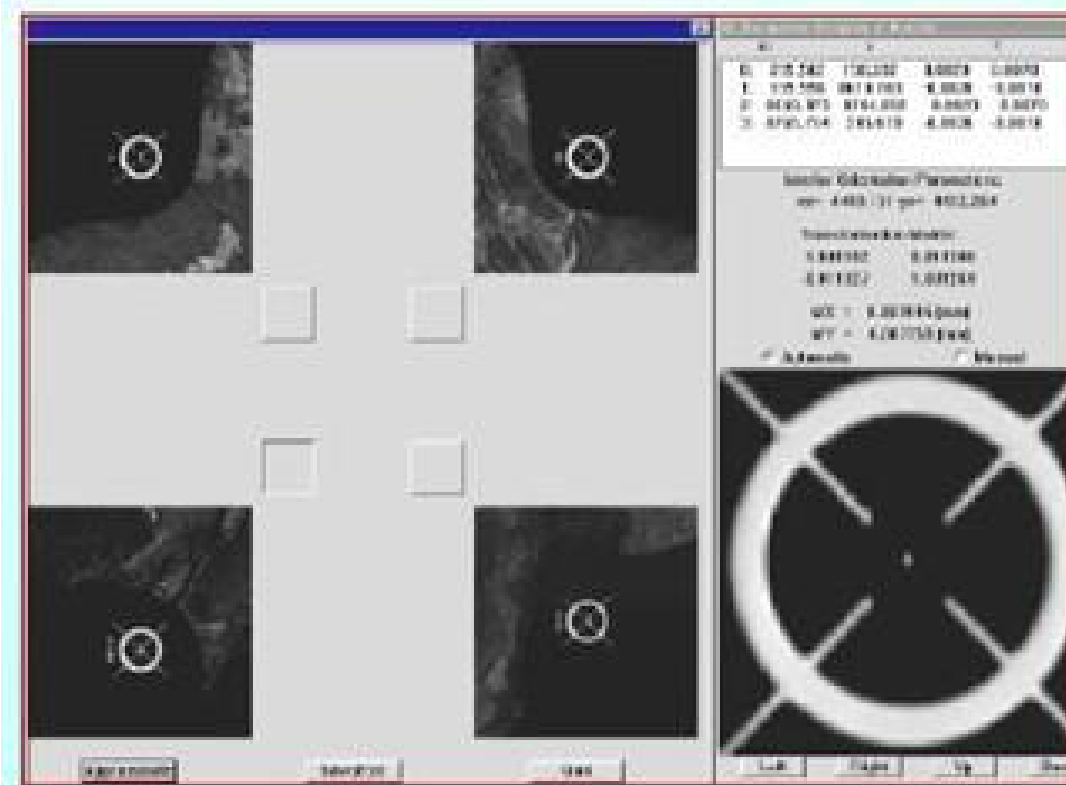
$$x = x_0 \pm i \cdot \Delta x \quad (i = 0, 1, \dots, n-1)$$

$$y = y_0 \pm j \cdot \Delta y \quad (j = 0, 1, \dots, m-1)$$



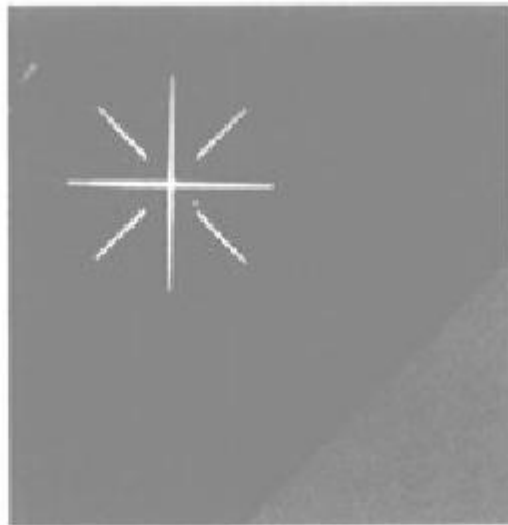
✓ 内定向的基本步骤：

- ❖ 框标的识别与定位
- ❖ 确定变换参数
- ❖ 坐标转换





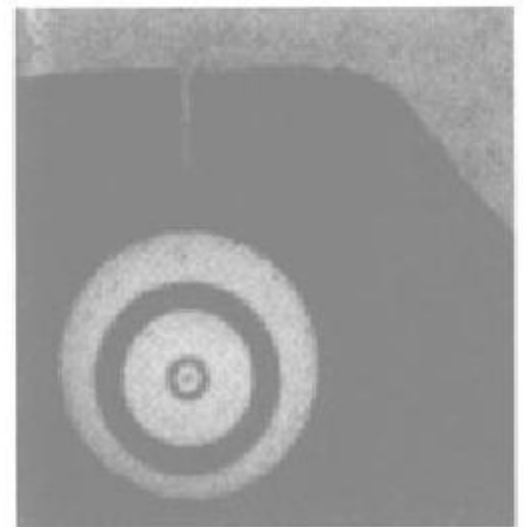
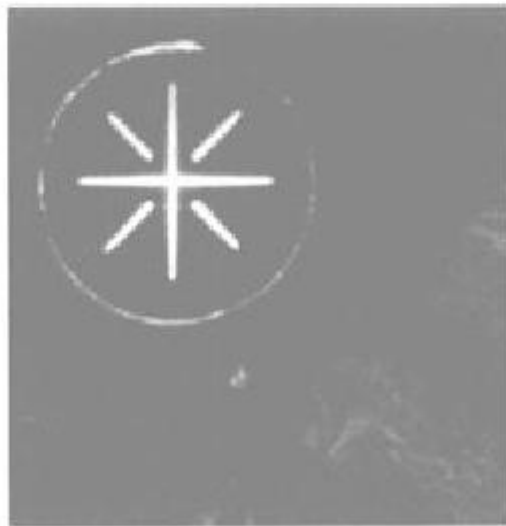
(a)

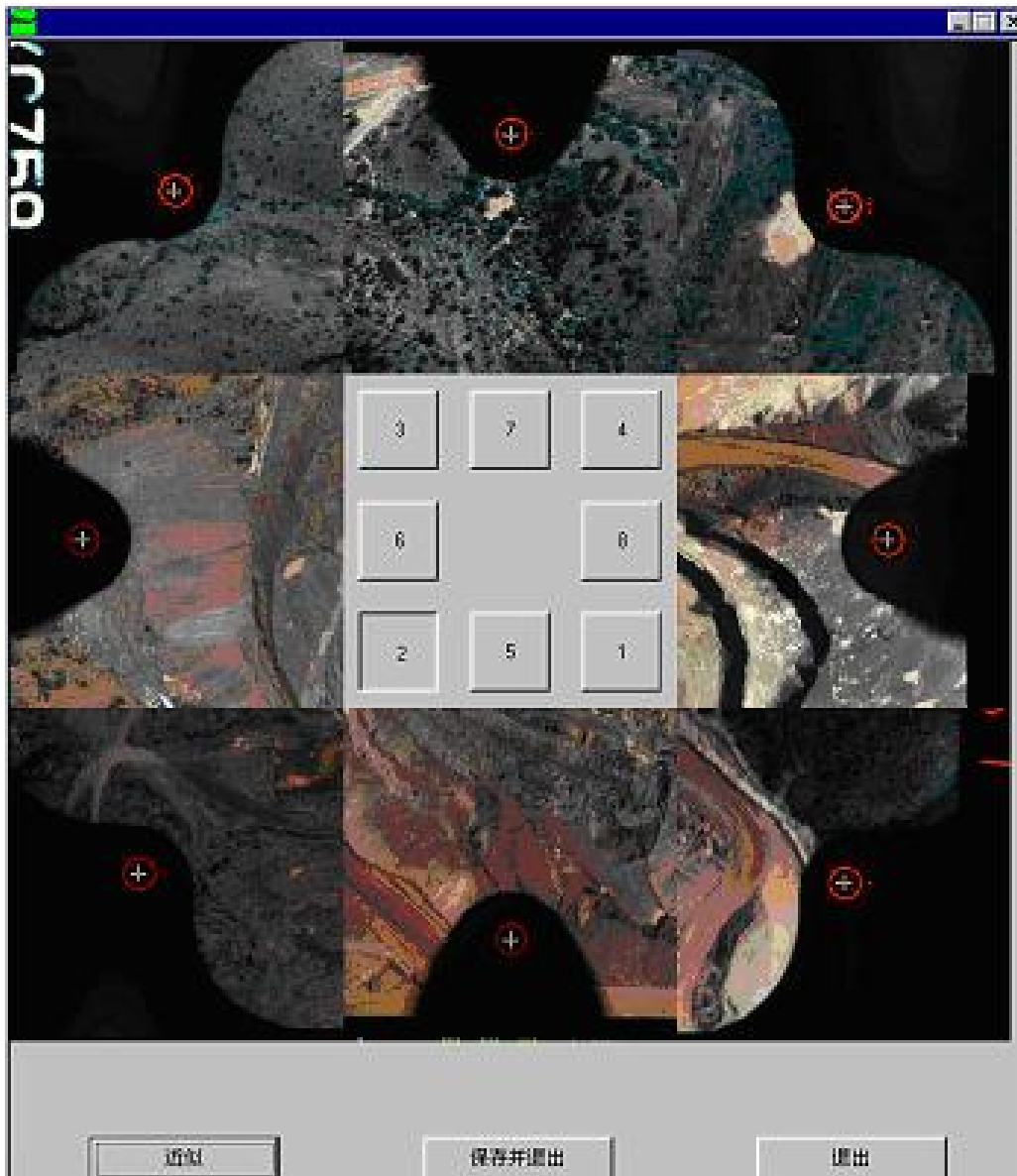


(b)



(c)





20 22 24 26 28 30 32 34 36 38

自定义控制点

NO	X	Y	dx	dy
1	4961.684	187.733	-0.0035	-0.0020
2	153.620	230.194	0.0024	0.0077
3	196.184	4938.588	-0.0017	-0.0034
4	4934.052	4996.344	-0.0017	-0.0034

内定向参数：
 像主点： $X_0 = 2528.879$ $Y_0 = 2563.066$
 1.801086 -0.016223
 0.016142 1.800850
 中误差： $MX = 0.0025(\text{mm})$ $MY = 0.0073(\text{mm})$
 自动模式 手工模式

左 右 上 下

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

LPS软件中的数字影像内定向

Frame Camera Frame Editor (col90p1.img)

Sensor Interior Orientation Exterior Information

Fiducial Orientation: Viewer Fiducial Locator:

50 0 100
50 0 100

Unsolved

OK
Previous
Next
Cancel
Help

Point #	>	Color	Image X	Image Y	Film X	Film Y	Residual X	Residual Y
1		Green	2207.215	2179.936	106.004	-106.008	0.000	0.000
2	>	Green			-105.999	-105.998	0.000	0.000
3		Green			-106.004	106.005	0.000	0.000
4		Green			106.002	106.002	0.000	0.000

174.00, -2259.00

一般认为同一像点的像平面坐标 x, y 与其扫描坐标 \bar{x}, \bar{y} 之间存在仿射变换，即：

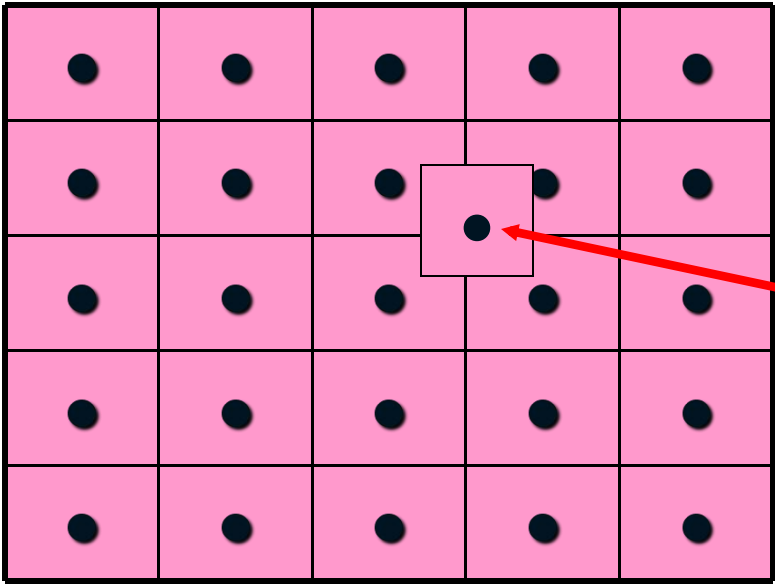
$$x = h_0 + h_1 x' + h_2 y' \quad (x, y) \text{—像片坐标}$$

$$y = k_0 + k_1 x' + k_2 y' \quad (x', y') \text{—扫描坐标}$$

式中， $h_0, h_1, h_2, k_0, k_1, k_2$ 称为内定向参数，其数值由像片上四个框标的扫描坐标及其相应的像平面坐标（视为理论值）组成误差方程式，用平差方法求得。

三、数字影像重采样

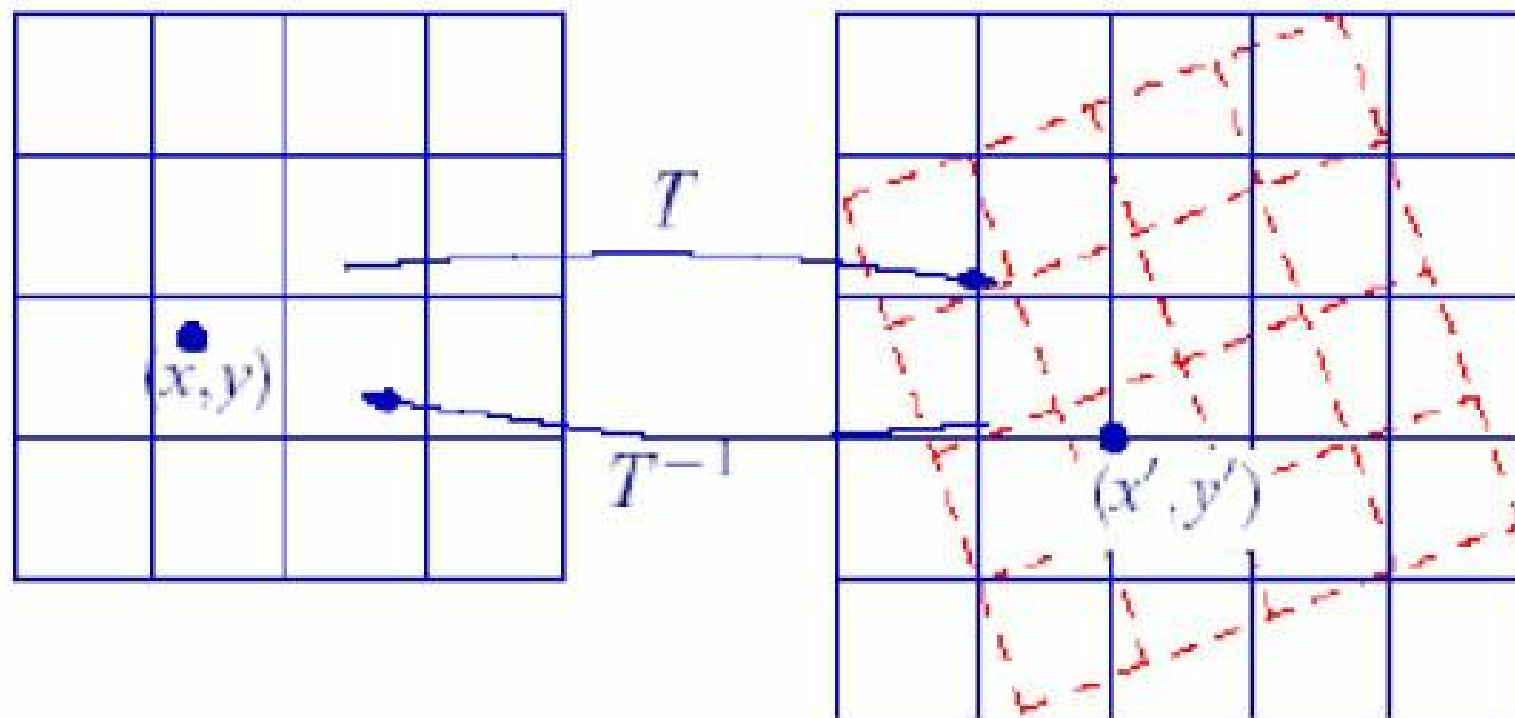
- 当欲知不位于矩阵（采样）点上的原始函数 $g(x, y)$ 的数值时就需要进行内插，此时称为**重采样**。（Resampling），意即在原采样的基础上再一次采样（即根据**已有**的采样点内插**未知**像元灰度值的过程）。
- 。每当对数字影像进行几何处理时总会产生这问题，例如，核线排列，数字纠正等。



不在采样点

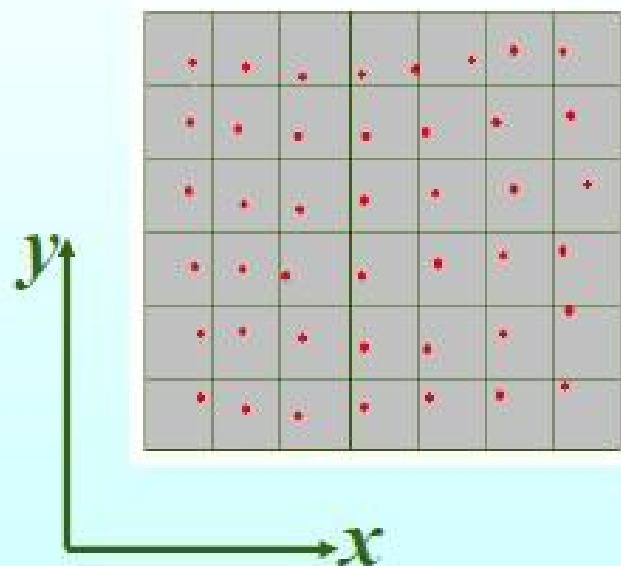
关于影像重采样

重采样：即对灰度分布的重新分配，通过对的灰度和赋值内插实现。

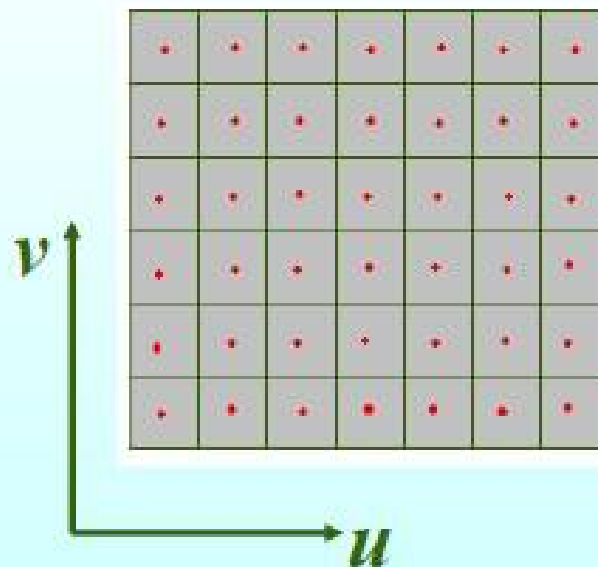


关于影像重采样

□ 重采样



重采样前

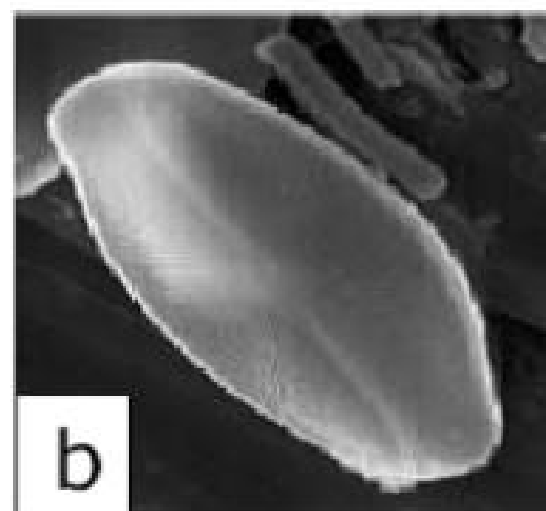
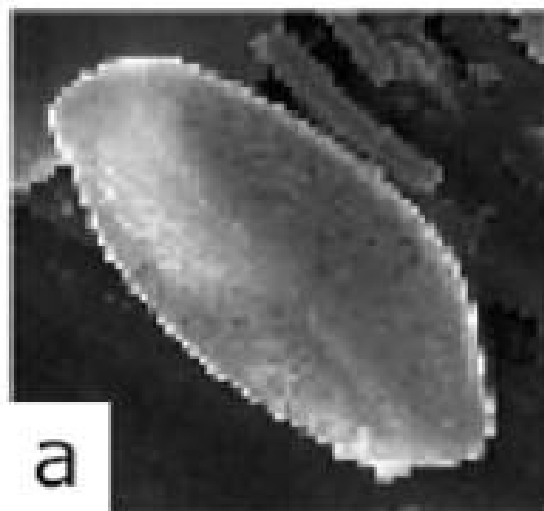


重采样后

影像重采样

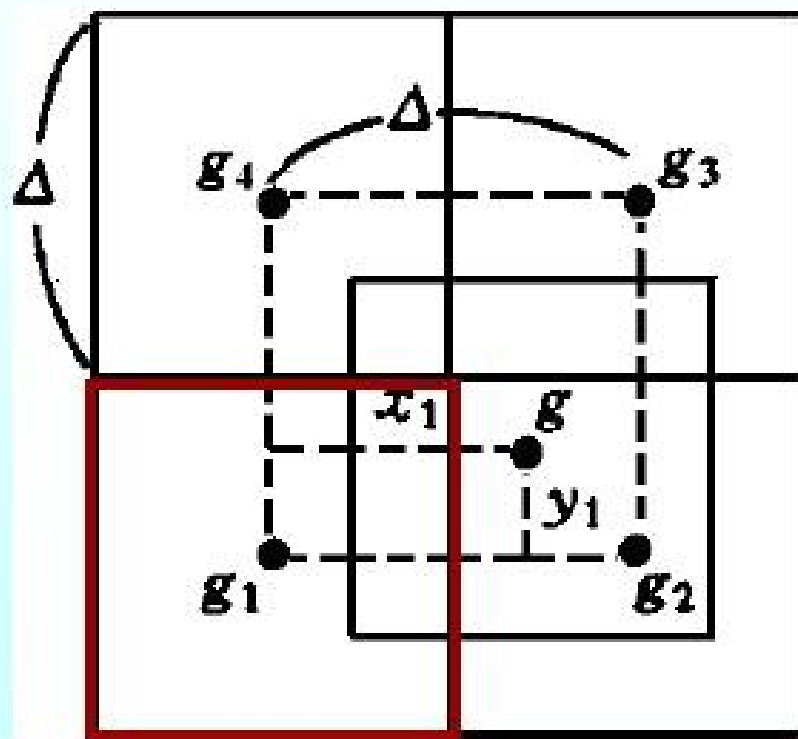
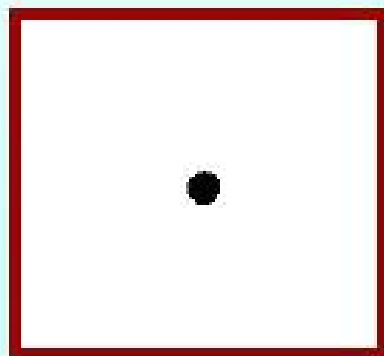
常用的灰度内插方法：

- 邻近点法
- 双线性内插法
- 沿核线重采样



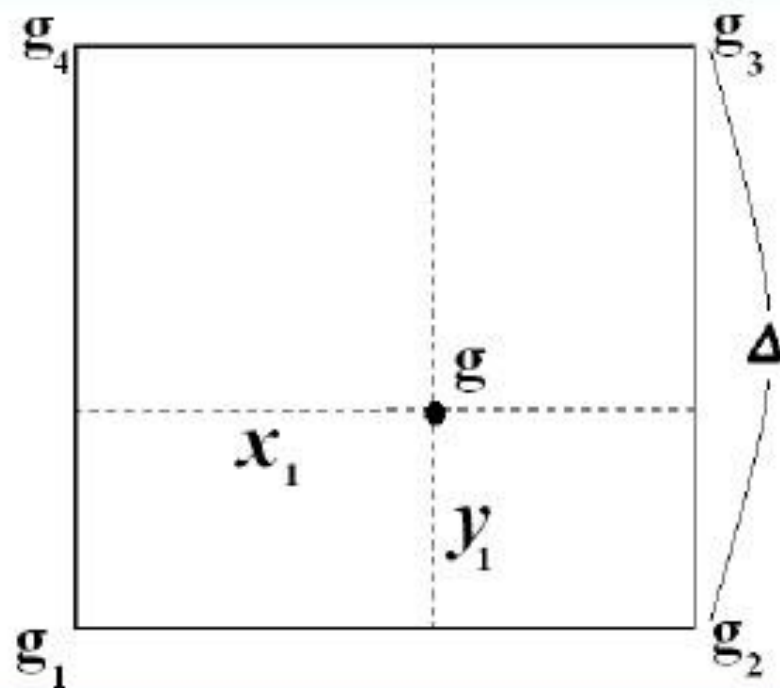
影像重采样

□ 双线性采样



影像重采样

双线性采样



$$g = \frac{1}{\Delta^2} [(\Delta - x_1)(\Delta - y_1)g_1 + (\Delta - y_1)x_1g_2 + x_1y_1g_3 + (\Delta - x_1)y_1g_4]$$

四、影像数字化器

利用影像数字化器对摄取的航摄像片进行重采样和量化，是获取数字图像的方法之一。

影像数字化器有多种形式：电子光学扫描器、固体阵列式数字化器等。

数字摄影测量的核心问题之一

影像匹配

8.3 数字影像相关

一、影像相关（匹配）

利用两个影像信号的**相关函数**，评价它们之间的相似性，以确定同名像点的过程。

❖ 分类

电子相关：利用电子电路解算相关函数的影像相关。

光学相关：利用光学方法确定相关函数的影像相关。

数字相关：利用计算机对数字影像进行数值计算完成影像相关。

数字影像匹配

- 影像匹配（相关）是数字摄影测量处理的核心问题之一，是指在数字摄影测量中用影像匹配技术代替传统的人工观测，从而达到自动确定同名像点（特征）的目的。





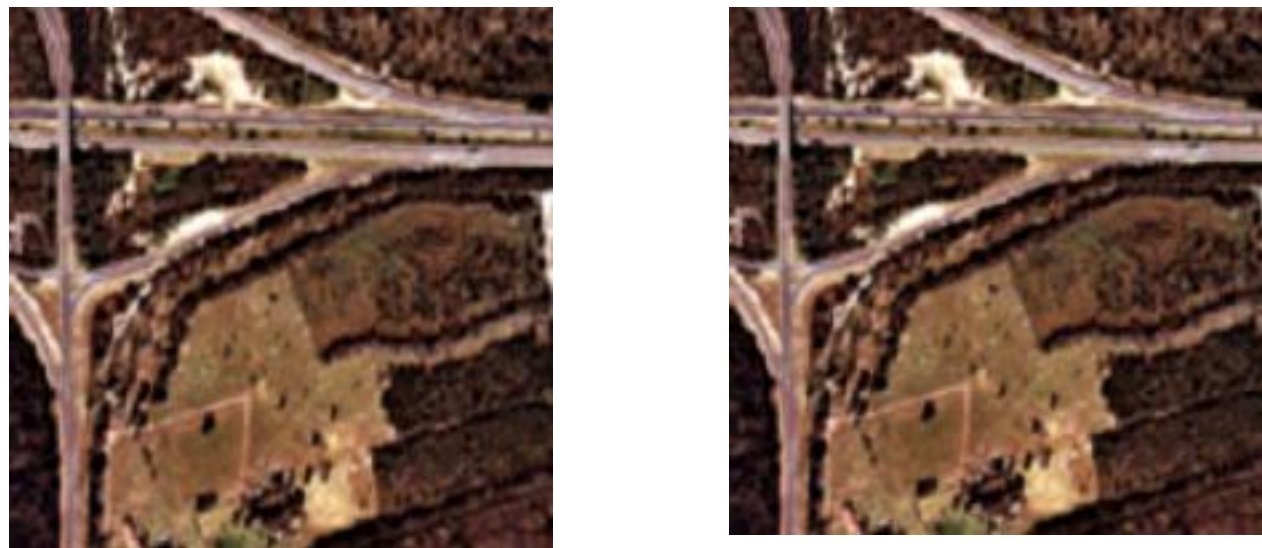
kappa[1]	-0.0106
kappa[2]	-0.0059
omega[2]	-0.0008
phi[1]	0.0001
phi[2]	0.0090
101.....	-0.025
22.....	0.025
123.....	-0.026
6156.....	-0.028
2156.....	-0.034
1156.....	-0.121
RMS: 0.0162	
点数: 156	
删除点	



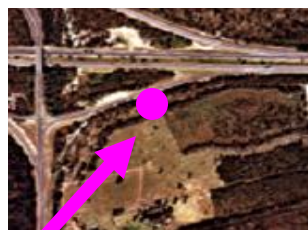
左影像 向上 右影像
向左 向下 向右

影像匹配——同名点寻找

示意图



目标区



互相关函数



搜索区

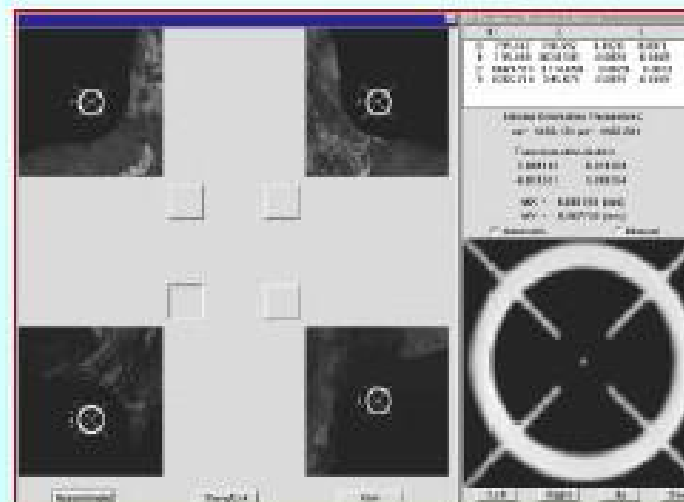
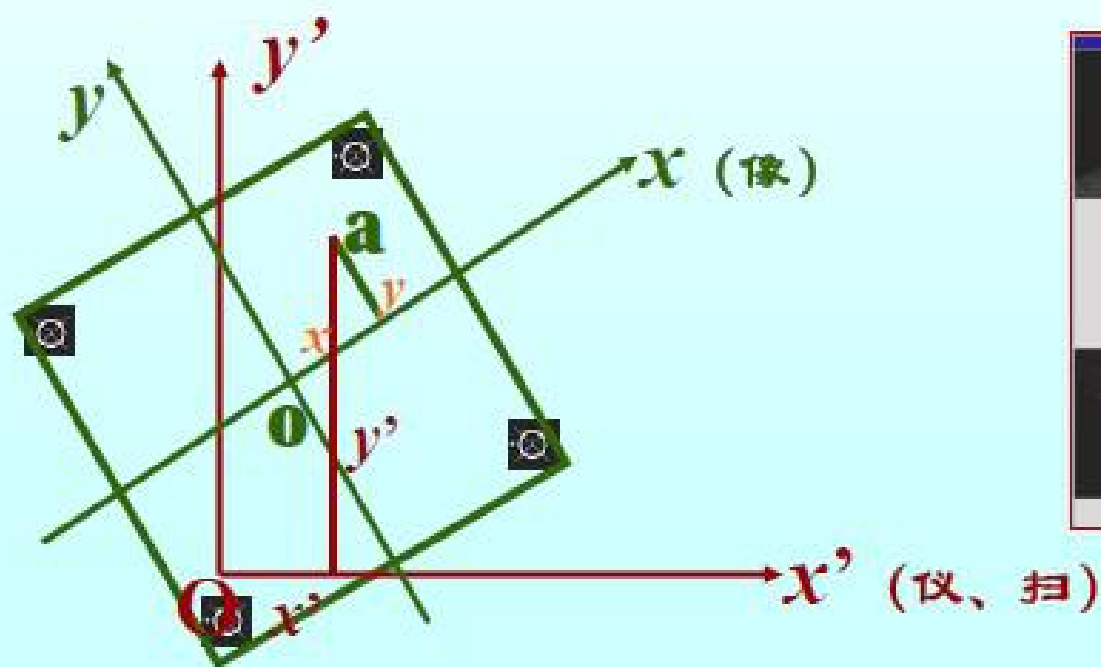
同名点

相似程度

匹配应用场合 (广义)

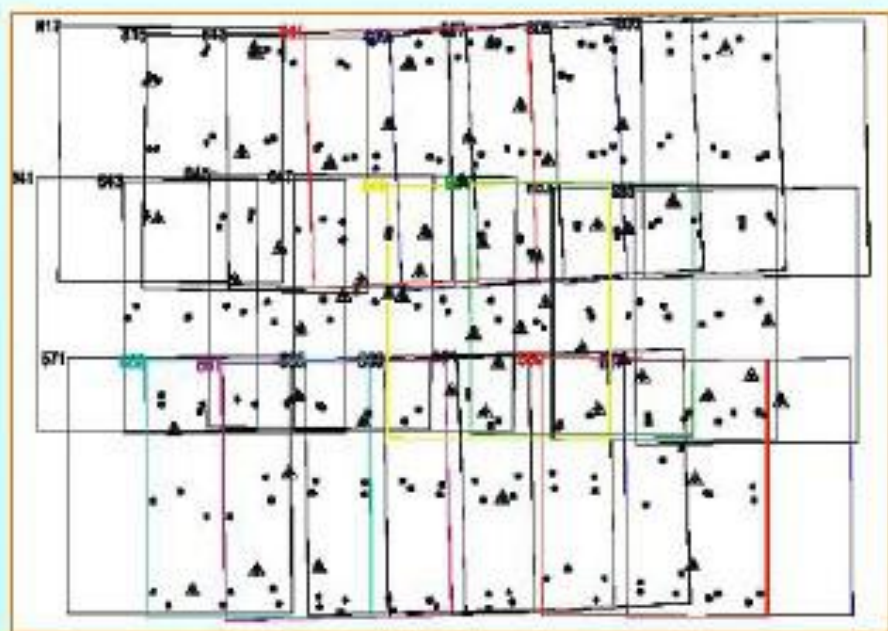
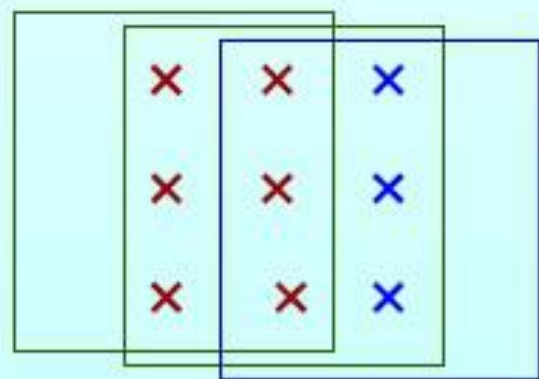
□ 举例:

1、自动内定向 (基于模板匹配)



匹配应用场合

- 2、自动相对定向
- 3、空中三角测量中自动转点
- 4、影像匹配自动点位测定



匹配应用场合

5、影像与影像的配准 (套合)

6、图形与影像的配准 (套合)



正射影像



平面图

叠加

匹配应用场合

□ 广义地讲，凡是需要由人眼去判断或比较两个（或两个以上）同名（或相似）的目标（点、特征、物体）的场合均可利用匹配技术。

数字影像匹配基本算法

□ 影像匹配算法分类：

- 1、基于灰度的影像匹配：**着眼于局部影像的相似性或相关程度。
- 2、基于特征的影像匹配：**着眼于同名影像特征之间的相似性。
- 3、基于解译（关系）的影像匹配：**着眼于计算机自动识别影像上各种目标及其相互间的关系，必须建立在影像解译和专家系统基础上。

影像相关的算法分类

1. 基于灰度的影像相关

诸如：协方差法、相关系数法、高精度最小二乘相关等等，以及以这些方法为基础加上各种约束条件构成的方法，如带核线约束的相关系数法、顾及共线条件的高精度最小二乘相关法、多点乃至多片最小二乘相关方法及同时采闡几种相似性量度作为判据的多重信息多重判据方法，等等。

2. 基于特征的影像相关

首先提取影像中的特征（点、线、面），然后对提取的特征进行参数描述，最后以特征的特征值为依据进行同名特征的搜索，进而获得同名像点。

二、基于灰度的影像相关

基于灰度的影像相关是基于待相关点所在的一个小区域内的影像的灰度信息来寻找左右像片的同名像点的方法

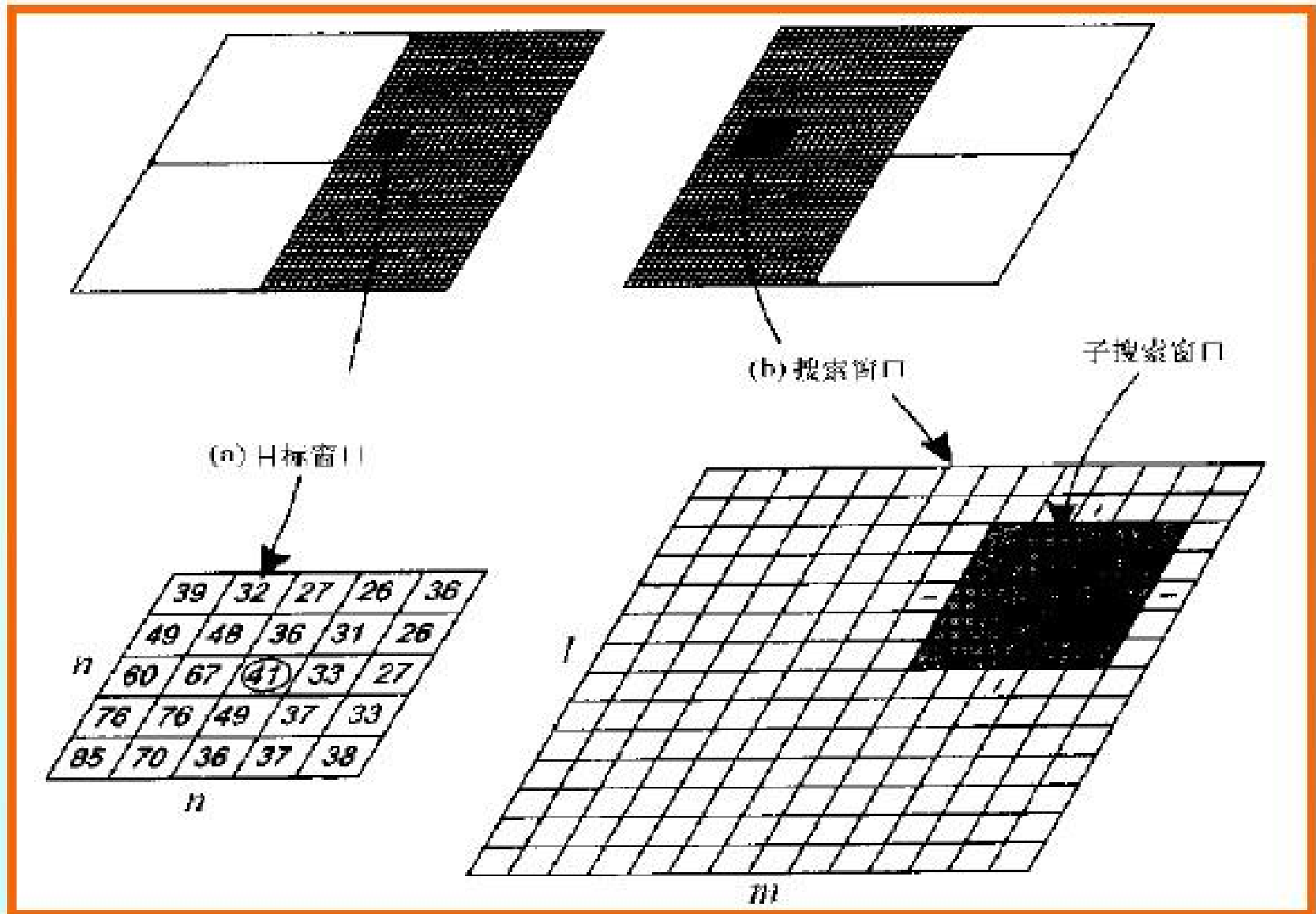


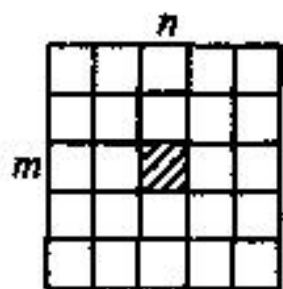
二、基于灰度的影像相关

假设在左片上有一个目标点，为了搜索它在右片上的同名点，须以它为中心取其周围 $n \times n$ 个像元素的灰度序列组成一个目标区，在目标区中任意一个像元素的灰度值设为 $g_{ij}(i, j = 1, \dots, n)$ ，一般取 n 为奇数，其中心点即为目标点。根据左片上的目标点的坐标概略地估计出它在右片上的近似点位，并以此为中心取其周围 $l \times m$ 个影像灰度序列，组成一个搜索区。在搜索区内有 $(l - n + 1) \times (m - n + 1)$ 个与目标区等大的区域，称为相关窗口，窗口内任意一点的灰度值设为

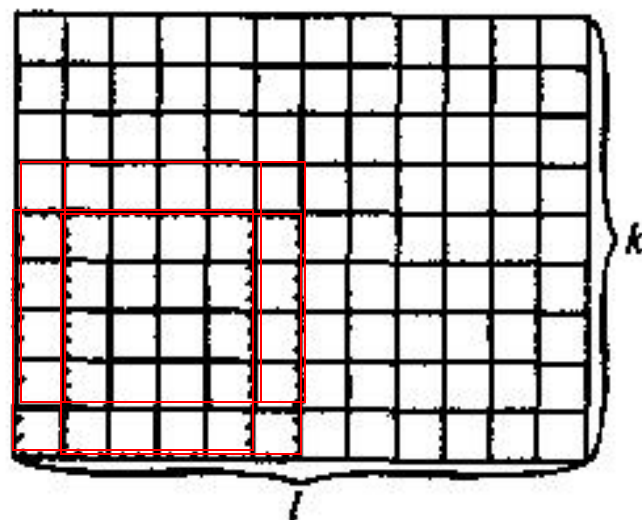
$$g'_{i+k, j+h}(i, j = 1, \dots, n; k = 0, 1, \dots, l - n, h = 0, 1, \dots, m - n)$$

基于灰度的影像相关

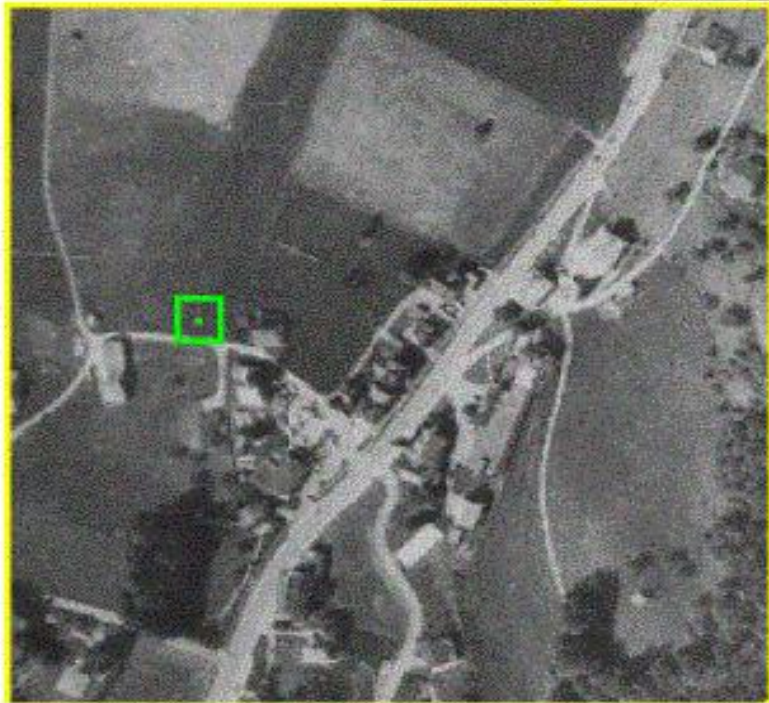
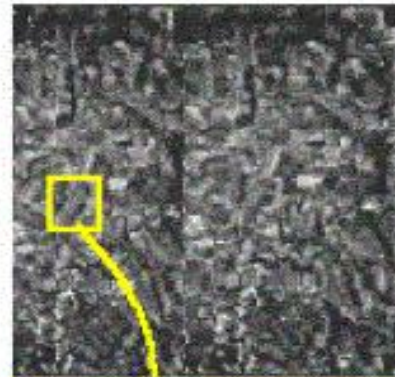
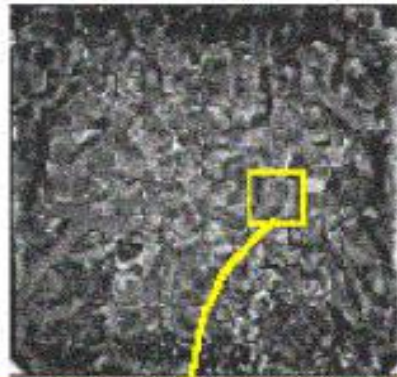


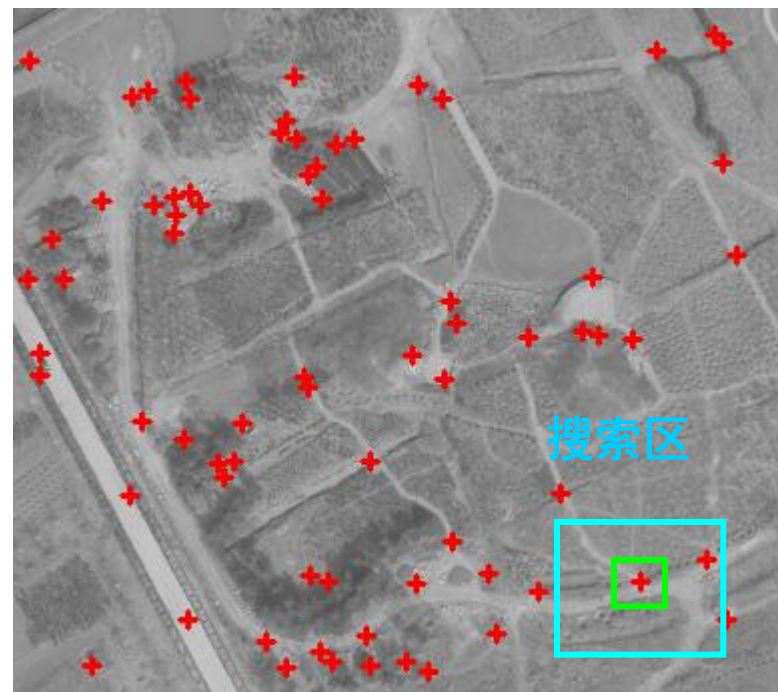
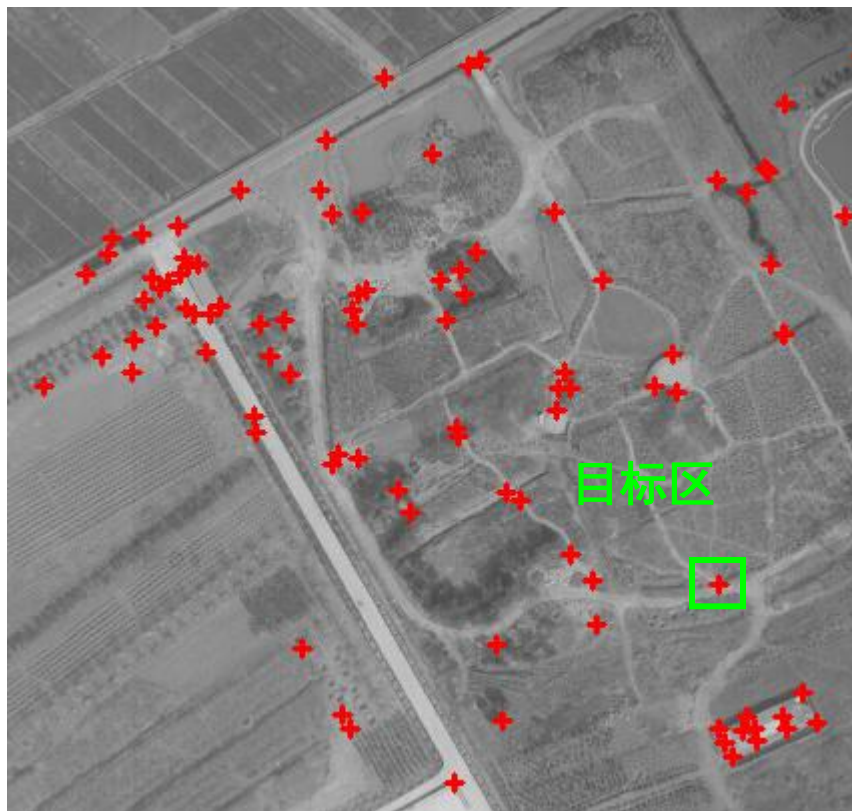


(a) 目标区



(b) 搜索区





相关系数法影像相关



□ 相关判据：相关系数 ρ_{ij}

$$\rho(c, r) = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (g_{i,j} - \bar{g})(g'_{i+r,j+c} - \bar{g}')}{\sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (g_{i,j} - \bar{g})^2 \cdot \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (g'_{i+r,j+c} - \bar{g}')^2}}$$

三、基于灰度的数字影像相关方法

g_{ij}, g'_{ij} 表示目标影像（左影像）和搜索影像（右影像）的灰度分布
影像窗口大小 $m \times n$ ，则均值为：

$$\bar{g} = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n g_{ij}$$

$$\bar{g}' = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n g'_{ij}$$

$$\sigma_{gg} = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (g_{ij} - \bar{g})^2 = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n g_{ij}^2 - \bar{g}^2$$

$$\sigma_{g'g'} = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (g'_{ij} - \bar{g}')^2 = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n g'_{ij}{}^2 - \bar{g}'^2$$

1、相关函数测度

$$R = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n g_{ij} \cdot g'_{ij} \Rightarrow \max$$

2、协方差函数测度

$$\sigma_{gg'} = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (g_{ij} - \bar{g})(g'_{ij} - \bar{g}') \Rightarrow \max$$

3、相关系数测度

$$\rho = \frac{\sigma_{gg'}}{\sqrt{\sigma_{gg} \cdot \sigma_{g'g'}}} \Rightarrow \max$$

4、差平方和测度

$$S^2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (g_{ij} - g'_{ij})^2 \Rightarrow \min$$

相关系数

$$\rho = \frac{\sigma_{gg'}}{\sqrt{\sigma_{gg} \cdot \sigma_{g'g'}}$$

$$\bar{g}_{ij} = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n g_{ij}$$

$$\bar{g}'_{ij} = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n g'_{ij}$$

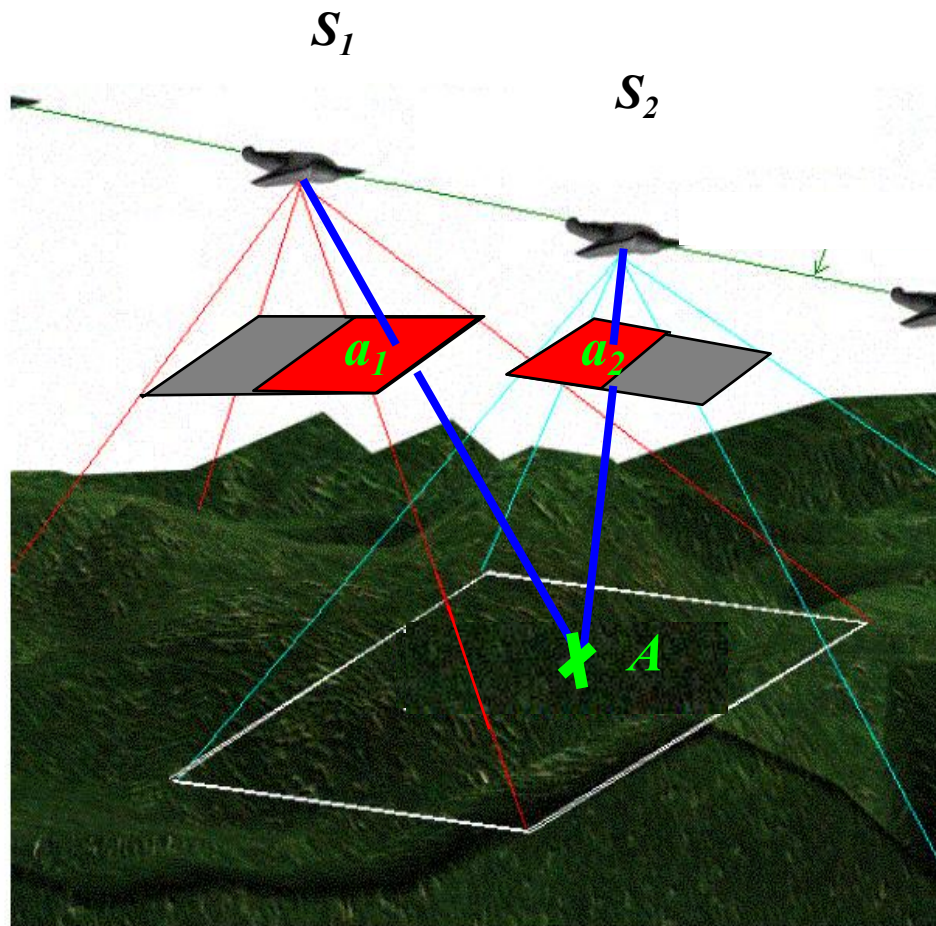
$$\sigma_{gg} = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (g_{ij} - \bar{g}_{ij})^2 = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n g_{ij}^2 - \bar{g}_{ij}^2$$

$$\sigma_{g'g'} = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (g'_{ij} - \bar{g}'_{ij})^2 = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n g'^2_{ij} - \bar{g}'^2_{ij}$$

$$\sigma_{gg'} = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (g_{ij} - \bar{g}_{ij})(g'_{ij} - \bar{g}'_{ij}) = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n g_{ij}g'_{ij} - \bar{g}_{ij}\bar{g}'_{ij}$$

最小二乘影像匹配

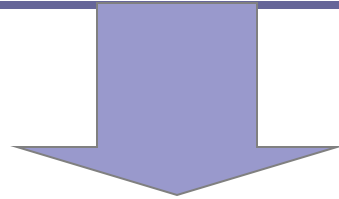
问题的提出：在前述的影像匹配方法中没有考虑到影像灰度的系统变形情况，LSM就是在影像匹配的数字模型中引入系统变形参数，按最小二乘原则解求变形参数。充分利用了影像窗口内的信息进行平差计算，使影像匹配可以达到1/10甚至1/100像素的高精度。（也称为高精度影像匹配或高精度影像相关）



最小二乘影像匹配

■ 德国Ackermann教授提出了一种新的影像匹配方法——最小二乘影像匹配（Least Squares Image Matching）

■ 影像匹配可以达到1/10甚至1/100像素的高精度



优点如下

■ 最小二乘影像匹配中可以非常灵活地引入各种已知参数和条件，从而可以进行整体平差。

■ 同时解决“多点”影像匹配或“多片”影像匹配

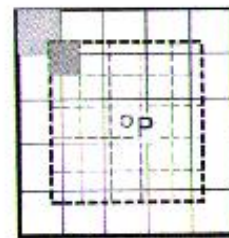
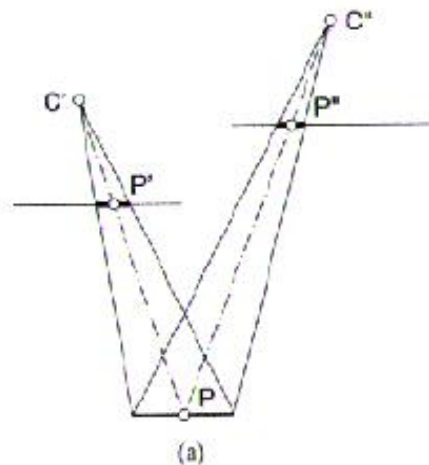
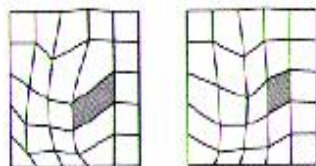
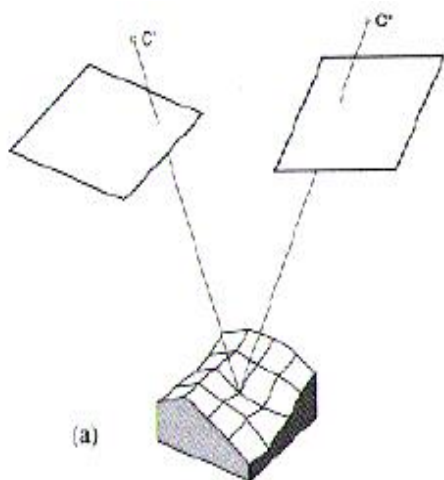
■ 引入“粗差检测”，从而大大地提高影像匹配的可靠性

最小二乘影像匹配原理

影像灰度的系统变形：**产生影像灰度分布之间的差异。**

(1) **辐射畸变**：大气辐射的影响及影像数字化误差等。

(2) **几何畸变**：影像的各种畸变及地形高差的影响等。



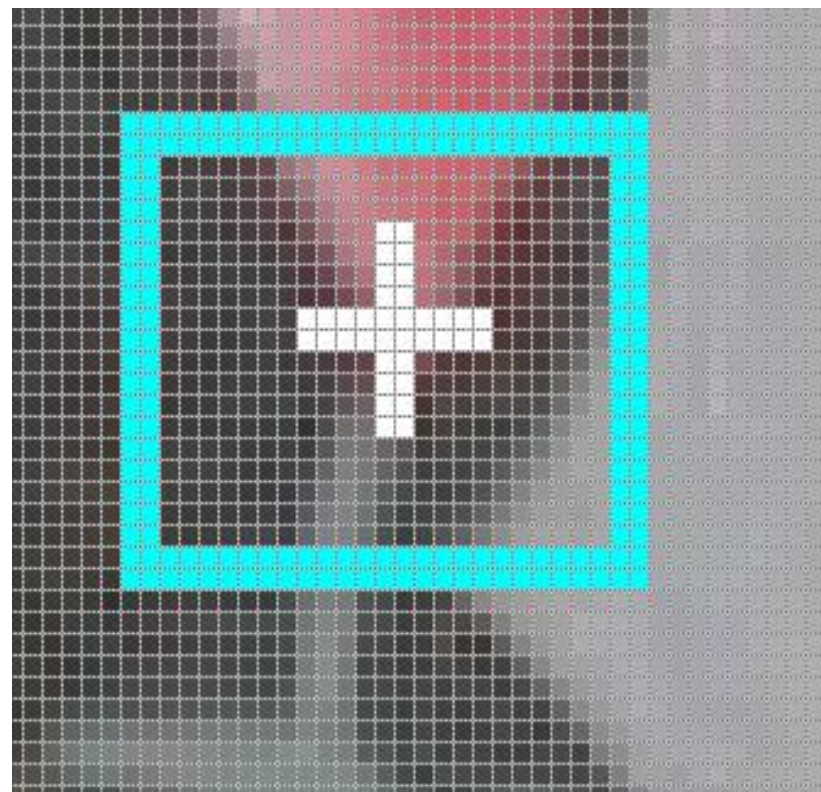
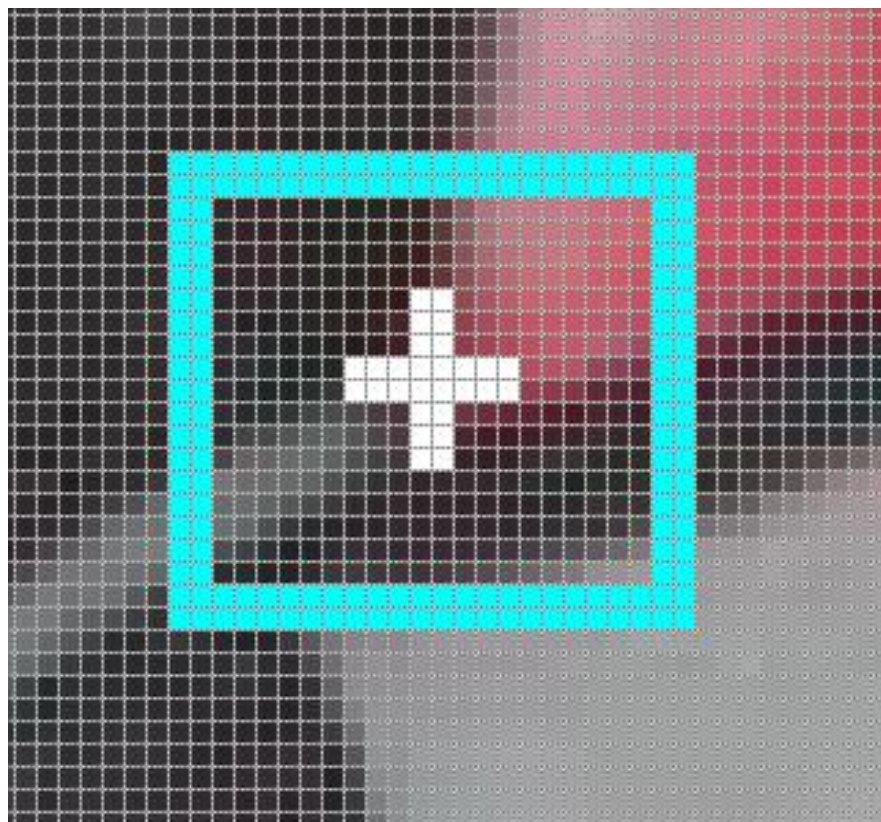
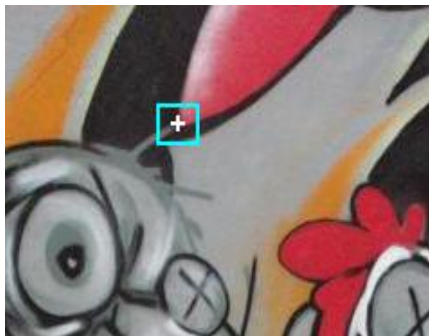
Radiometric Differences

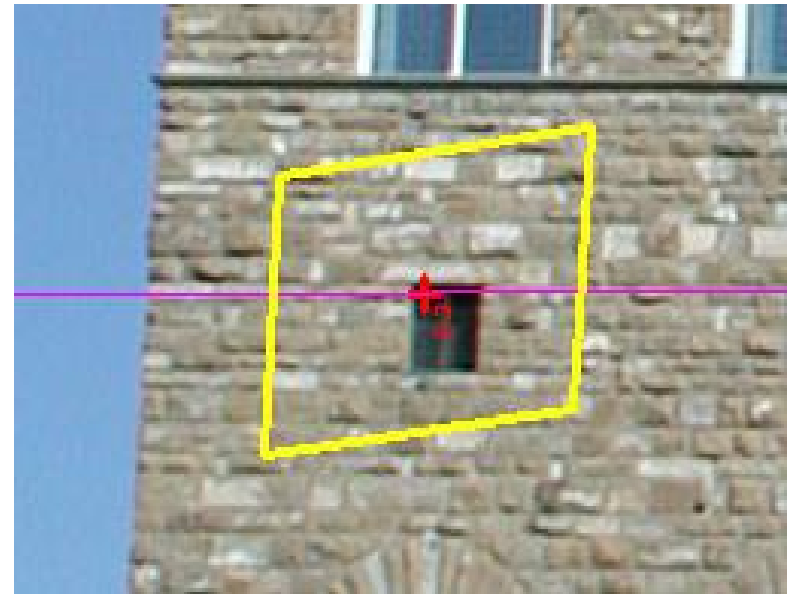


Left Image



Right Image





最小二乘影像匹配的数学模型

■ “灰度差的平方和最小”

$$S^2 = |X - Y|^2 = (x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + \dots + (x_N - y_N)^2 = \min$$

$$\sum v^2 = \min$$

■ 仅仅认为影像灰度只存在偶然误差

$$n_1 + g_1(x, y) = n_2 + g_2(x, y)$$

$$v = g_1(x, y) - g_2(x, y)$$

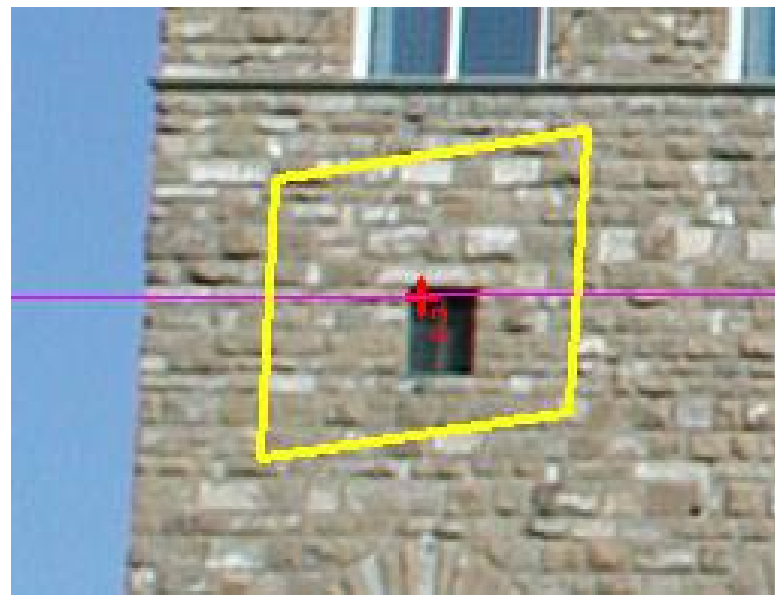
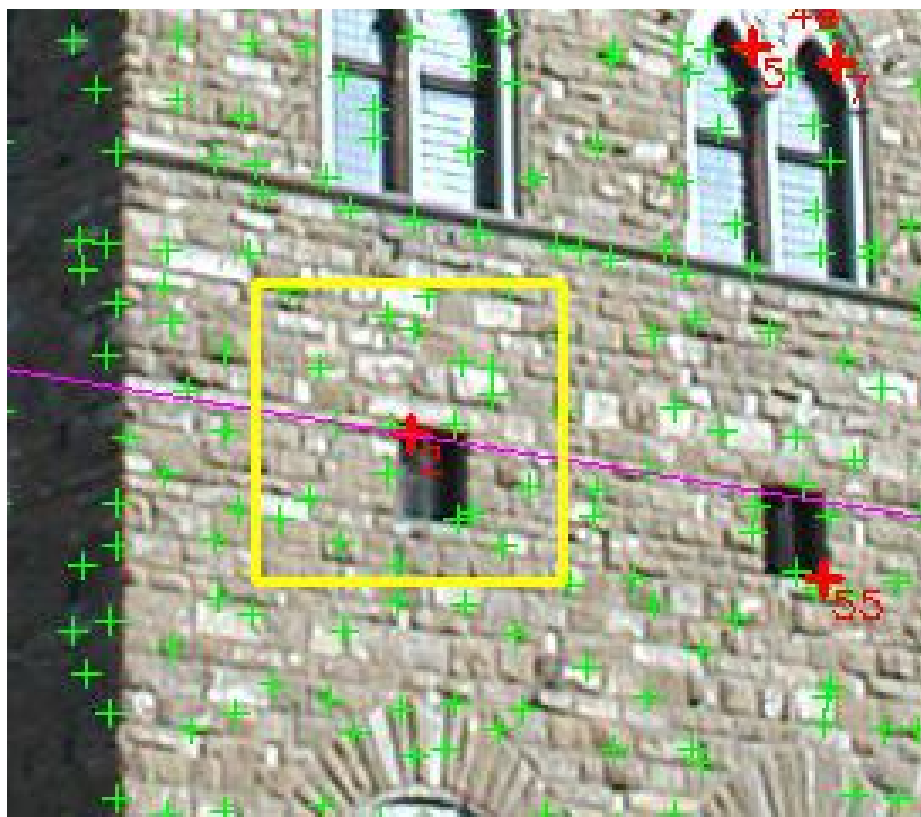
按 $\sum vv = \min$ 原则进行影像匹配的数字模型。若在此系统中引入系统变形的参数，按 $\sum vv = \min$ 的原则，解求变形参数，就构成了最小二乘影像匹配系统。

灵活, 可靠和高精度是优点, 缺点是, 如当初始值不太准时, 系统的收敛性等问题有待解决。

影像灰度的系统变形：产生影像灰度分布之间的差异。

辐射畸变：
$$h_0 + h_1 g_2(x_2, y_2)$$

几何畸变：
$$\begin{cases} x_2 = a_0 + a_1 x + a_2 y \\ y_2 = b_0 + b_1 x + b_2 y \end{cases}$$



同时考虑到辐射畸变和 几何畸变的影响可得 :

$$g_1(x, y) + n_1(x, y) = h_0 + h_1 g_2(a_0 + a_1 x + a_2 y, b_0 + b_1 x + b_2 y) + n_2(x, y)$$

线性化后得误差方程式 为:

$$v = c_1 dh_0 + c_2 dh_1 + c_3 da_0 + c_4 da_1 + c_5 da_2 + c_6 db_0 + c_7 db_1 + c_8 db_2 - \Delta g$$

式中未知数是待定参数 的改正值,初值分别为:

$$h_0 = 0; h_1 = 1; a_0 = 0; a_1 = 1; a_2 = 0; b_0 = 0; b_1 = 0; b_2 = 1$$

观测值 Δg 是相应像素的灰度差 .误差方程式的系数为 :

$$c_1 = 1; c_2 = g_2; c_3 = \frac{\partial g_2}{\partial x_2} \cdot \frac{\partial x_2}{\partial a_0} = \dot{g}_x;$$

$$c_4 = \frac{\partial g_2}{\partial x_2} \cdot \frac{\partial x_2}{\partial a_1} = x \dot{g}_x; c_5 = \frac{\partial g_2}{\partial x_2} \cdot \frac{\partial x_2}{\partial a_2} = y \dot{g}_x;$$

$$c_6 = \frac{\partial g_2}{\partial y_2} \cdot \frac{\partial y_2}{\partial b_0} = \dot{g}_y; c_7 = \frac{\partial g_2}{\partial y_2} \cdot \frac{\partial y_2}{\partial b_1} = x \dot{g}_y;$$

$$c_8 = \frac{\partial g_2}{\partial y_2} \cdot \frac{\partial y_2}{\partial b_2} = y \dot{g}_y;$$

$$v = c_1 dh_0 + c_2 dh_1 + c_3 da_0 + c_4 da_1 + c_5 da_2 + c_6 db_0 + c_7 db_1 + c_8 db_2 - \Delta g$$

$$c_1 = 1;$$

$$c_2 = g_2;$$

$$c_3 = \dot{g}_x;$$

$$c_4 = x\dot{g}_x;$$

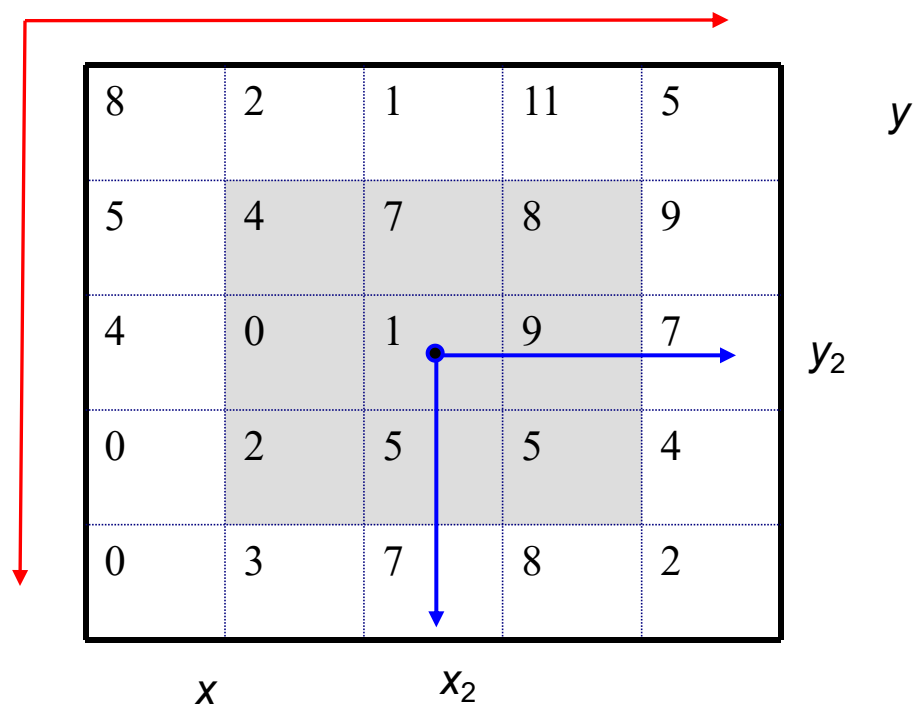
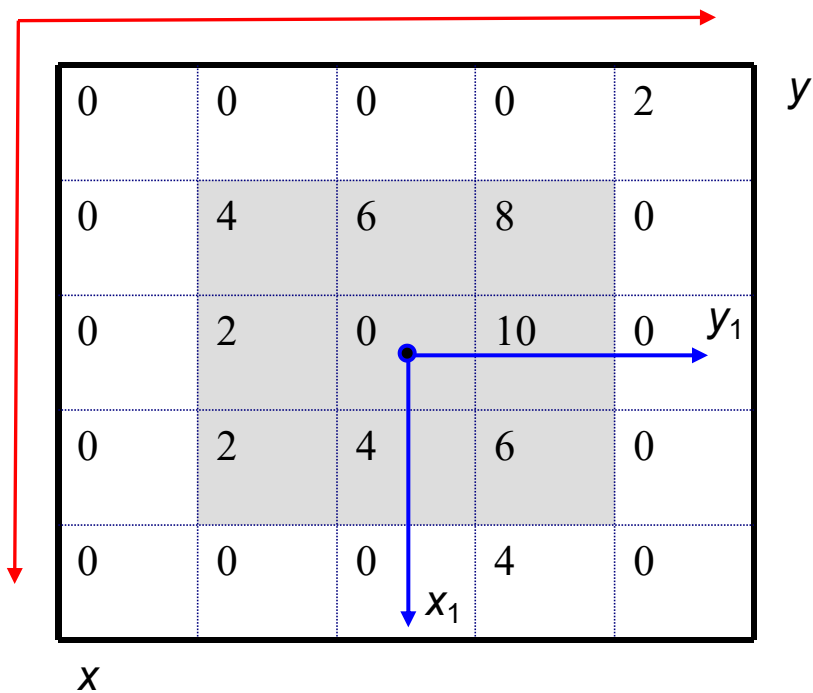
$$c_5 = y\dot{g}_x;$$

$$c_6 = \dot{g}_y;$$

$$c_7 = x\dot{g}_y;$$

$$c_8 = y\dot{g}_y;$$

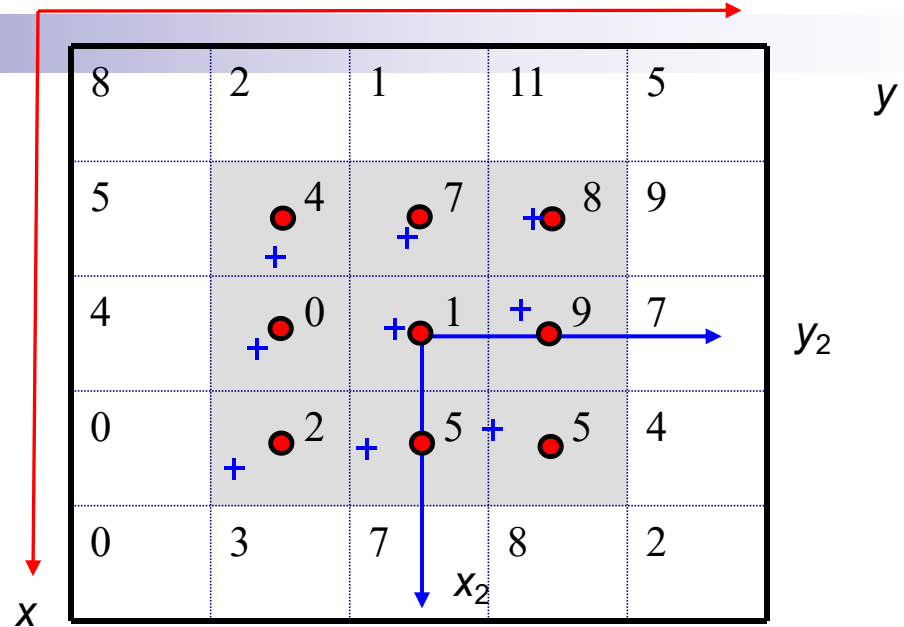
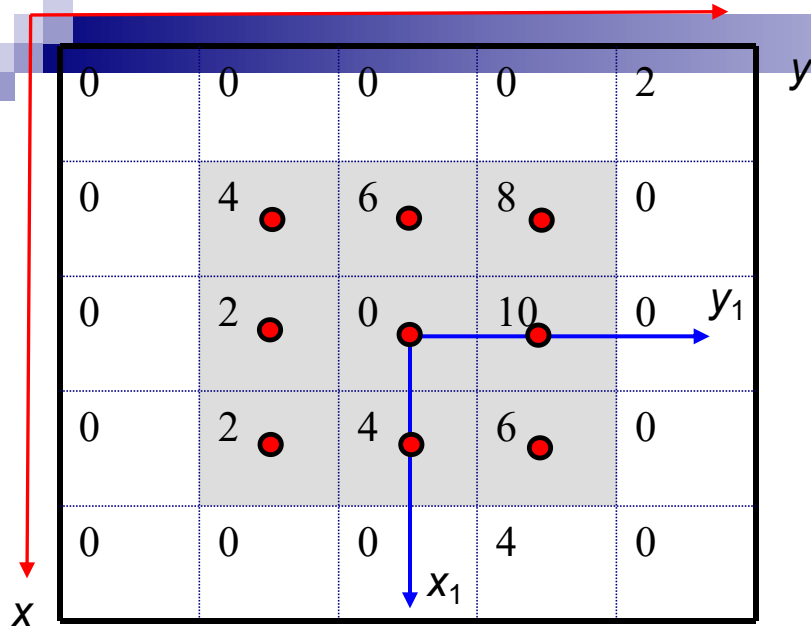
$$V = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{18} \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{28} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_{91} & C_{92} & \dots & C_{98} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} dh_0 \\ dh_1 \\ da_0 \\ da_1 \\ da_2 \\ db_0 \\ db_1 \\ db_2 \end{bmatrix} - \Delta g$$



$xa1=80, ya1=2190; xa2=83, ya2=1020$ (单位: pixel)。

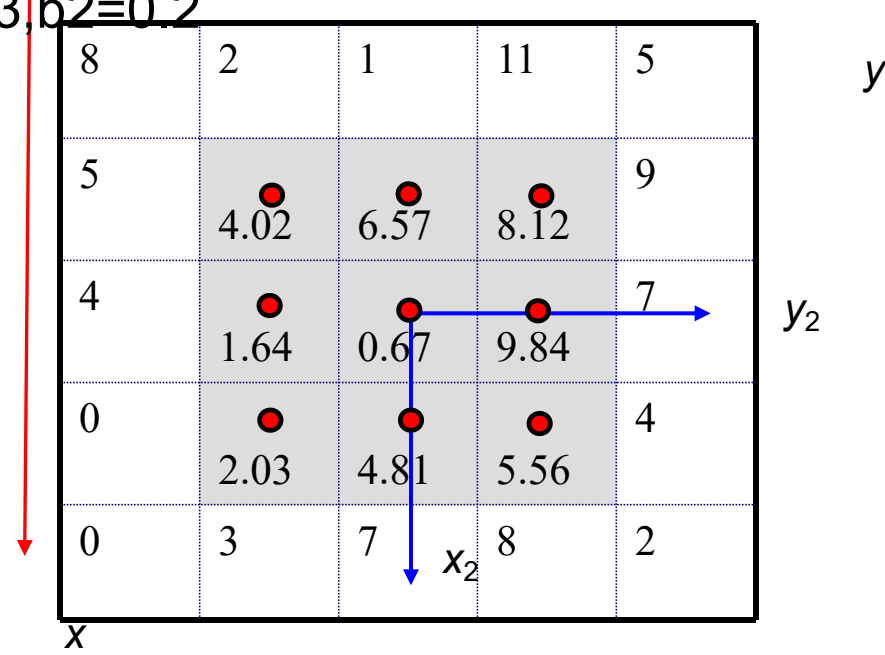
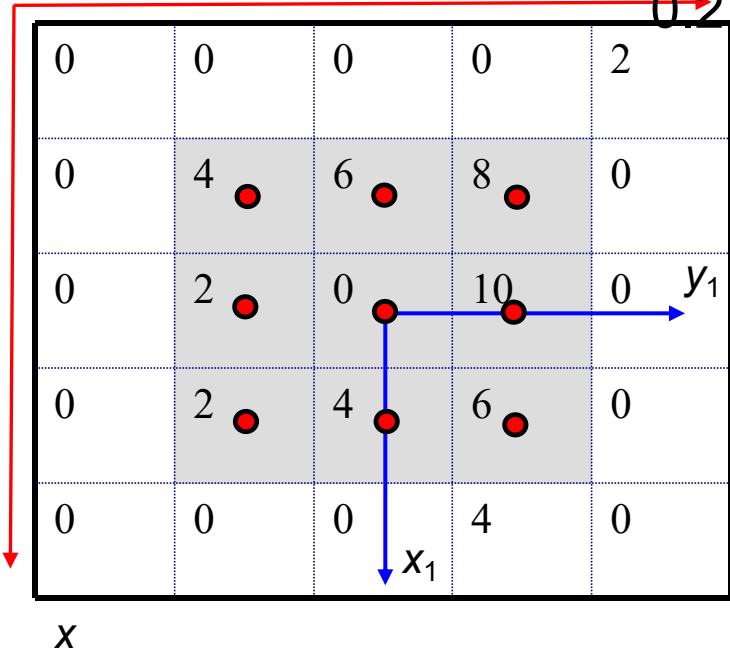
初次迭代初始值: $h_0=0, h_1=1, a_0=0, a_1=1, a_2=0, b_0=0, b_1=0, b_2=1$

$$c_1 = 1; c_2 = g_2; c_3 = \dot{g}_x; c_4 = x\dot{g}_x; c_5 = y\dot{g}_x; c_6 = \dot{g}_y; c_7 = x\dot{g}_y; c_8 = y\dot{g}_y;$$

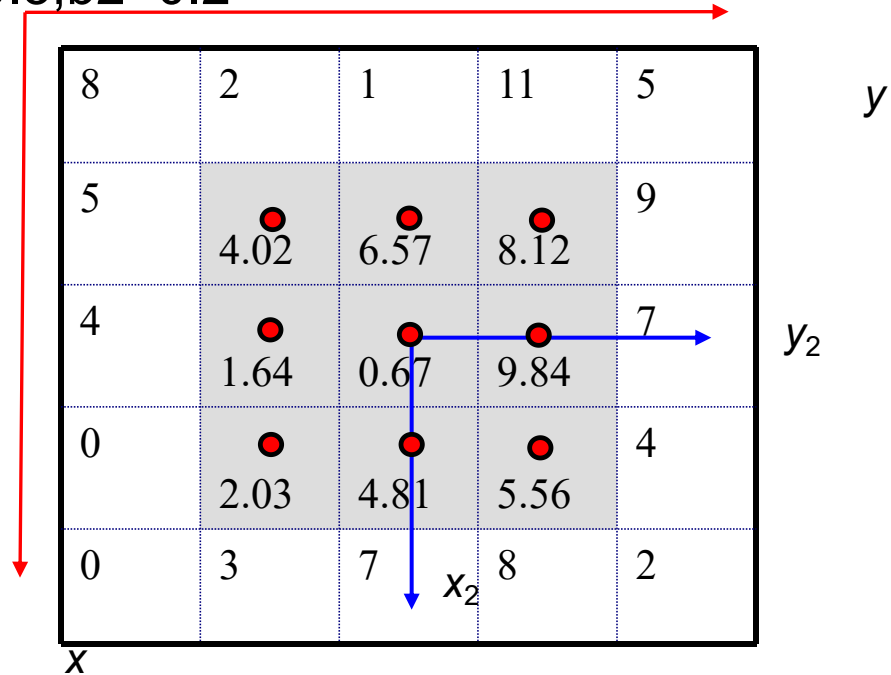
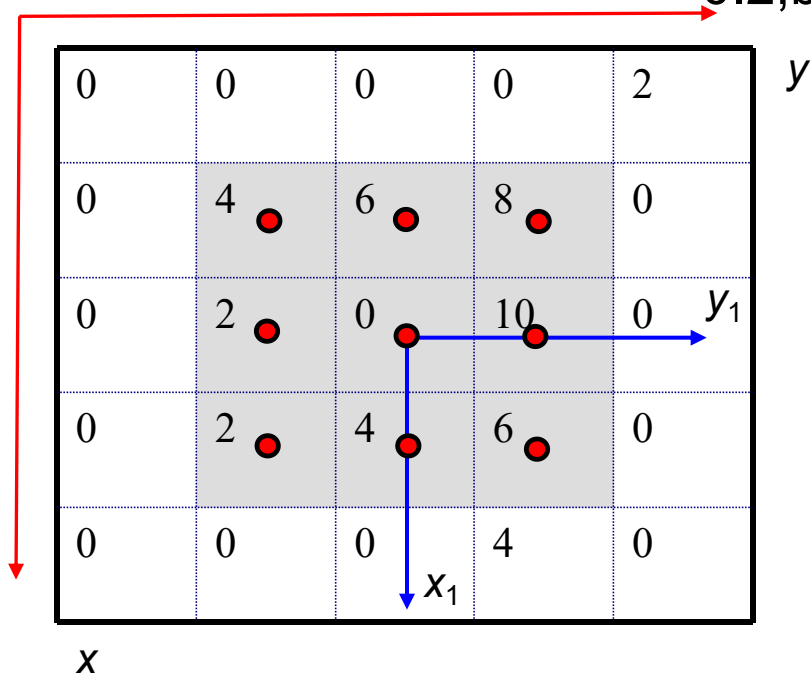


第1次迭代结果: $h_0=0.6, h_1=0.3, a_0=0.4, a_1=0.3, a_2=0.1, b_0=-$

$0.2, b_1=0.3, b_2=0.2$



最终迭代结果: $h_0=0.6, h_1=0.3, a_0=0.4, a_1=0.3, a_2=0.1, b_0=-0.2, b_1=0.3, b_2=0.2$



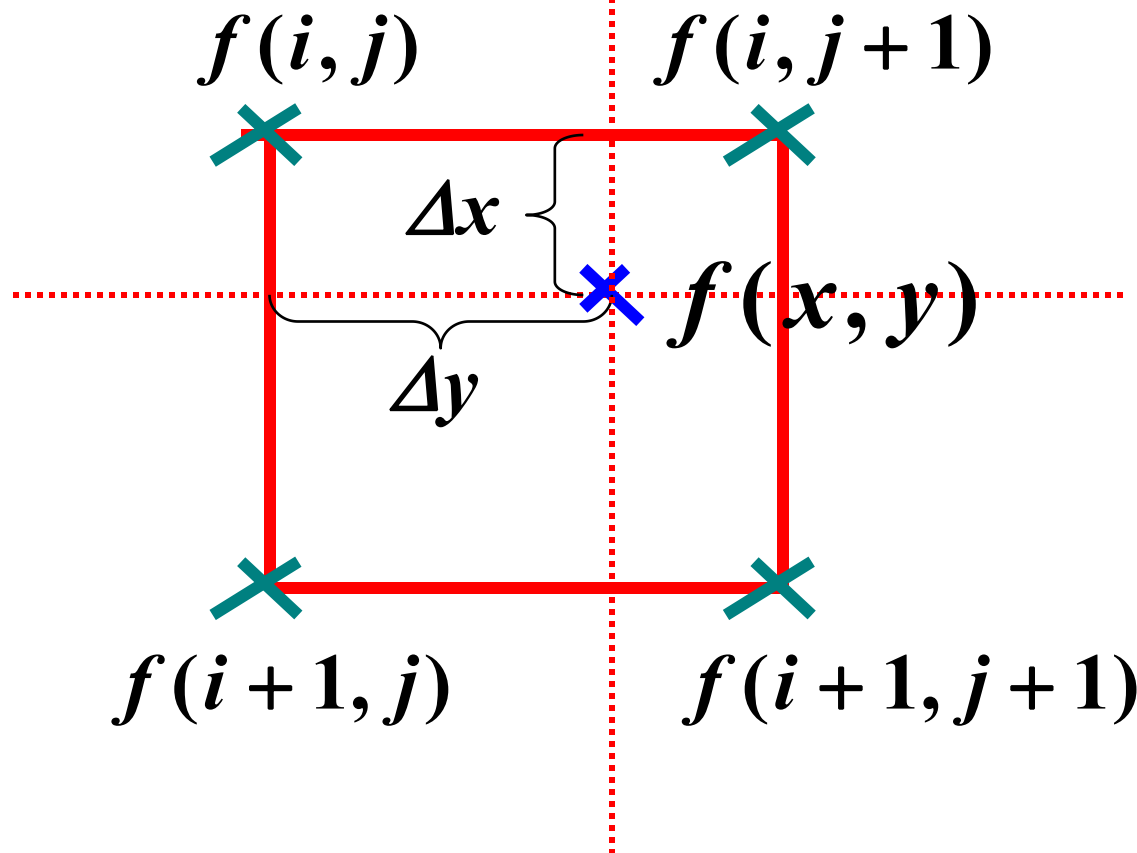
$xa_1=80, ya_1=2190; xa_2=83, ya_2=1020$ (单位: pixel)。

$$x_i = \sum x \cdot \dot{g}_x^2 / \sum \dot{g}_x^2$$

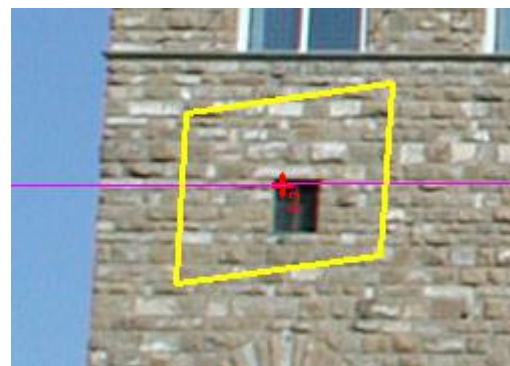
$$y_i = \sum y \cdot \dot{g}_y^2 / \sum \dot{g}_y^2$$

$$x_2 = a_0 + a_1x + a_2y$$

$$y_2 = b_0 + b_1x + b_2y$$



$$f(x, y) = (1 - \Delta x)(1 - \Delta y) \cdot f(i, j) + (1 - \Delta x)\Delta y \cdot f(i, j + 1) + \Delta x(1 - \Delta y) \cdot f(i + 1, j) + \Delta x\Delta y \cdot f(i + 1, j + 1)$$



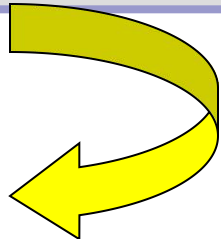
$h_0=0.032, h_1=1.08, a_0=-0.21, a_1=1.13, a_2=-0.06, b_0=-0.31, b_1=-0.16, b_2=0.94$ 。



$\rho=0.945$

最小二乘影像匹配的具体计算过程

■几何变形改正。根据几何变形改正参数 $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$ 将左方影像窗口的影像坐标变换至右方影像阵列：

$$\begin{aligned}x_2 &= a_0 + a_1x + a_2y \\y_2 &= b_0 + b_1x + b_2y\end{aligned}$$


■重采样。由于换算所得之坐标 x_2, y_2 一般不可能是右方影像阵列中的整数行列号，因此重采样是必须的。

■ **辐射畸变改正**。利用由最小二乘影像匹配所求得辐射畸变改正参数 h_0 , h_1 ；对上述重采样的结果作辐射改正

■ **若相关系数**小于前一次迭代后所求得的相关系数，则可认为迭代结束。也可以根据几何变形参数是否小于某个预定的阈值。

■ 计算最佳匹配的点位 . 可用梯度的平方为权, 在左方影像窗口内对坐标作加权平均:

匹配精度取决于影像灰度的梯度

$$x_i = \sum x \cdot g_x^2 / \sum g_x^2$$

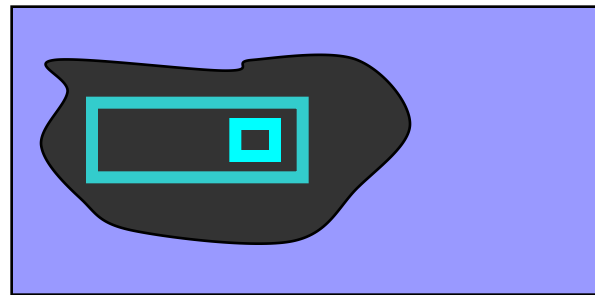
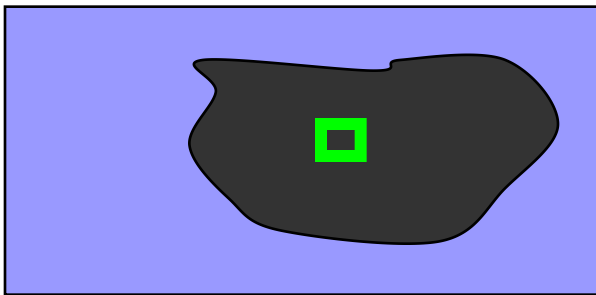
$$y_i = \sum y \cdot g_y^2 / \sum g_y^2$$

$$x_2 = a_0 + a_1 x + a_2 y$$

$$y_2 = b_0 + b_1 x + b_2 y$$

■ 影像匹配的精度与相关系数有关，相关系数愈大则精度愈高。它与影像窗口的“信噪比”有关，信噪比愈大，则匹配的精度愈高。

■ 影像匹配的精度还与影像的纹理结构有关，标窗口内灰度没有变化时，则无法进行影像匹配。



最小二乘影像匹配

问题的引出：匹配怎样达到子像素精度？

- 最小二乘影像匹配 (Least Squares Image Matching)
- 是由德国Stuttgart大学Ackermann教授提出的一种高精度影像匹配算法
- 影像灰度的系统变形
 - 1、辐射畸变
 - 2、几何畸变
- 引入变形参数，该方法的影像匹配可以达到 $1/10$ 甚至 $1/100$ 像素的高精度，也即可以达到子像素级 (SubPixel)。

最小二乘影像相关

- ❑ **最小二乘相关原理**：灰度差的平方和最小，即 $\sum VV \Rightarrow Min$
- ❑ **最小二乘相关特点**：在相关计算中引入一些变换参数作为待定值，直接纳入到最小二乘法解算之中，以抵偿两个相关窗口之间的辐射及几何差异，所以相关精度很高（子像素精度）。
- ❑ 另外，在最小二乘匹配中可方便地引入粗差探测，从而大大提高匹配的可靠性

仅考虑影像相对位移的一维最小二乘匹配

左、右像片灰度函数分别为 $g_1(x), g_2(x)$

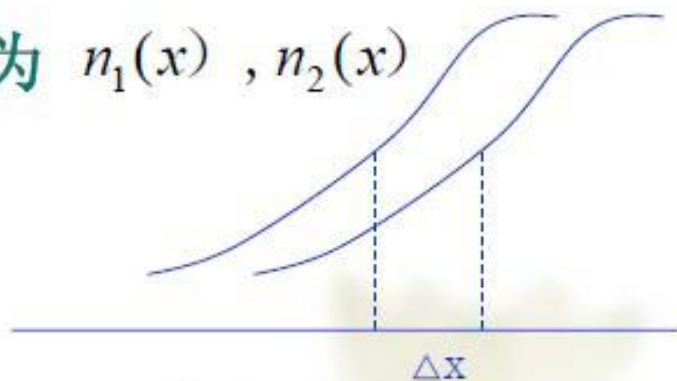
■ $g_2(x)$ 相对于 $g_1(x)$ 仅有相对位移 Δx

■ 仅考虑偶然误差（随机噪声）分别为 $n_1(x), n_2(x)$

$$g_1(x) + n_1(x) = g_2(x + \Delta x) + n_2(x)$$

$$\text{令 } v(x) = n_1(x) - n_2(x)$$

$$\text{则 } v(x) = g_2(x + \Delta x) - g_1(x)$$



线性化

$$v(x) = \dot{g}_2(x) \cdot \Delta x - [g_1(x) - g_2(x)] \quad \dot{g}_2(x) = \frac{g_2(x + \Delta) - g_2(x - \Delta)}{2\Delta}$$

Δ 为采样间隔，令 $g_1(x) - g_2(x) = \Delta g$ 误差方程： $v = \dot{g}_2 \cdot \Delta x - \Delta g$

按最小二乘原则： $\sum v w = \sum (n_1(x_i) - n_2(x_i))^2 = \min$

$\Delta x = \sum \dot{g}_2 \cdot \Delta g / \sum \dot{g}_2^2$ 取一个小窗口，窗口内每个元素列一个误差方程

解得 Δx 后，对 g_2 进行重采样，反复迭代解求，必须已知初匹配的结果

最小二乘影像相关算法

❑ 最小二乘影像相关法不足：

- ✓ 最小二乘相关计算较复杂
- ✓ 最小二乘相关需要比较准确的初值，即拉入范围小，否则会失去相关

最小二乘影像相关算法

□ 影像匹配的主要应用：

- ✓ 数字高程模型DEM的生产；
 - ✓ 像片连接点的自动选取；
 - ✓ 摄影测量点位加密；
 - ✓ 高精度点位测定（工业上）；
- 等等

最小二乘影像相关算法

- ❑ 最小二乘匹配不仅可以解决“单点”的影像匹配问题，求其“视差”，也可以直接解求其空间坐标，而且也可以同时求解待定点的空间坐标与影像的方位元素，还可以同时解决：
 - ✓ 多点影像匹配 (multi-point matching)
 - ✓ 多片影像匹配 (multi-photo matching)

最小二乘影像相关算法

分析：

基于灰度的影像匹配和绝大多数基于特征的影像匹配，都是基于“单点”的影像匹配或基于局部影像的匹配。

不足：

匹配结果的正确性与周围的点并无联系或只有微弱的联系，经常会在匹配结果之间出现矛盾。

基于特征的影像匹配

❑ 基于特征的影像匹配

(Feature-based image matching)

❑ 为什么要引入基于特征的影像匹配？

分析：基于灰度的影像匹配虽然精度很高，但存在以下不足

- ✓ 需要比较准确的初始匹配位置值；
- ✓ 信息贫乏地区相关易失败；
- ✓ 匹配窗口大小的选择也很困难；
- ✓ 仅比较左右窗口灰度矩阵的相似程度而根本不分析和不考虑窗口的影像是什么，因而可以说是一种盲相关。

基于特征的影像匹配

□ 什么是特征？

举例：人（脸）的特征

从整体到具体

基于特征的影像匹配

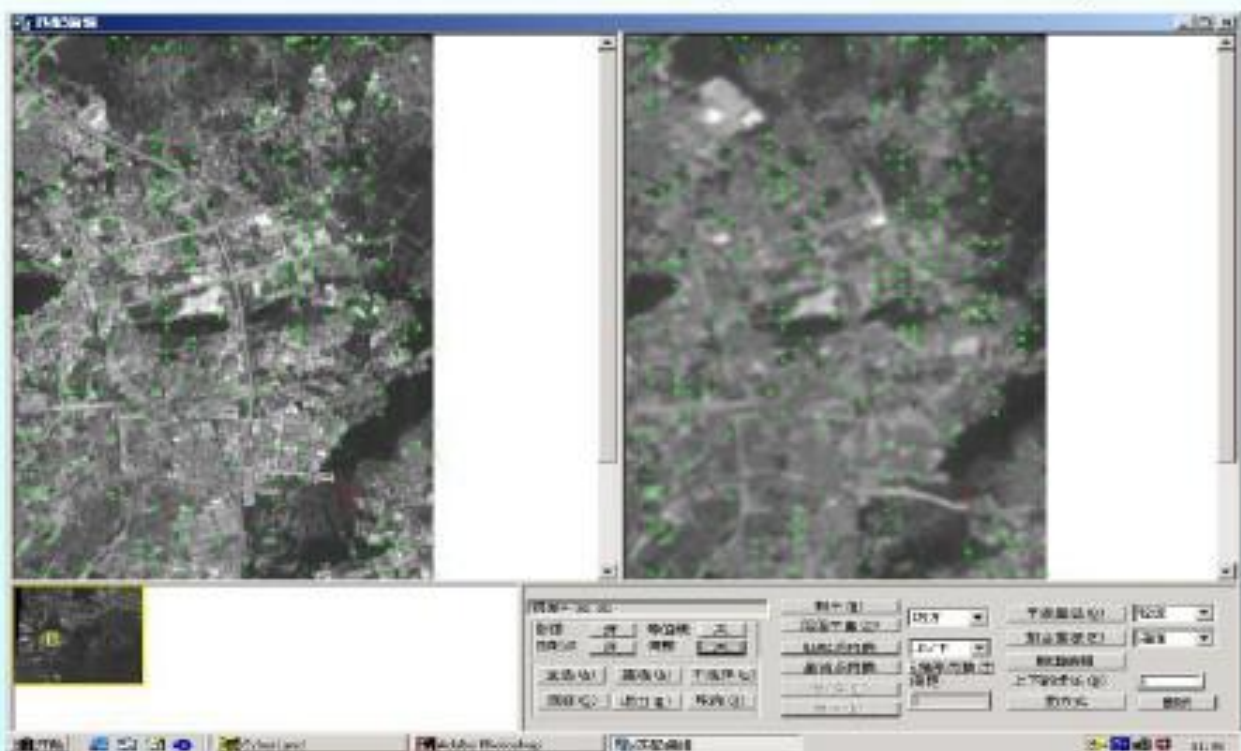
☐ 影像的主要特征

- ✓ 点特征
 - ✓ 线特征
 - ✓ 面特征
 - ✓ 色彩特征
 - ✓ 纹理特征
 - ✓ 阴影特征
 - ✓ 立体特征
 - ✓ 运动特征
- 等等



基于特征的影像匹配

- 基于特征匹配的基本思想：首先利用影像分析的方法在像片上提取特征，然后再找出两像片间相匹配的（即同名的）特征

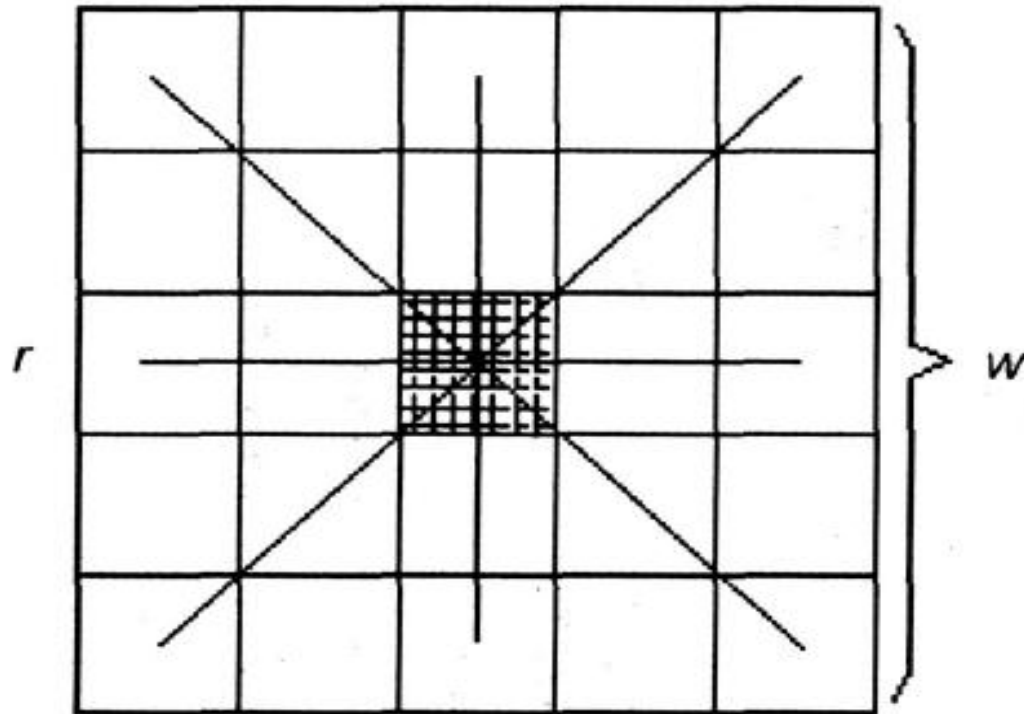


用于匹配的特征应具有唯一性和物理意义。

常用的点特征提取算子

1、Moravec算子

利用灰度方差提取特征的算子，其出发点是特征点在所有方向上应有最大的反差



(1) 计算各像元的兴趣值 IV

在以像素(c,r)为中心的 $w \times w$ 的影像窗口中(如 5×5 的窗口),计算图1所示四个方向相邻像素灰度差的平方和:

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= \sum_{i=-k}^{k-1} (g_{c+i,r} - g_{c+i+1,r})^2 \\ V_2 &= \sum_{i=-k}^{k-1} (g_{c+i,r+i} - g_{c+i+1,r+i+1})^2 \\ V_3 &= \sum_{i=-k}^{k-1} (g_{c,r+i} - g_{c,r+i+1})^2 \\ V_4 &= \sum_{i=-k}^{k-1} (g_{c+i,r-i} - g_{c+i+1,r-i-1})^2 \end{aligned} \right\}$$

$$IV_{c,r} = \min \{ V_1, V_2, V_3, V_4 \}$$

(2) 给定一经验阈值，将兴趣值大于阈值的点作为候选点。

(3) 选取候选点中的极值点作为特征点。

综上所述，Moravec算子是在四个主要方向上，选择具有最大——最小灰度方差的点作为特征点。

常用的点特征提取算子

2、Forstner算子

**在影像中寻找具有最可能小且近似圆的误差椭圆的点
作为特征点**

基于特征的影像匹配

- 可利用的特征包括两大类：
 - ✓ **局部特征**：点特征、边缘、线段、小面、局部能量特征等（利用点的灰度阶跃特性、边缘和线段的走向、长度、弧度、曲率以及区域的平均亮度等属性）
 - ✓ **全局特征**：多边形、图形结构等（利用局部特征之间的结构关系，如多边形的夹角、边缘间的最短距离等属性）

基于特征的影像匹配

□ 基于特征影像方法的优缺点：

优越性：

- ✓ 不需要很准确的初始匹配位置值；
(然而，一些先验信息，如近似定向参数、影像重叠度等仍是必须的)
- ✓ 可以用一些快速的算法加以实现，而且出错和失去相关的可能性较小。

基于特征的影像匹配

不足之处：

- ✓ 特征的提取和定位过程直接影响特征匹配结果的精确性
- ✓ 特征匹配的精度较低，通常作为一种粗相关为精相关提供初值
- ✓ 特征在图像中的稀疏性决定了特征匹配只能得到稀疏的视场差，不利于DEM的生成和内插
- ✓ 特征的提取和定位过程直接影响特征匹配结果的精确度

基于特征的影像匹配

说明：

在很多场合，影像匹配的目的不一定是用于地形测绘，也就不一定要生成密集的描述空间目标的格网点，而只需要配准某些“感兴趣”的点、线、面。

特征匹配在计算机视觉界应用更广泛。
(Primitive-based Matching)

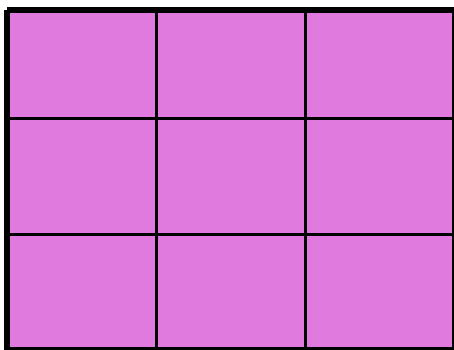
8.5 同名核线的确定与核线相关

基于核线的影像匹配

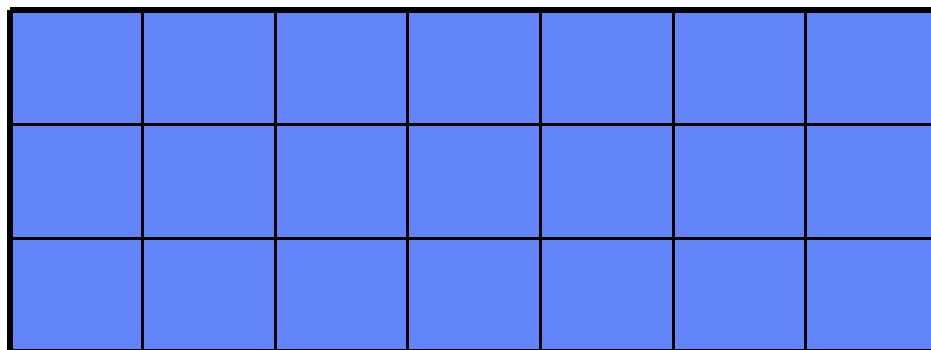
前面讨论了基于二维影像窗口的相关算法。如果能够利用空间成像的某些性质，将二维相关转化为一维相关，就会使得影像匹配的效率与可靠性都得到提高。那么这个空间成像的某些性质具体是指什么呢？

一维相关

在核线影像上，只需要进行一维搜索



目标区



搜索区

主要内容

- 确定同名核线的两种方法
 - 基于影像几何纠正的核线解折关系
 - 基于共面条件的同名核线几何关系
- 核线的重排列（重采样）

一、核线的基本概念与性质

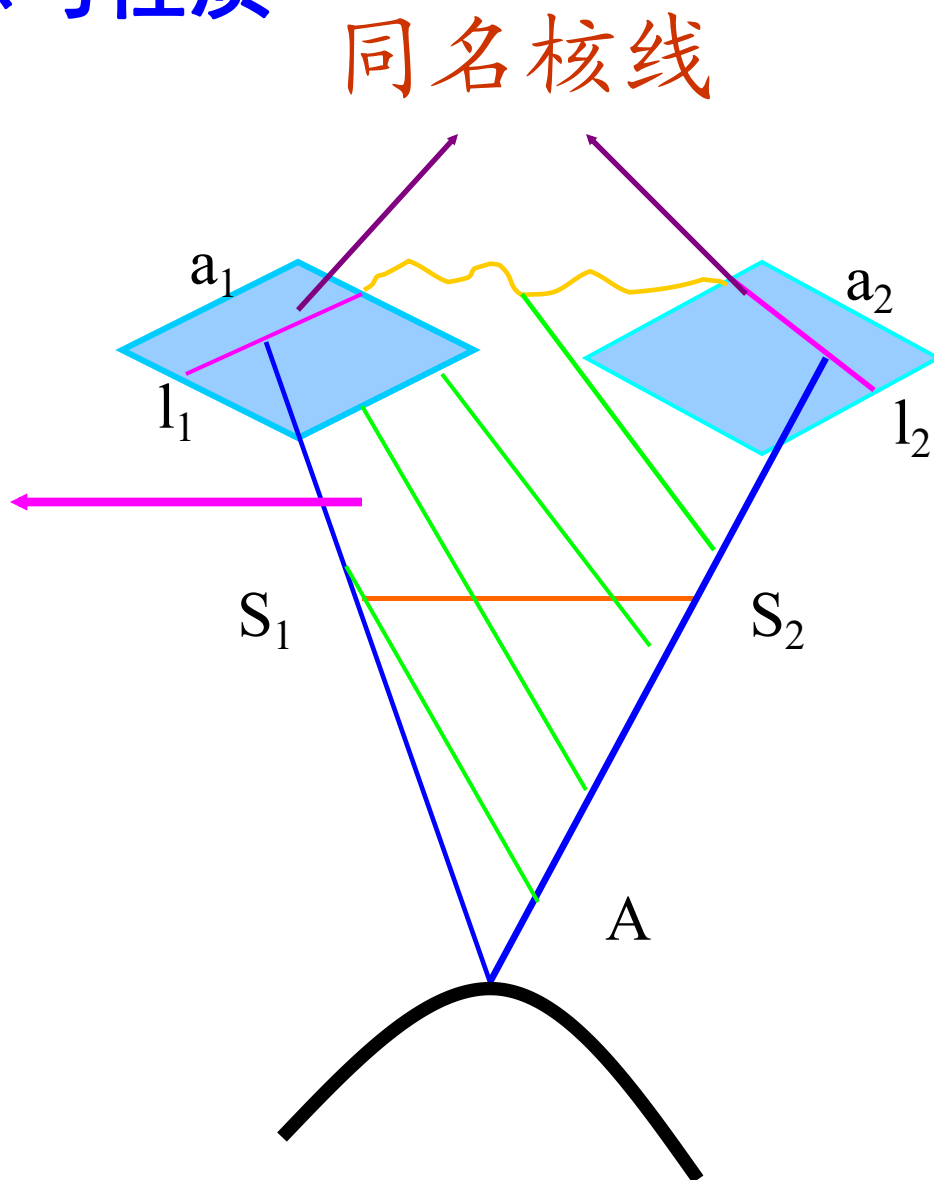
1、基本概念

通过摄影基线与地面所作的平面称为**核面**
核面与影像面交线称为**核线**

同名像点必定在**同名核线**上。

理想像对：平行于摄影基线的“相对水平”的像片对。

2、性质

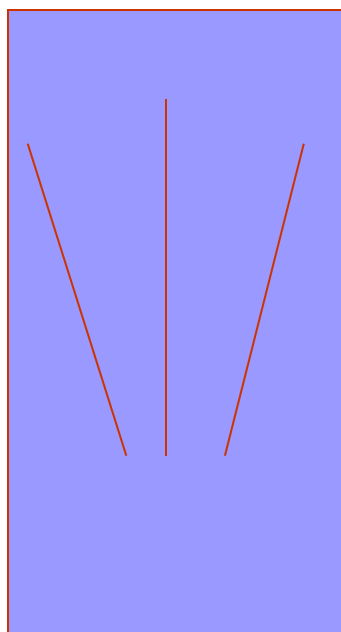


为了讨论核线的性质，先引入一个概念：

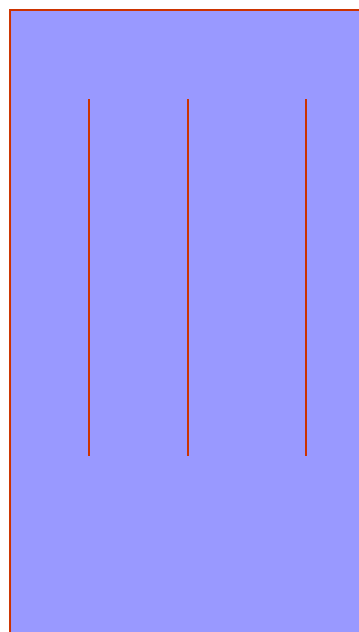
理想像对；平行于摄影基线的“相对水平”的影像对。

核线的基本性质可以归纳如下：

- (1) 在倾斜影像上的所有核线相互不平行，且交于核点（极点）。
- (2) 在理想影像平面上，所有核线相互平行，不仅同一影像面上的核线平行，而且影像对上的相应的核线也平行，上下视差为零，这一特性对于立体观测是十分有用的。
- (3) 左（右）影像上的某一点，其同名点必定在其右（左）影像上的同名核线上，这一特性是实现核线相关的基本依据。



倾斜影像

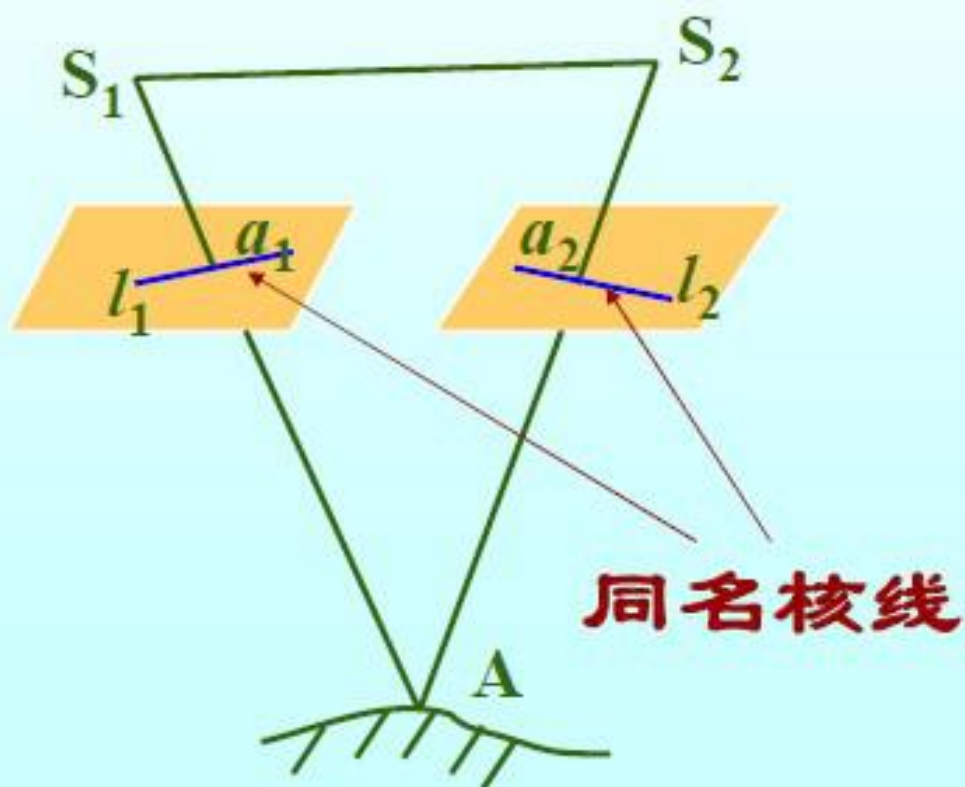
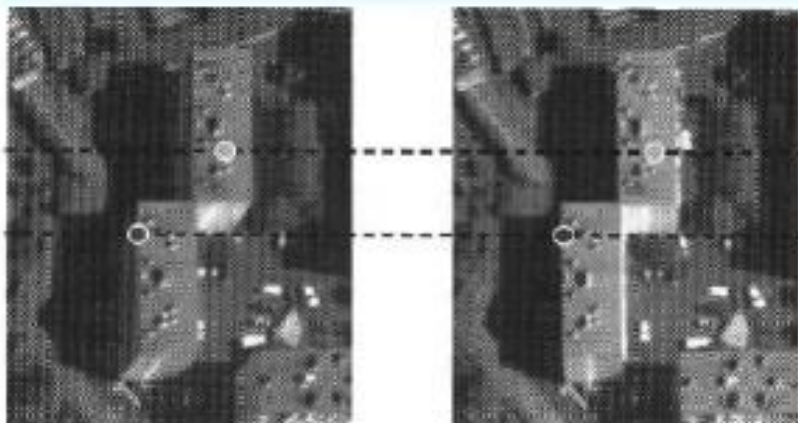


水平影像

- 倾斜像片上核线互不平行，交于核点
- 理想像对上，所有的核线平行，且同名像点无上下视差
- 同名像点一定位于同名核线上

确定同名核线的意义

意义：左片某核线上任意一点一定在右片的同名核线上。确定同名核线的目的是为了变二维相关为一维相关，减少搜索范围。



二、同名核线的确定方法

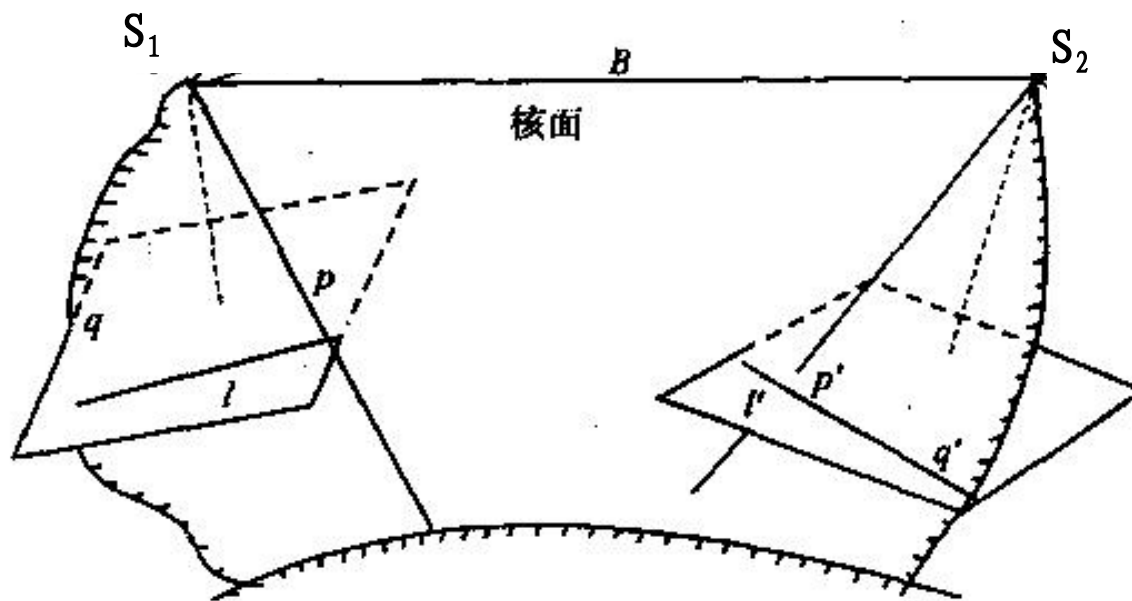
- 1、基于共面条件的同名核线几何关系
- 2、基于数字影像的几何纠正

二、同名核线的确定方法

1、基于共面条件的同名核线几何关系

思路：

直接
在斜
像上
获取
核线
影像



$$\vec{B} \cdot (\vec{S}_p \times \vec{S}_q) = 0$$

假设采用基线坐标系

$$\begin{vmatrix} B & 0 & 0 \\ u_p & v_p & w_p \\ u_q & v_q & w_q \end{vmatrix} = B \begin{vmatrix} v_p & w_p \\ v_q & w_q \end{vmatrix} = 0$$

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix}_{p,q} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ -f \end{bmatrix}_{p,q}$$

将上式展开:

$$\frac{v_p}{w_p} = \frac{v_q}{w_q} = \frac{b_1 x_q + b_2 y_q - b_3 f}{c_1 x_q + c_2 y_q - c_3 f} \implies y_q = \frac{v_p c_1 - w_p b_1}{w_p b_2 - v_p c_2} x_q + \frac{w_p b_3 - v_p c_3}{w_p b_2 - v_p c_2} f$$

$$y_q = (A/B)x_q + (C/B)f$$

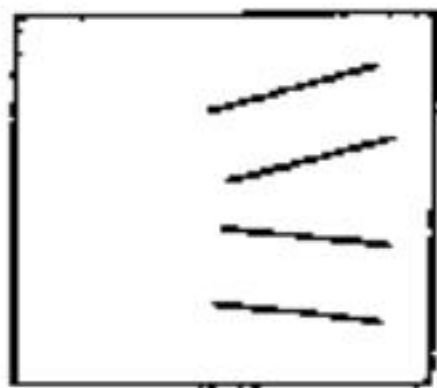
当给定 x_q ，就能求出相应的 y_q ，这样就能确定左核线。

同理，左像点 p 和右片上同名核线上任一点 p' 也应在同一核面上，有 $\vec{B} \cdot (\vec{Sp} \times \vec{Sp}') = 0$

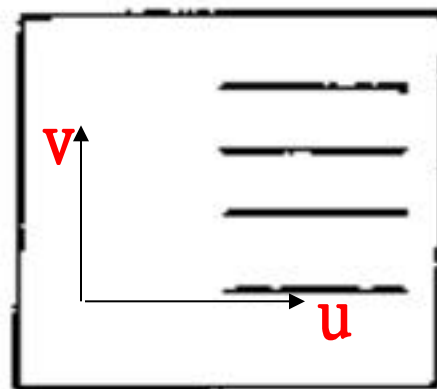
$$\begin{vmatrix} B & 0 & 0 \\ u_p & v_p & w_p \\ u_{p'} & v_{p'} & w_{p'} \end{vmatrix} = B \begin{vmatrix} v_p & w_p \\ v_{p'} & w_{p'} \end{vmatrix} = 0$$

$$y'_{p'} = \frac{v_p c'_1 - w_p b'_1}{w_p b'_2 - v_p c'_2} x'_{q'} + \frac{w_p b'_3 - v_p c'_3}{w_p b'_2 - v_p c'_2} f$$

2、基于数字影像几何纠正的核线解析关系



(a) 实际像片



(b) 水平像片

$V = \text{常数}$ ，则得到核线

基于影像几何纠正的核线解折关系

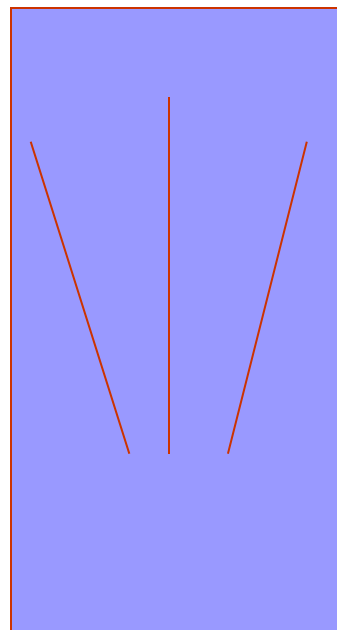
$$x = -f \cdot \frac{a_1 x_t + b_1 y_t - c_1 f}{a_3 x_t + b_3 y_t - c_3 f}$$

$$y = -f \cdot \frac{a_2 x_t + b_2 y_t - c_2 f}{a_3 x_t + b_3 y_t - c_3 f}$$

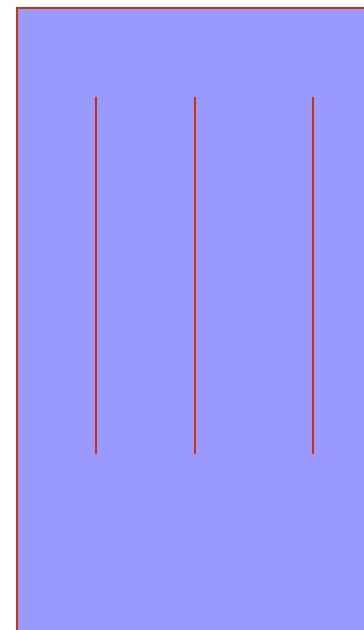
$$\{x_t, y_t, -f\},$$

$$\{a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2, a_3, b_3, c_3\}$$

$$\{x, y\}$$

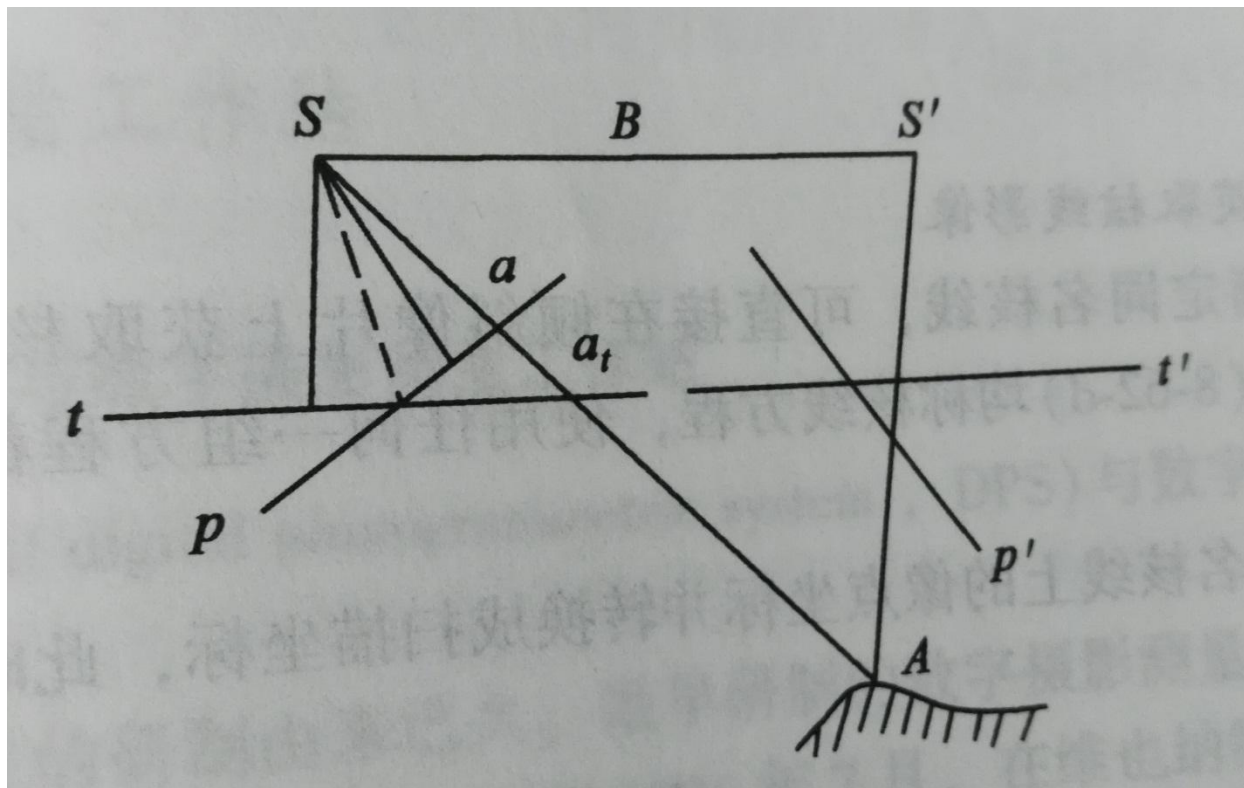


倾斜影像



水平影像

示意图



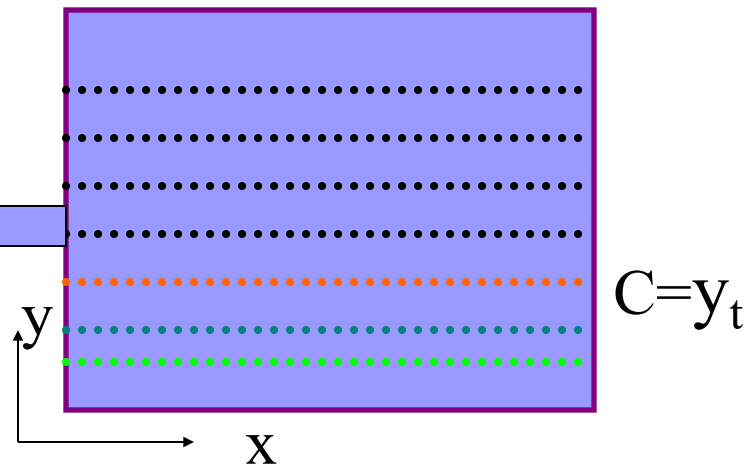
$$x = -f \cdot \frac{a_1 x_t + b_1 y_t - c_1 f}{a_3 x_t + b_3 y_t - c_3 f}$$
$$y = -f \cdot \frac{a_2 x_t + b_2 y_t - c_2 f}{a_3 x_t + b_3 y_t - c_3 f}$$

在“水平”影像上获取核线影像

y_t = 某常数即表示某一核线

$$x = -f \cdot \frac{a_1 x_t + b_1 y_t - c_1 f}{a_3 x_t + b_3 y_t - c_3 f}$$

$$y = -f \cdot \frac{a_2 x_t + b_2 y_t - c_2 f}{a_3 x_t + b_3 y_t - c_3 f}$$



$$x = -f \frac{d_1 x_t + d_2}{d_3 x_t + 1}$$
$$y = -f \frac{e_1 x_t + e_2}{e_3 x_t + 1}$$

$u=k\Delta$
采样间隔

同理可求得右片上的同名核线影像。

注意对于每一对同名核线，都有 $v'=v$

$$x' = -f \frac{a_1' u' + b_1' v' - c_1' f}{a_3' u' + b_3' v' - c_3' f}$$
$$y' = -f \frac{a_2' u' + b_2' v' - c_2' f}{a_3' u' + b_3' v' - c_3' f}$$

基于纠正法的核线影像生成:

在内定向的基础上,按照单独像对相对定向的方法进行相对定向,求得五个相对定向元素。

- 根据相对定向的结果,将原始影像的四个角点投影到核线影像平面上,以确定核线影像的范围。

$$u = -f \frac{a_1x + a_2y - a_3f}{c_1x + c_2y - c_3f}$$

$$v = -f \frac{b_1x + b_2y - b_3f}{c_1x + c_2y - c_3f}$$

- 等间隔取一系列的U值 $\Delta, 2\Delta, 3\Delta \dots$, 可得到一系列的像点坐标即倾斜像片上点的坐标 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots$, 将其转化成在扫描坐标系下的坐标。

$$x = \frac{d_1 u + d_2}{d_3 u + 1}$$

$$y = \frac{e_1 u + e_2}{e_3 u + 1}$$

- 灰度重采样，提取倾斜像片上点的灰度值赋给水平像片上相应点，则得到水平像片上的核线

$$g_0(\Delta, c) = g(x_1, y_1)$$

$$g_0(2\Delta, c) = g(x_2, y_2)$$

.....

$$g_0(n\Delta, c) = g(x_n, y_n)$$

由于在水平像片对上，同名核线的 v 坐标值相等，因此将

$v' = c$ 代入右片共线方程中，即能获得右片上的同名核线。

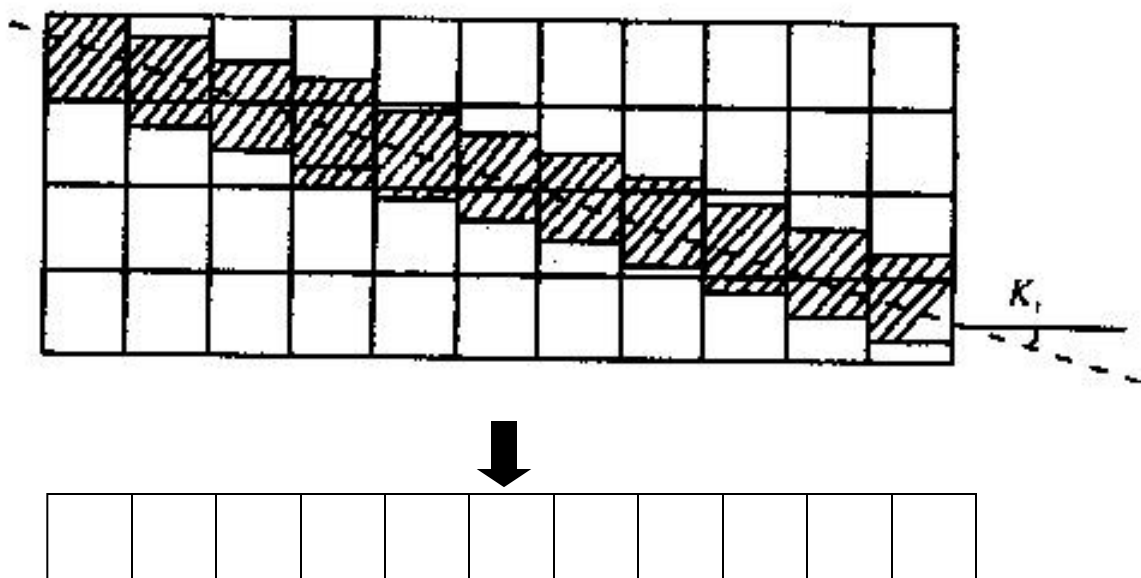
三、沿核线重采样，形成核线影像

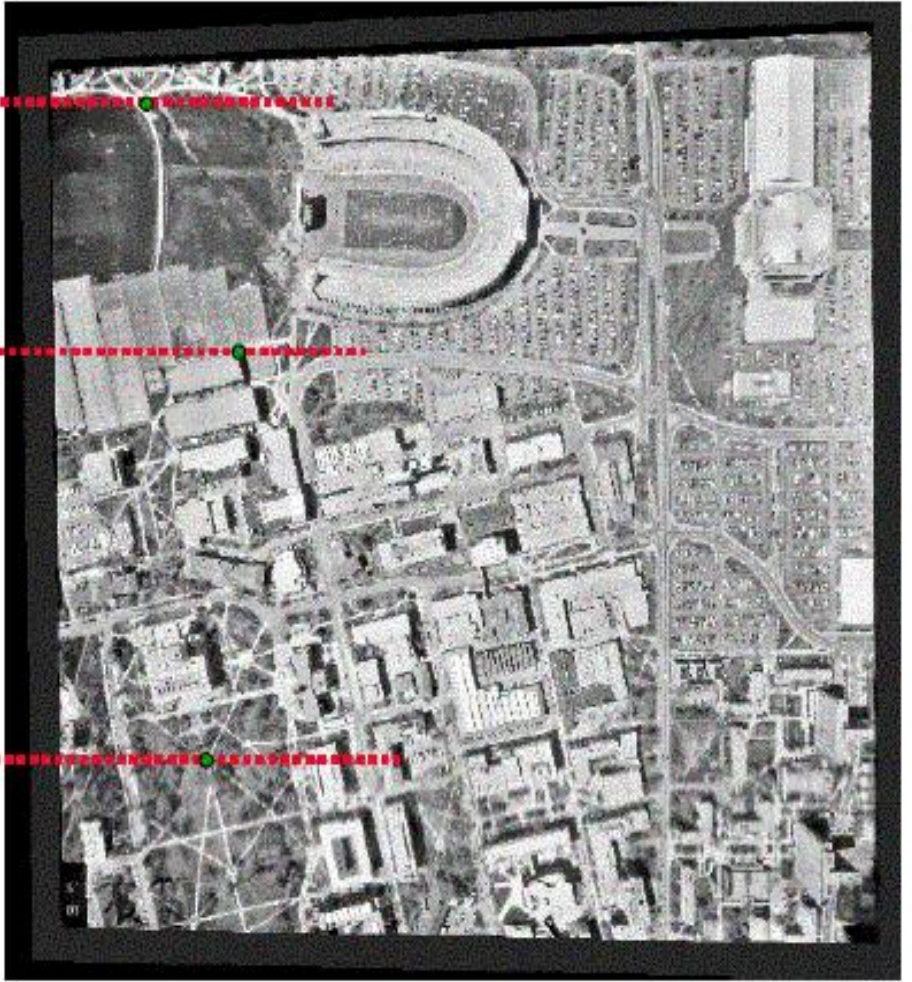
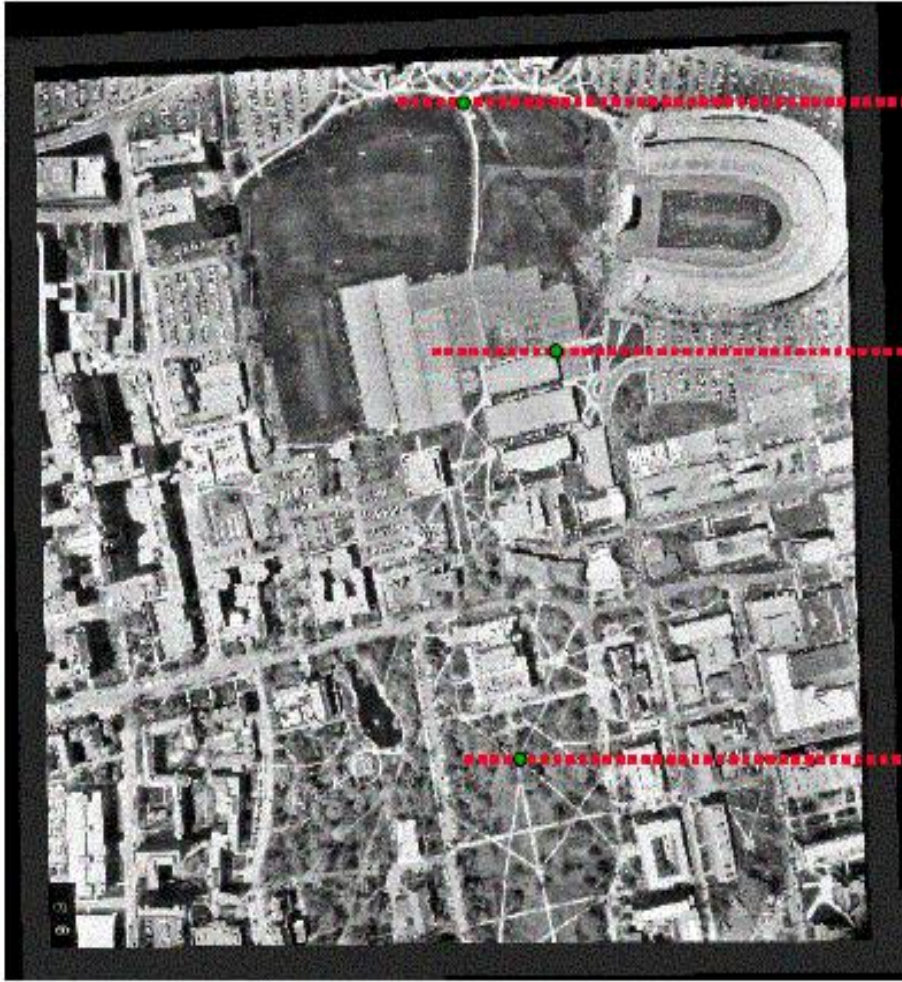
基于共面方程的核线影像的生成

- 利用核线方程得出核线上两点的坐标，确定原始影像上核线的方向

$$\tan K = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

- 确定像素的坐标，通过重采样，获取点的灰度值，并按水平方向排列，就能得到一条核线影像。





8.5 数字摄影测量系统

主要内容

- 概述
- 数字摄影测量工作站的组成与功能
- 数字摄影测量工作站简介

数字摄影测量系统

基于数字影像或数字化影像来完成摄影测量作业的所有软件、硬件组成的系统。

数字摄影测量系统发展

•60年代，第一台解析测图仪AP-1问世不久，美国也已研制了全数字化测图系统DAMC。

•1988年京都国际摄影测量与遥感协会第16届大会上展出了商用数字摄影测量工作站KERN DSP-1。

• 1992年8月在美国华盛顿第17届国际摄影测量与遥感大会上，已有多套较为成熟的产品展示，数字摄影测量工作站正在由试验阶段步入摄影测量的生产阶段。

•1996年7月，在维也纳17届国际摄影测量与遥感大会上，展出十几套数字摄影测量工作站，这表明数字摄影测量工作站已进入了使用阶段

一、数字摄影测量系统的组成

1、硬件

- ❖ 数字影像获取装置与成果输出设备(影像扫描数字化仪绘图仪)
- ❖ 计算机及其它外围设备立体观测装置 闪闭式立体眼睛及同步器手轮, 脚盘(编码器)(核心部分)

2、软件

- ❖ 操作系统
- ❖ 应用软件: 解析摄影测量软件、数字图象处理软件。

(1) 数字影像处理软件主要包括:

- 影像旋转
- 影像滤波
- 影像增强
- 特征提取

(2) 模式识别软件主要包括：

- 特征识别与定位，包括框标的识别与定位
- 影像匹配（同名点、线与面的识别）
- 目标识别

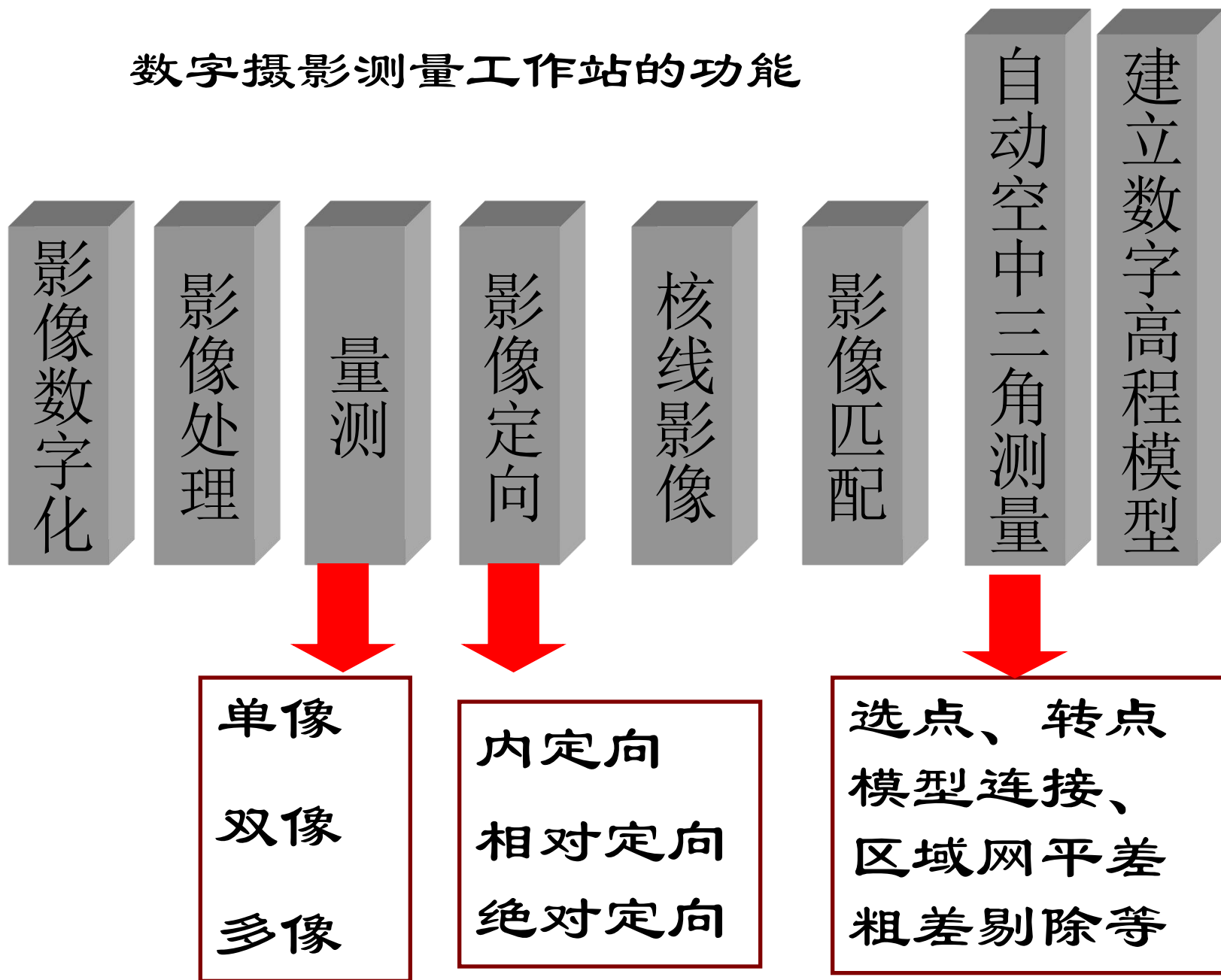
(3) 解析摄影测量软件主要包括：

- 定向参数计算，包括内定向、相对定向、绝对定向
- 空中三角测量解算
- 核线关系解算；坐标计算与变换
- 数值内插；数字微分纠正
- 投影变换

(4) 辅助功能软件主要包括

- 数据输入输出
- 数据格式转换
- 注记
- 质量报告
- 图廓整饰
- 人机交互

数字摄影测量工作站的功能



自动绘制等高线

制作正射影像

正射影像镶嵌与修补

数字测图

制作影像地图

制作透视图、景观图

制作立体匹配片

几何

色彩

无缝镶嵌

矢量数据

等高线

正射影像

全数字摄影测量系统



8.5 数字摄影测量系统

二、主要功能与产品

1、功能

1 影像数字化 2 影像处理 3 单片量测 4 多像量测 5 摄影测量解算 6 数字表面内插DEM 7 自动生成等高线 8 机助量测与解译 9 交互编译

2、产品

1 空中三角测量加密成果 2 数字地面模型 (DEM) 3 数字线划图 (DLG) 4 数字正射影像图 (DOM) 5 三维景观图 6 透视图 7 立体模型 8 各种工程设计所需要的三维空间信息 9 各类地理信息数据库所需要的空间信息。

三、数字摄影测量系统的作业过程

(1) 影像数字化或数字影像获取。

对像片进行数字化或直接获取数字形像。

(2) 定向参数的计算。

- 对数字影像的框标进行定位，计算扫描坐标系与像片坐标系间的变换参数。
- 将左影像分区提取特征点，利用二维相关寻找同名像点，计算相对定向元素。
- 现阶段由人工在左、右影像上定位控制点，由影像匹配计算同名点坐标，然后解算绝对定向参数。

(3) 影像匹配与建立数字地面模型。

数字影像匹配：用数字计算的方法对立体像对经数字化后所取得的灰度级值，通过相关函数，探求左右影像的相似程度，以确定同名像点。

- 按同名核线将影像的灰度予以重新排列。
- 沿核线进行一维影像匹配求出同名点。
- 计算同名点的空间坐标。
- 建立数字地面模型(或表面模型)。

(4) 测制等高线及正射影像图。

- 根据DEM自动生成等高线。
- 数字纠正产生正射影像。

数字摄影测量测图的主要过程

- 1、影像数字化;
- 2、解析内定向;
- 3、相对定向;
- 4、绝对定向;
- 5、数字影像处理;
- 6、建立DEM;
- 7、自动生成等高线;
- 8、生成正射影像;
- 9、生成带有等高线的正射影像。

准备工作：参数文件的建立及数据输入

自动空中三角测量

- 自动内定向、相对定向模型连接、构网
- 区域网平差计算

影像定向

- 自动内定向、自动相对定向
- 半自动绝对定向

核线重采样

影像匹配及编辑

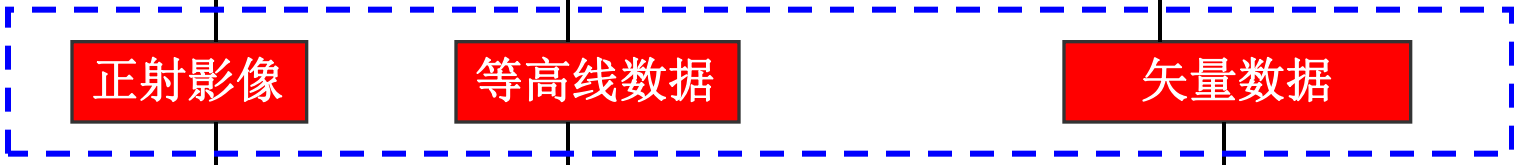
数字测图：矢量提取、编辑、符号化注记

DEM生成及拼接

已有地形信息输入

正射影像生成
(镶嵌、修复)

等高线生成与注记



景观图、立体匹配片

地图整饰/GIS

系统软件 (VirtuoZo NT)

基本模块包括:

1、基本数据管理模块

- a、基本数据、影像输入及参数设置
- b、图廓整饰
- c、数据输出
- d、三维立体景观显示

2、定向模块

- a、全自动内定向
- b、全自动相对定向
- c、半自动绝对定向
- d、生成核线影像

3、匹配模块

- a、影像匹配预处理
- b、影像匹配
- c、匹配编辑

4、DEM生成模块

- a、自动生成DEM
- b、DEM自动拼接
- c、自动绘制等高线

5、正射影像生成模块

- a、自动生成数字正射影像

四、国产数字摄影测量系统VirtuoZo NT

1、组成

- 高精度影像扫描仪
- 高档微机
- 液晶立体眼镜和红外线发射器
- 手轮、脚盘
- 大幅面高分辨率的影像输出设备
- 全数字摄影测量软件VirtuoZo 及Windows NT操作系统

2、工作流程图

b、正射影像和等高线叠合

c、正射影像镶嵌

6、数字测图模块

a、人机交互式立体测绘

b、线划要素半自动提取

备选模块包括:

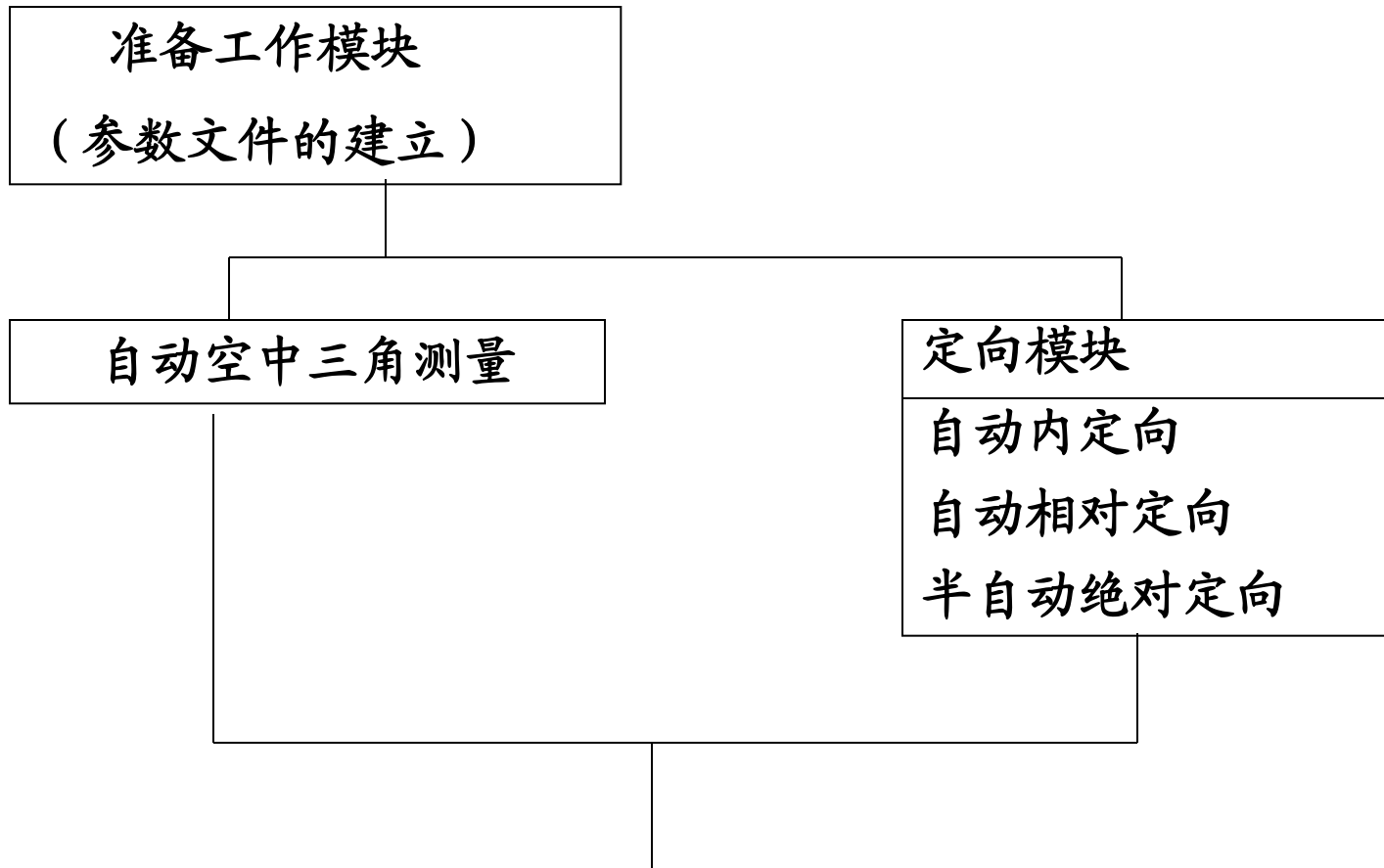
1、卫星影像测图模块

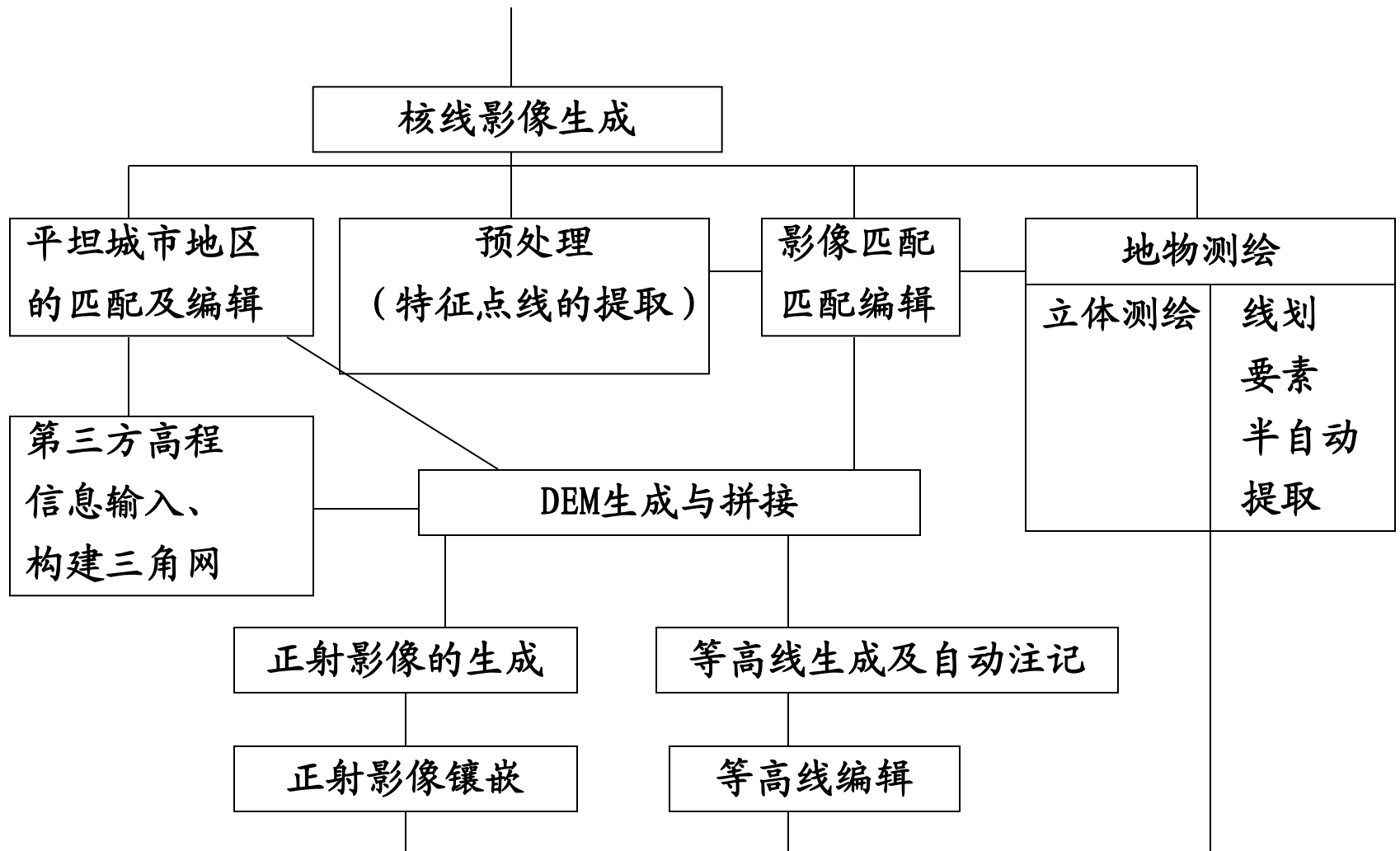
2、近景测量模块

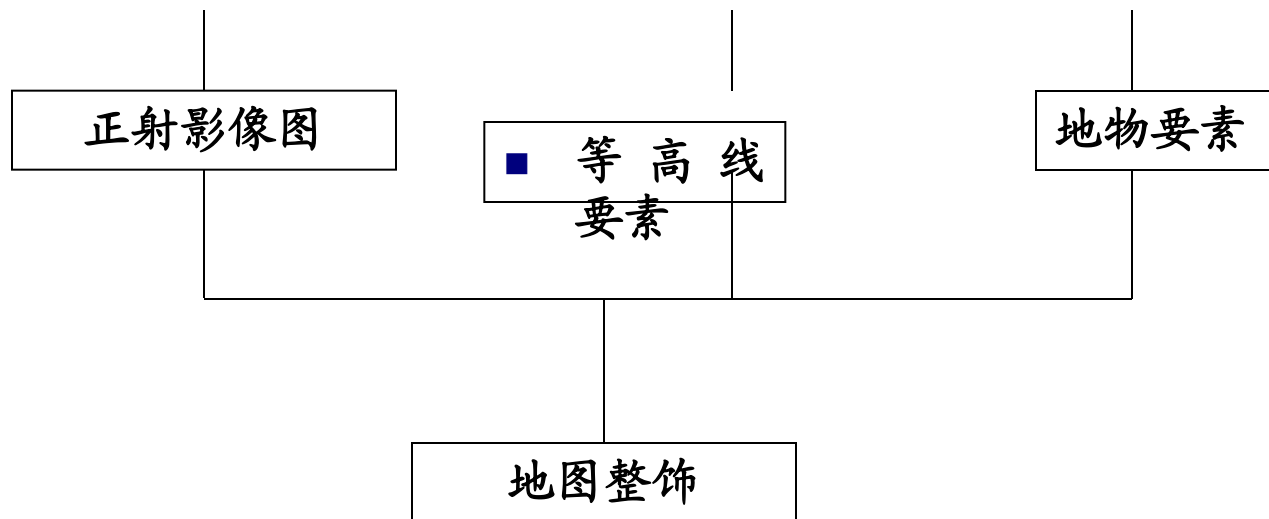
3、自动空中三角测量模块

·
·
·

系统结构及工作流程 (VirtuoZo. NT)







系统测绘成果

Digital Elevation Model

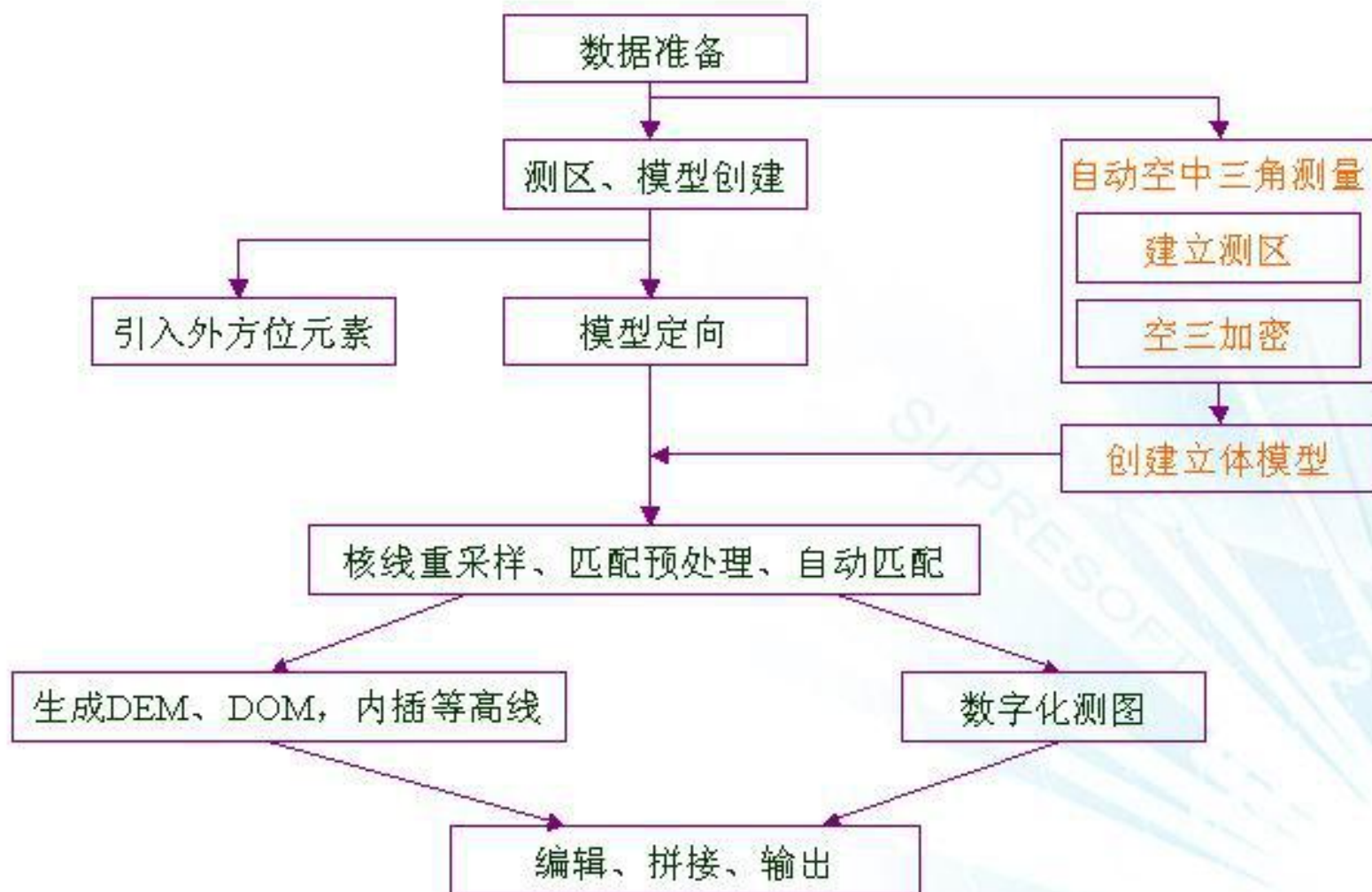
Digital Orthophoto Map

Digital Line Graph

Digital Raster Graph

全数字摄影测量系统

Virtuozo 全数字摄影测量系统基本工作流程：



相机参数文件

-0.004000 -0.008000
152.720000
2 -106.003000 -106.003000
3 -106.001000 106.003000
4 106.001000 106.001000
1 106.003000 -106.005000
6 -110.001000 0.002000
7 -0.004000 110.004000
8 109.997000 0.000000
5 0.002000 -109.998000

模型定向——内定向

内定向：框标的自动识别与定位

NO	X	Y	dx	dy
1	4861.844	187.329	-0.0018	0.0007
2	153.901	230.115	0.0018	0.0056
3	196.000	4938.494	-0.0131	0.0035
4	4904.255	4896.490	0.0050	0.0070

Interior Orientation Parameters:
Xo= 2528.974 Yo= 2563.009
1.001600 -0.006999
0.008942 1.001498
MX = 0.0066(mm) MY = 0.0058(mm)

Automatic Manual

Left Right Up Down

Approximate SaveExit Quit

目的:

快速恢复内方位元素

精度指标:

识别精度为1/3左右象素

说明:

卫星影像不进行内定向，直接进入相对定向。

模型定向——相对定向

相对定向：全自动相对定向，利用二维相关寻找同名点

The screenshot displays the 'Relative Orientation' software interface. It features four main image windows: two at the top showing side-by-side aerial photographs of a building complex, and two at the bottom showing a 3D terrain model with corresponding green bounding boxes. A central 'Add Point' dialog box is open, showing 'Point Number: 275' and navigation controls for 'Left' and 'Right' images. On the right side, a 'Orientation Results' panel lists parameters: kappa[1] -0.0049, kappa[2] 0.0037, omega[2] -0.0067, phi[1] -0.0082, phi[2] -0.0065. Below these are several point pairs with their correlation coefficients, with '1155.....0.056' highlighted. Further down, it shows 'Point Number: 274' and 'RMS: 0.0070'. At the bottom right, there are navigation buttons for 'L_Image', 'Up', 'R_Image', 'Left', 'Down', and 'Right'. The status bar at the bottom left indicates 'The Point: 163 100'.

目的:

快速恢复空中姿态

精度:

同名像点识别精度小于1/3象素

模型定向——绝对定向

绝对定向：半自动绝对定向，可以预测控制点

The screenshot displays a software interface for absolute orientation. It features a central 3D view of a terrain model with a green bounding box. An 'Adjust Control' dialog box is open, showing ground coordinates for point 1155: Ground X: 16312.1581242, Ground Y: 12631.8881418, and Ground Z: 770.3886950. The dialog includes buttons for adjusting ground coordinates (GX, GY, GZ) and a '3D MODE' button. To the right, an 'Orientation Results' panel shows rotation parameters: kappa[1] = -0.0049, kappa[2] = 0.0037, omega[2] = -0.0067, phi[1] = -0.0002, and phi[2] = -0.0065. Below these are translation parameters: NO. DX DY DZ, with values for point 1155: 0.41, -0.04, -0.26. Further down, m_xy = 0.392047 and m_z = 0.299011 are shown. A 'Delete Point' button is also present. At the bottom right, navigation buttons for 'L_image', 'Up', 'R_image', 'Left', 'Down', and 'Right' are visible. The status bar at the bottom left indicates coordinates: [1155] (0.0662) Left [4447, 4094] Right [2574, 4118].

目的:

通过部分大地坐标，解算像对与地面的对应关系

精度:

满足相应比例尺国家规范要求

模型定向——绝对定向

绝对定向：立体状态下控制点量测

The screenshot shows the Abdel software interface. The main window displays a 3D model of a terrain with several control points marked. A table on the right lists the coordinates for these points. The table has columns for 'Name', 'I-Parallel', 'Y-Left', and 'Y-Right'. The data is as follows:

Name	I-Parallel	Y-Left	Y-Right
2150	-0.0018	-2.288	-1
2155	0.0194	83.825	-1
1155	0.0582	85.750	86
1156	-0.0066	0.302	56
270	0.0027	22.675	72
269	0.0054	67.303	66
268	-0.0077	67.662	-6
267	0.0073	103....	-1
266	0.0017	-18....	76
265	-0.0021	23.212	42
264	0.0062	27.001	-1
263	0.0045	73.394	82
262	0.0003	70.568	-2

目的:

立体状态下量测控制点，位置更准确，精度更高。

匹配及匹配编辑

匹配及匹配编辑：匹配速度高达500—1000个/秒



匹配目的:

沿核线进行
整体松弛影像
匹配确定
同名点。

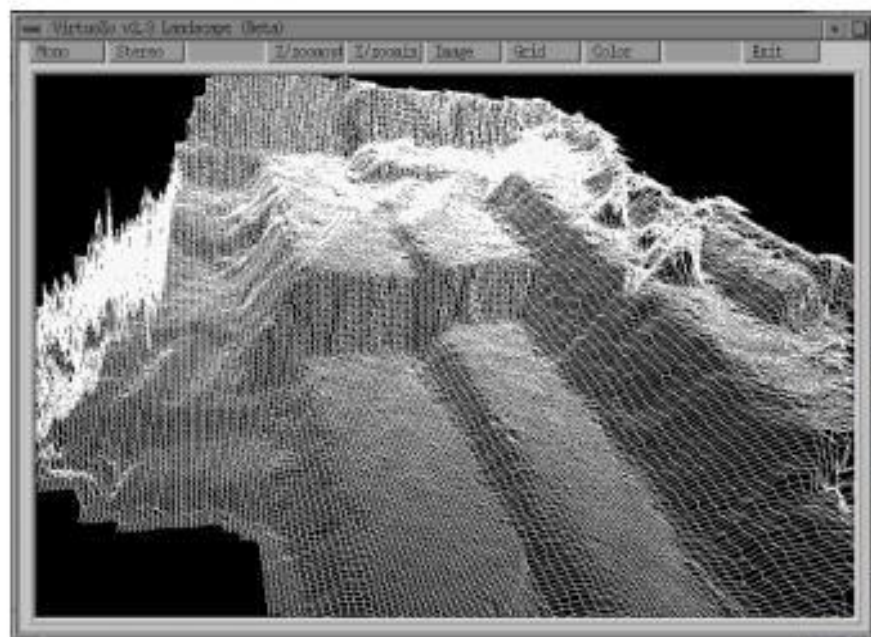
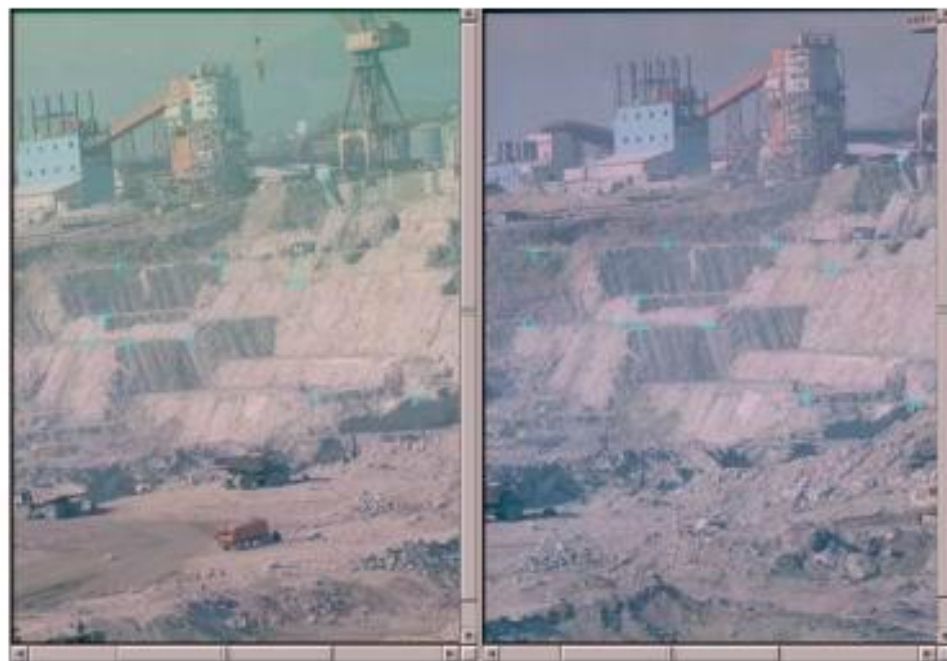
匹配及匹配编辑

匹配及匹配编辑：影像匹配建立DEM，自动绘制等高线



近景数字摄影测量

VirtuoZo: 三峡工程中的应用



4D产品——DOM

数字正射影像图：DOM

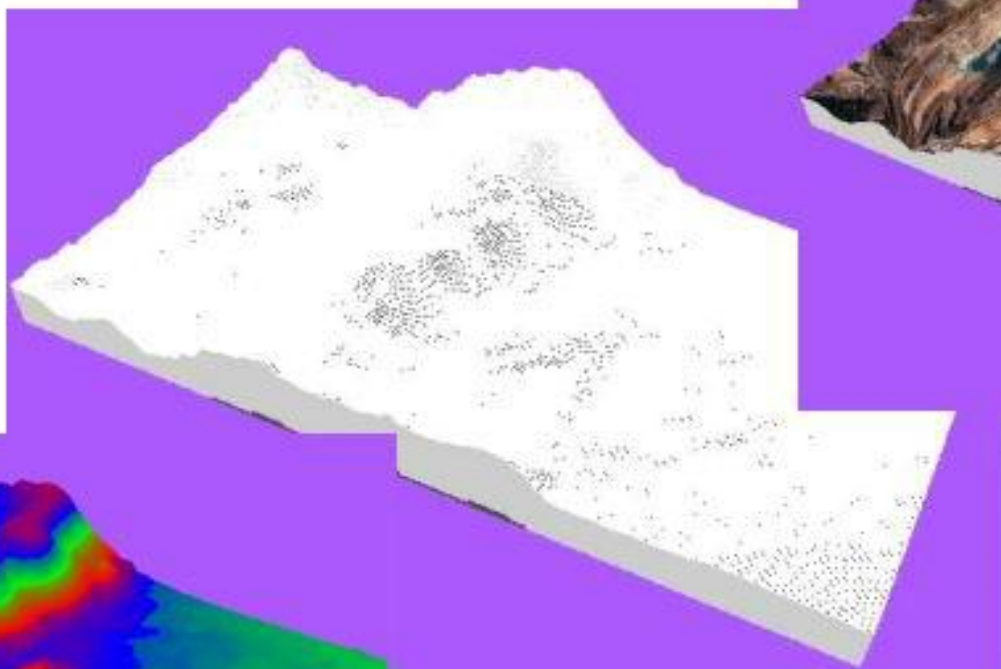


方法:

基于DEM逐
个模型进
行影像的
正射纠正
，消除投
影差，生
成正射影
像。

4D产品——DEM

数字地面模型：DEM

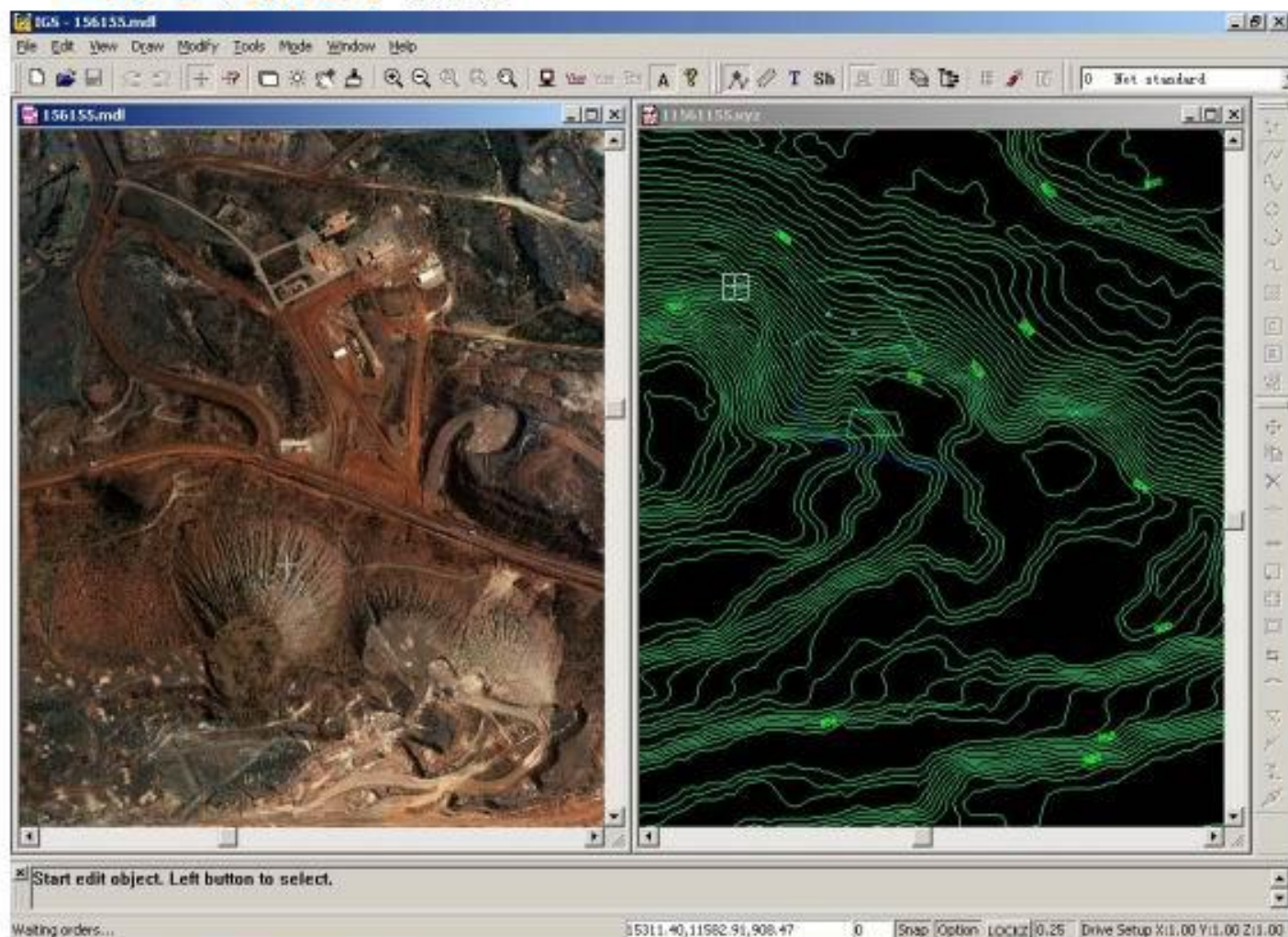


DEM应用：

沿核线进行整体松弛影像匹配确定同名点，然后自动生成DEM。

4D产品——DLG

数字线划图：DLG

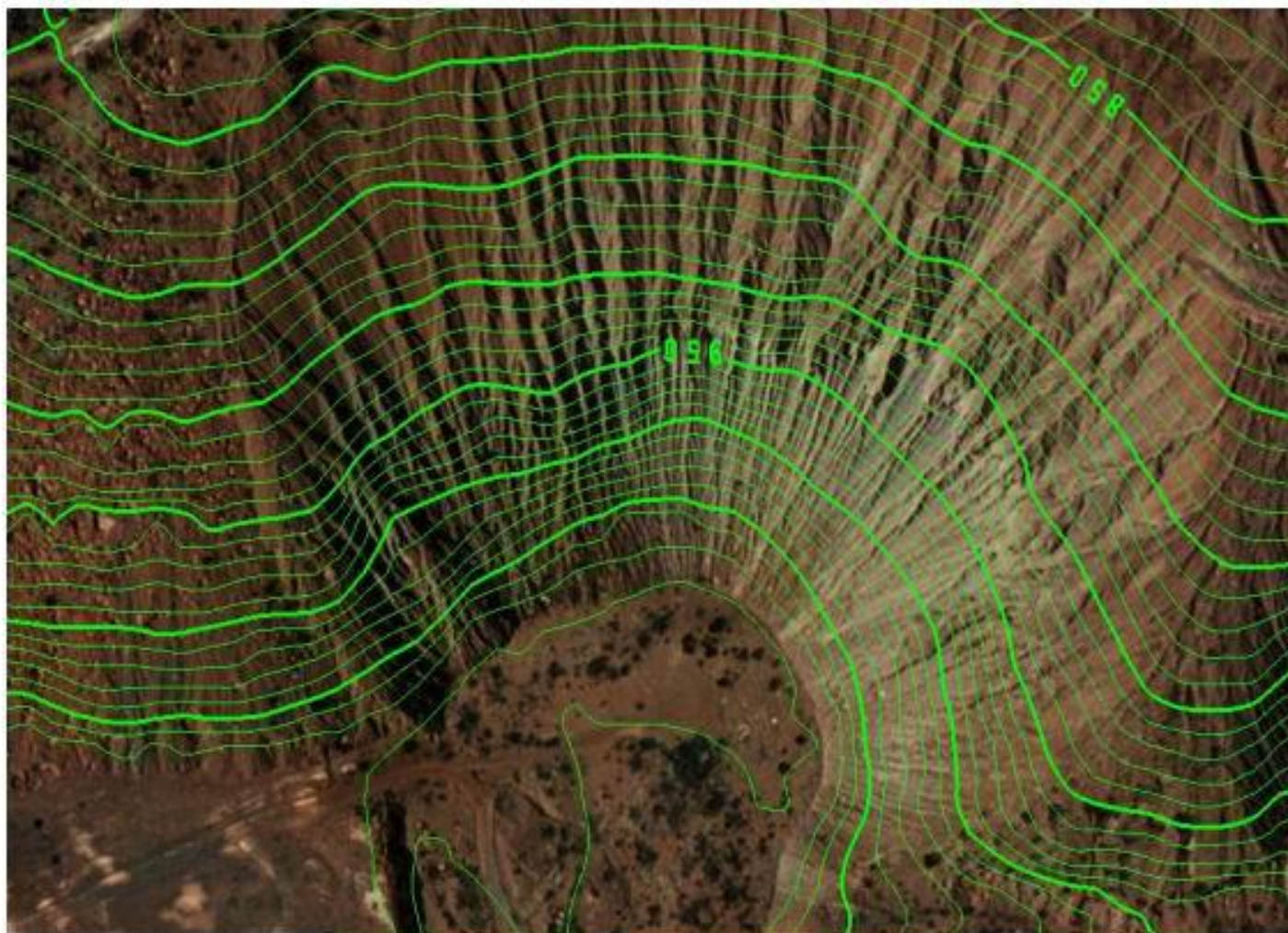


数字影像测图：

利用计算机代替解析测图仪、用数字影像代替模拟像片、用数字光标代替光学光标，直接在计算机上进行数字化测图的作业方法

4D产品——DOM

等高线叠合正射影像：



方法：

基于DEM逐
个模型进
行影像的
正射纠正

2. 其他摄影测量系统

DPGrid

武大

JX-4

中国测绘科学研究院

Inpho

徕卡

Helava

美国

Pixel Factory

法国