武漢大學 Wuhan University

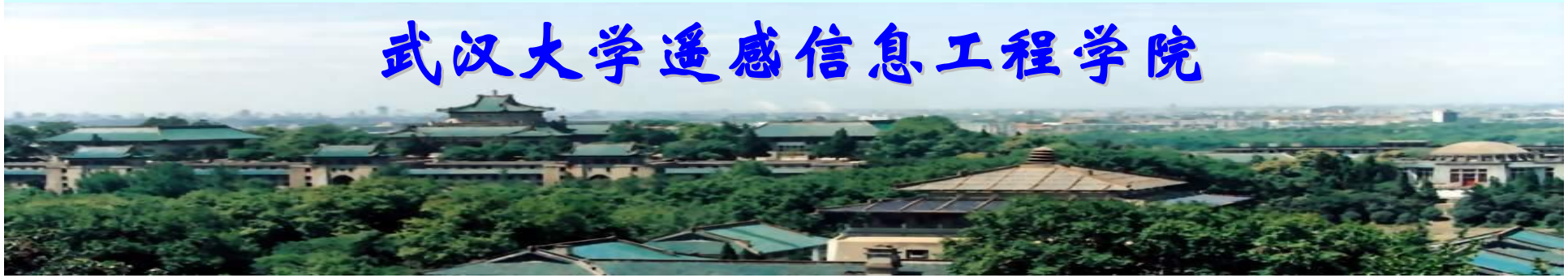


《摄影测量原理与应用》

（含当代摄影测量）

主讲：王树根

武汉大学遥感信息工程学院



第 5 章

数字摄影测量及其发展



数字摄影测量概述

q 数字摄影测量回顾：

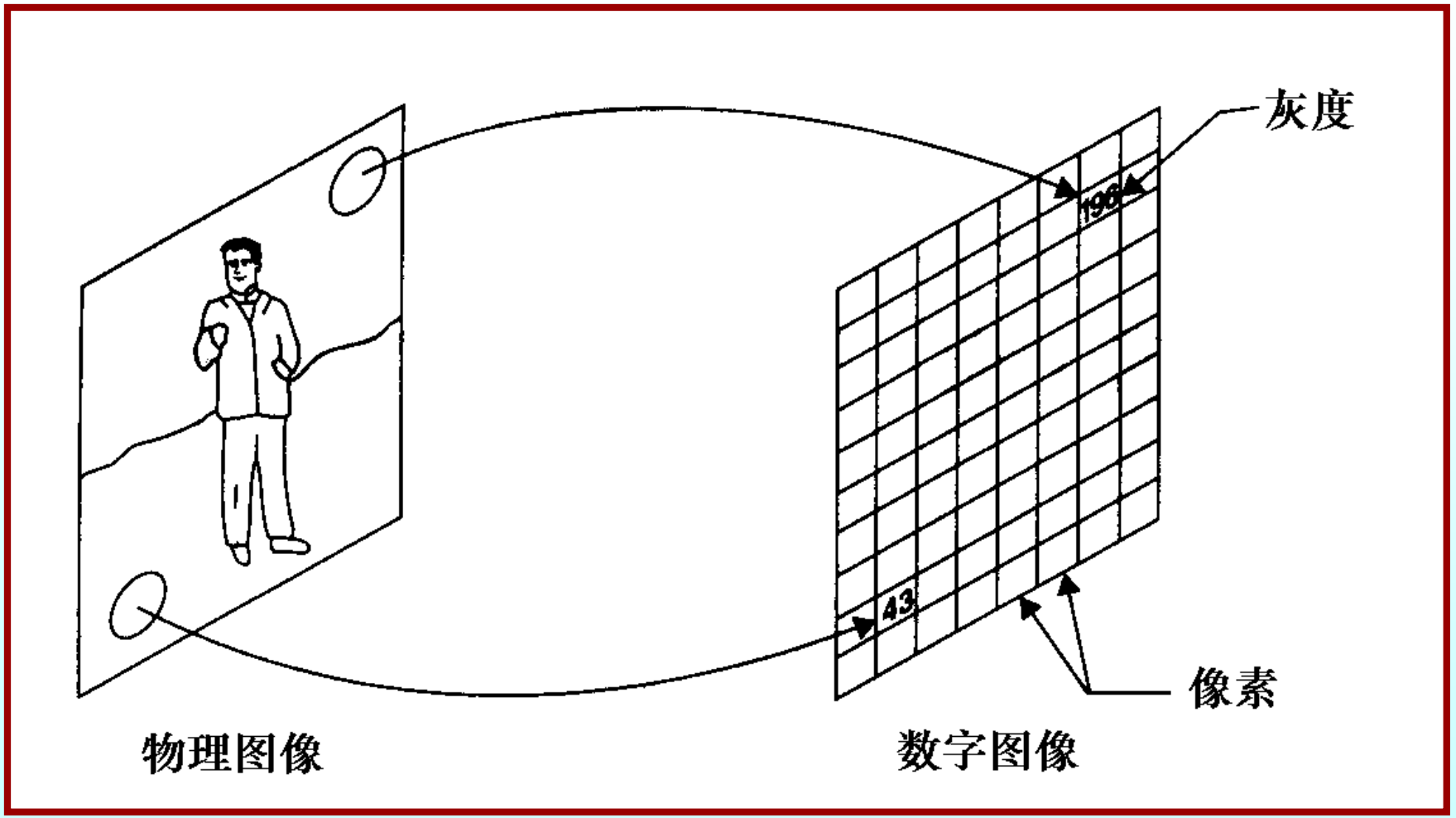
由数字影像或数字化影像出发，通过计算机对这种数字影像信息进行处理和加工，以获取所需要的图形和数字信息称之为数字摄影测量。

q 最大特点是：

ü 由计算机代替人眼的立体观测

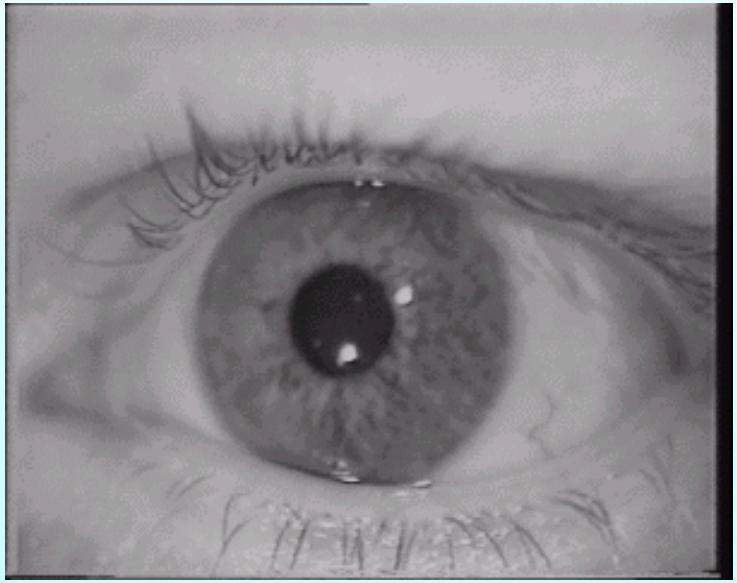
ü 与计算机图像处理联系紧密

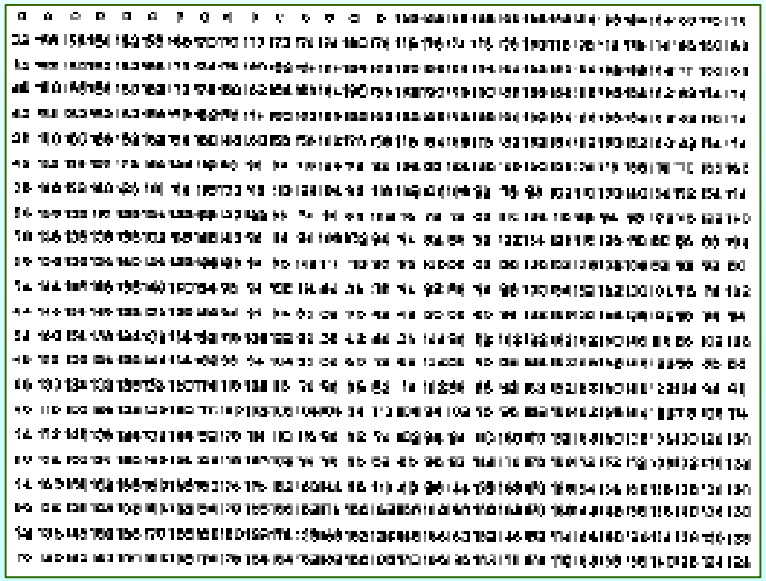
数字图像处理概述



数字影像与数字化影像

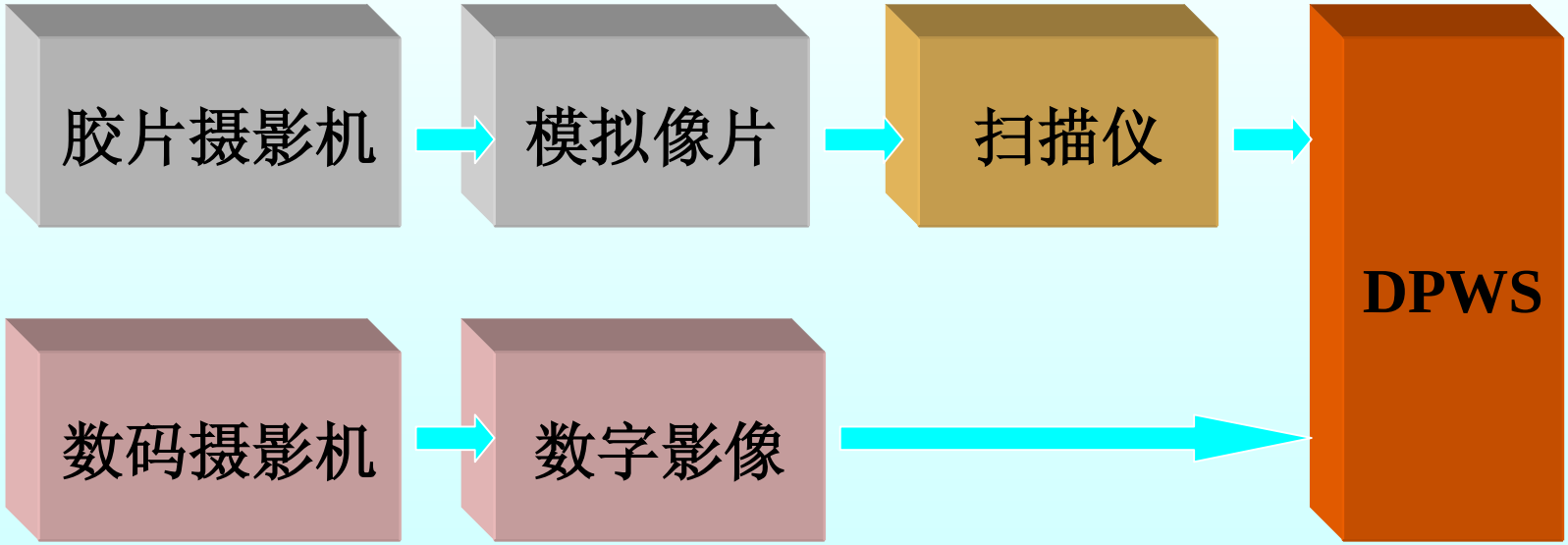
- 什么叫数字影像？（胶片相机与数码相机）
- 什么叫数字化影像？





影像扫描数字化

q 数字影像获取基本方法



影像扫描数字化



- q 影像数字化过程： 采样和量化
- q 影像数字化仪器： 扫描仪（器）

- ü 电子光学扫描器
  - § 平台式
  - § 滚筒式
- ü 固体阵列扫描器



Vexcel UltraScan 5000



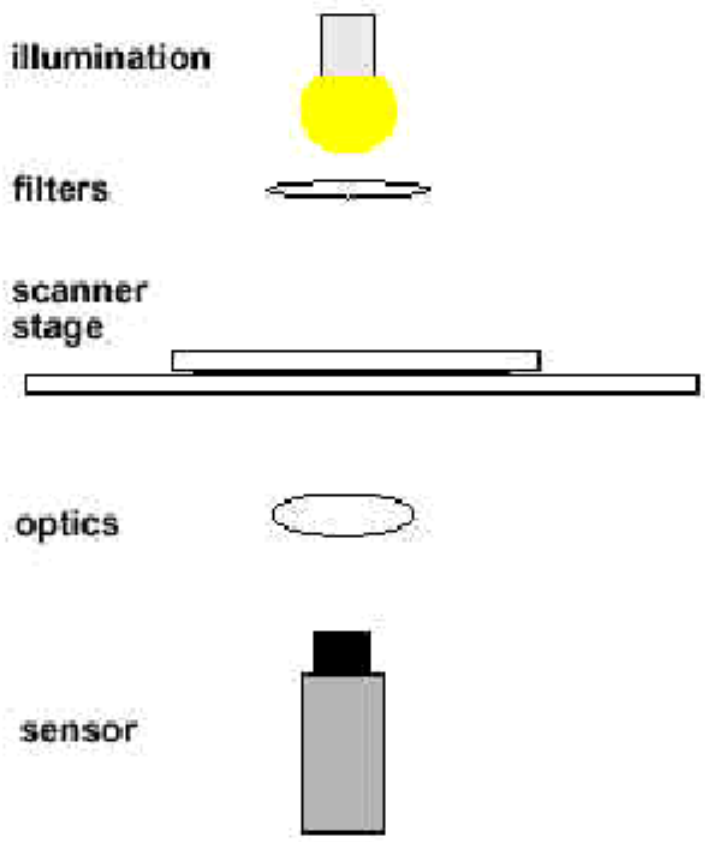
LH Systems DSW 500

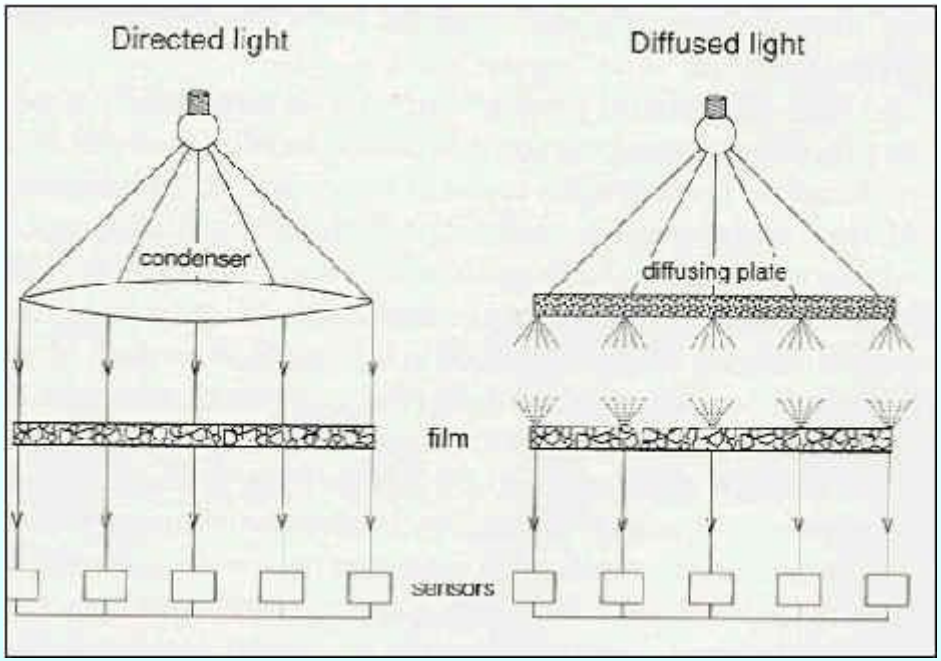


Z/I Imaging Photo Scan

影像数字化

q 扫描仪工作原理

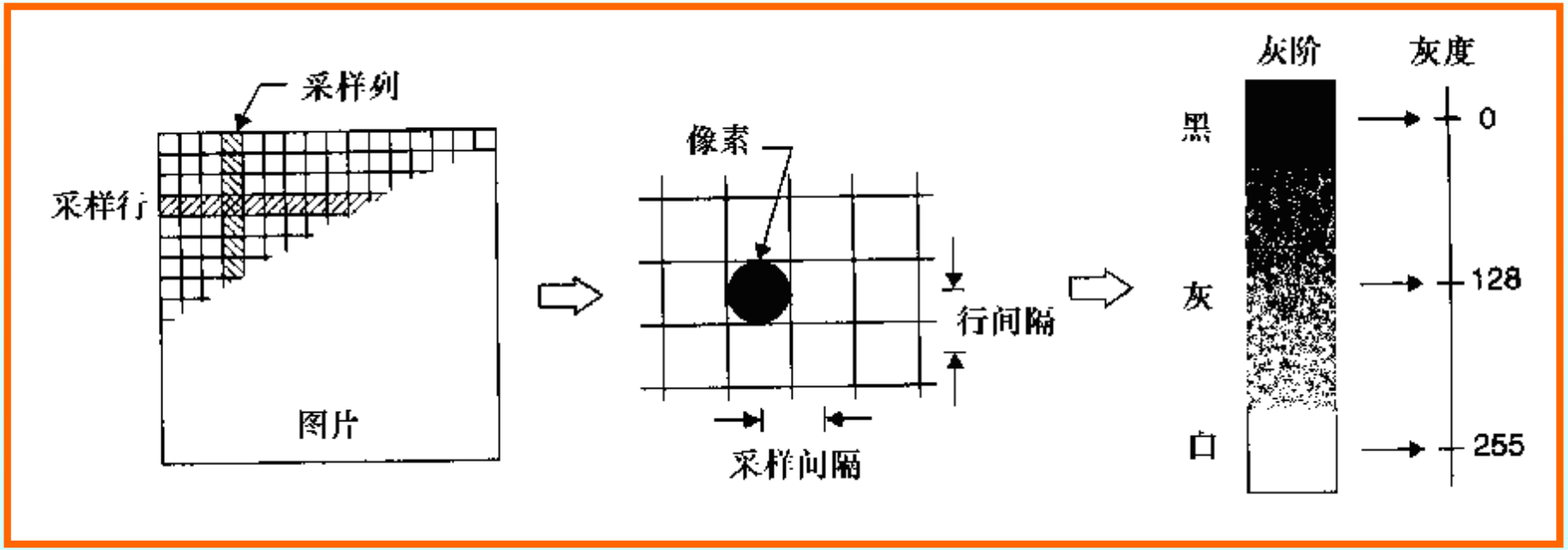




$$\tau = \frac{\text{输出光通量}}{\text{输入光通量}}$$

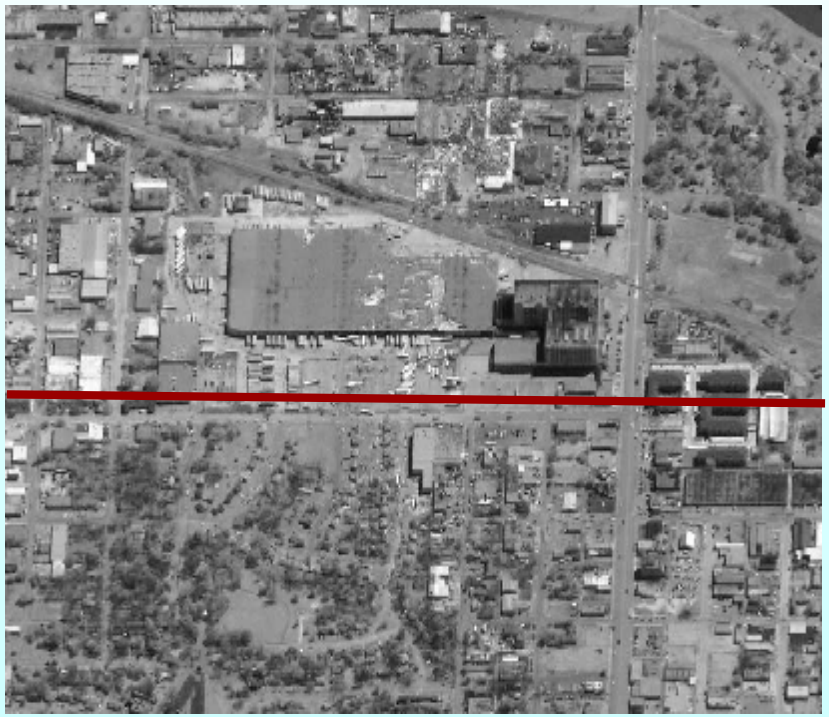
影像数字化

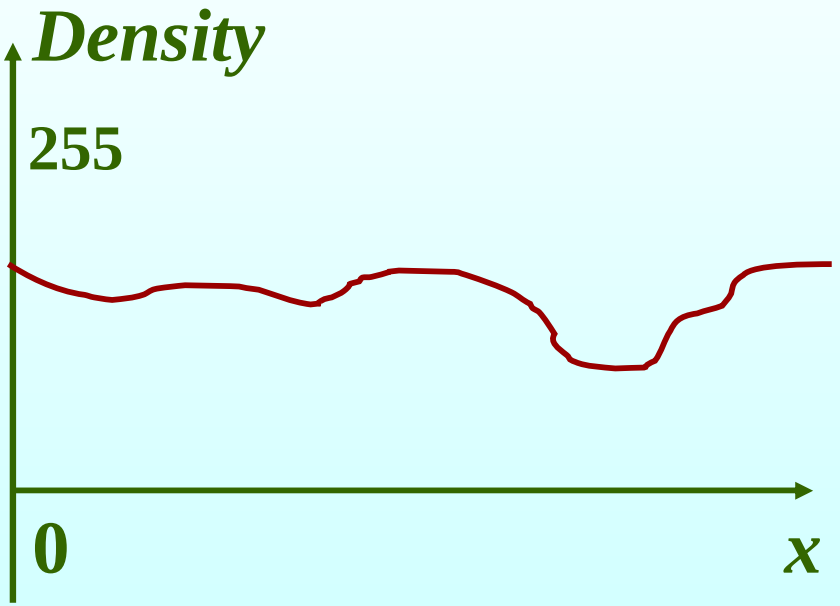
q 如何进行数字化



影像数字化

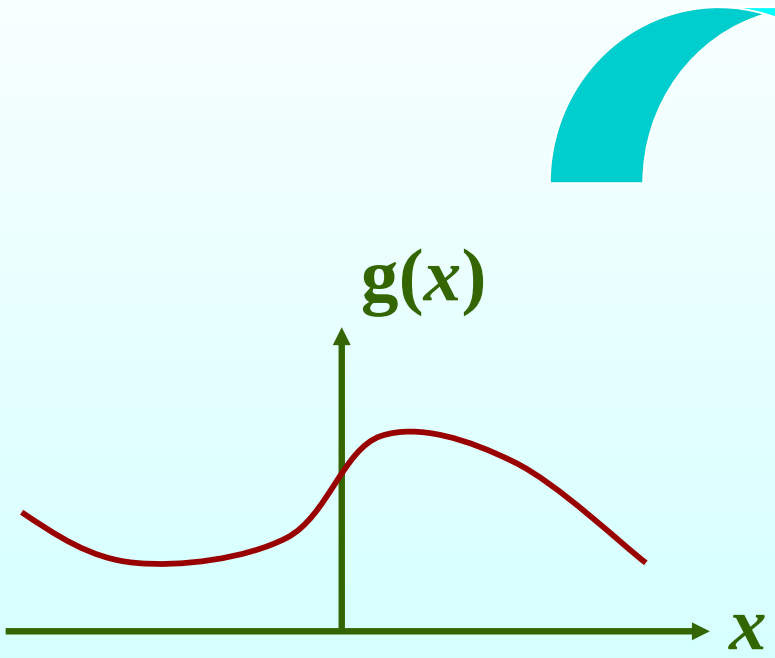
- 如何进行数字化

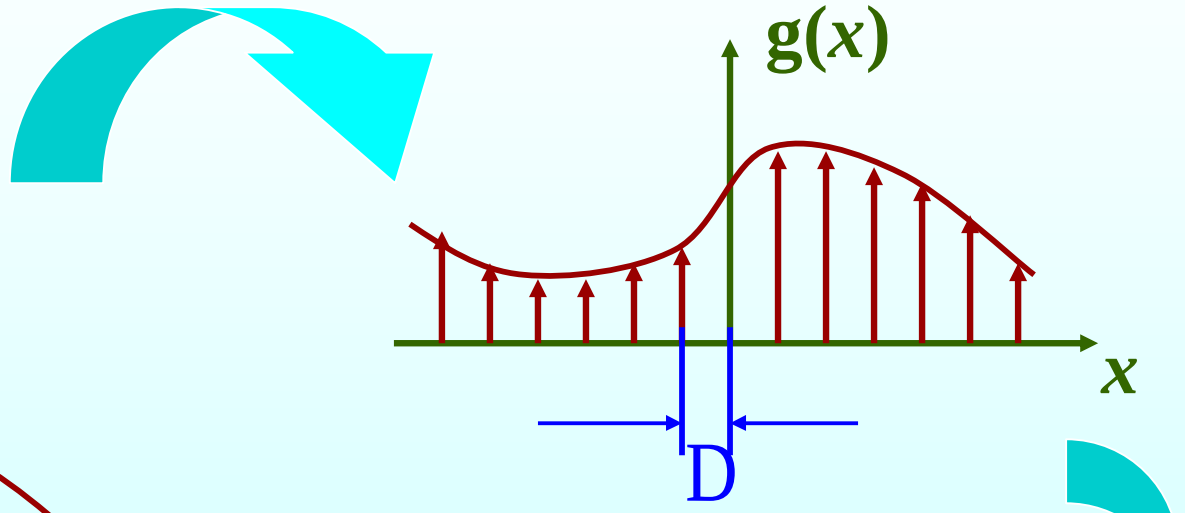


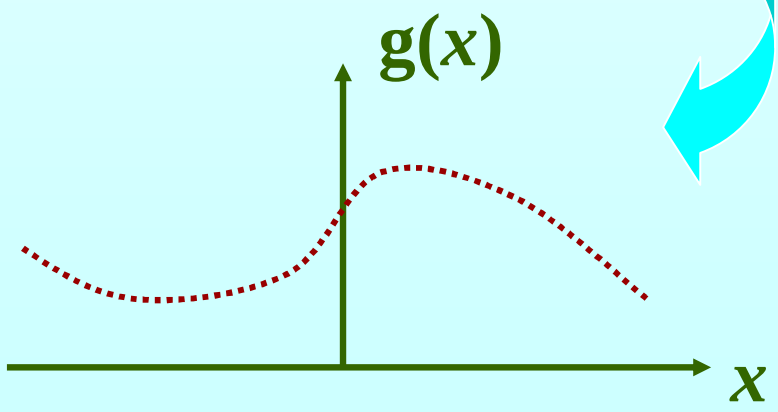


关于采样

采样过程即离散化



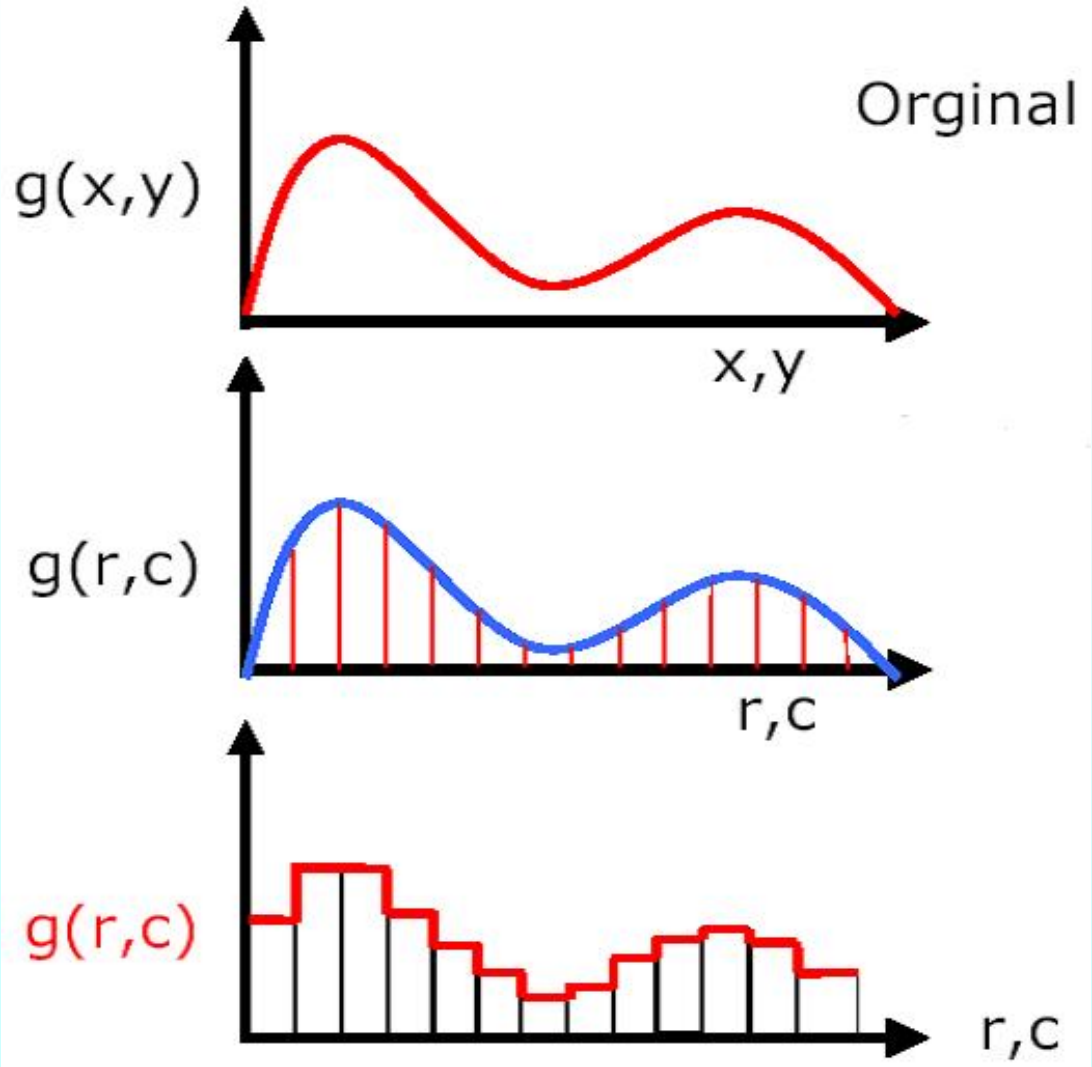




采样间隔直接影响

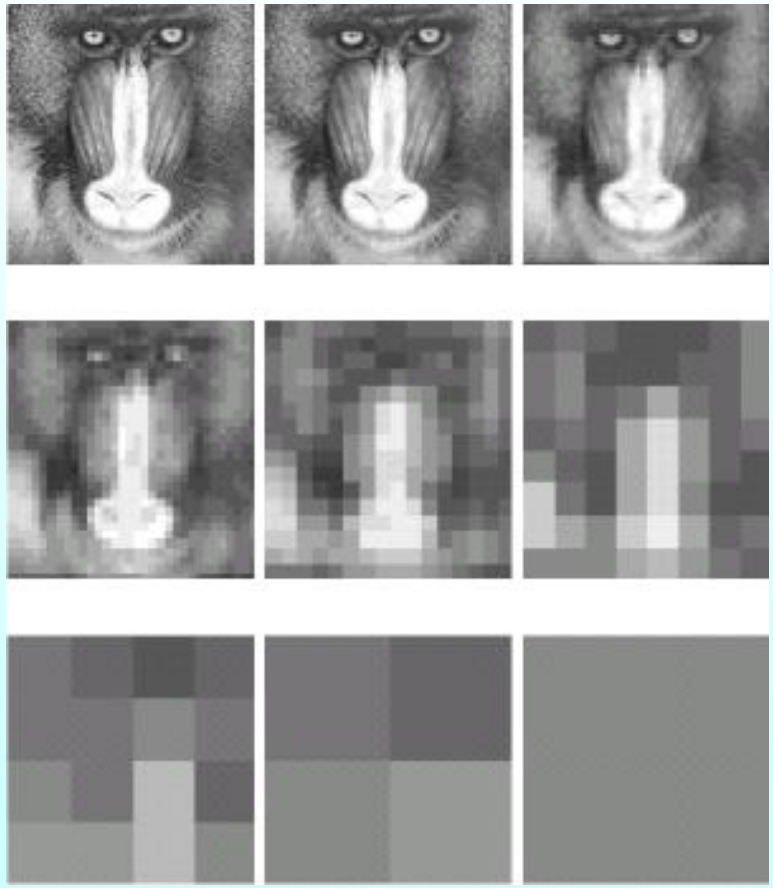
数据量及可逆性

关于采样



关于采样

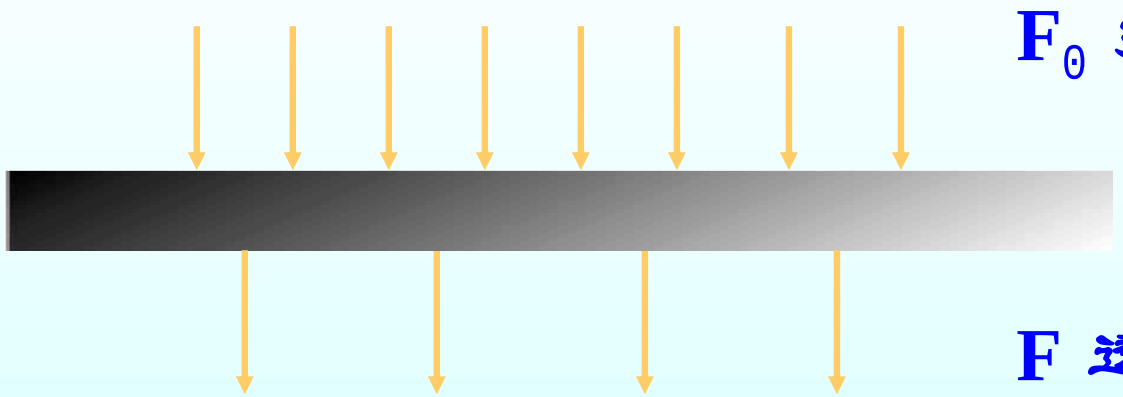
采样间隔的影响



采样间隔直接影响数据量及可逆性

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： $D = \log O = \log(1/T) \approx$ 0.2~1.8

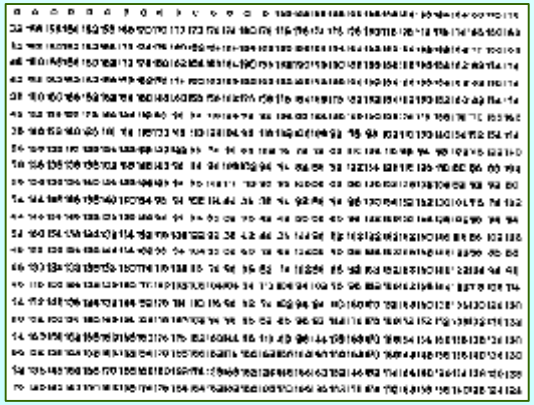
量化成 2^m 级表示

采样和量化的结果

结果：得到数字化影像（二维灰度阵列）

$$g=\begin{bmatrix} g_{0,0} & g_{0,1} & \mathbf{L} & g_{0,n-1} \\ g_{1,0} & g_{1,1} & \mathbf{L} & g_{1,n-1} \\ \mathbf{M} & \mathbf{M} & & \mathbf{M} \\ g_{m-1,0} & g_{m-1,1} & \mathbf{L} & g_{m-1,n-1} \end{bmatrix}_{m\times n}$$





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 △=12.5*um* 时，每行（列）有18400 pixels，则存储量为：

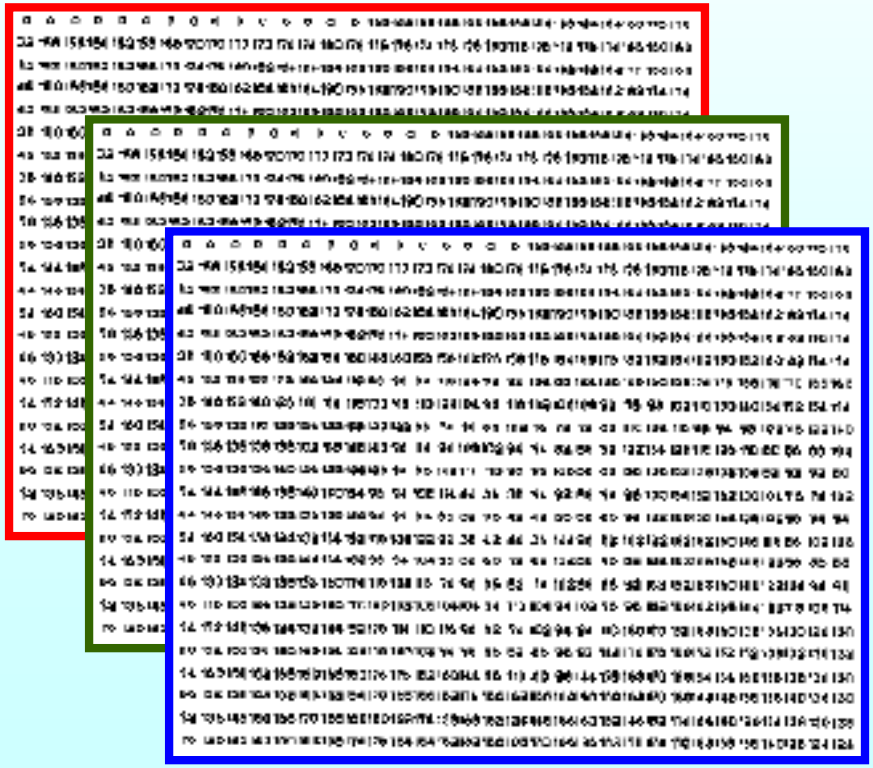
(18400×18400) ÷ (1024×1024) = 322 **MB**

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

进一步关于扫描数字化

问：若为彩色影像，则数据量为多少？





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。

- q 影响扫描数字化影像质量的因素：
  - ü 原始影像质量
  - ü 扫描仪的性能
  - ü 扫描参数设置



进一步关于扫描数字化

q 扫描数字化过程中需考虑的问题：

ü 扫描仪的几何精度

ü 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：

10um×10um分辨率扫描黑白影像

15um×15um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

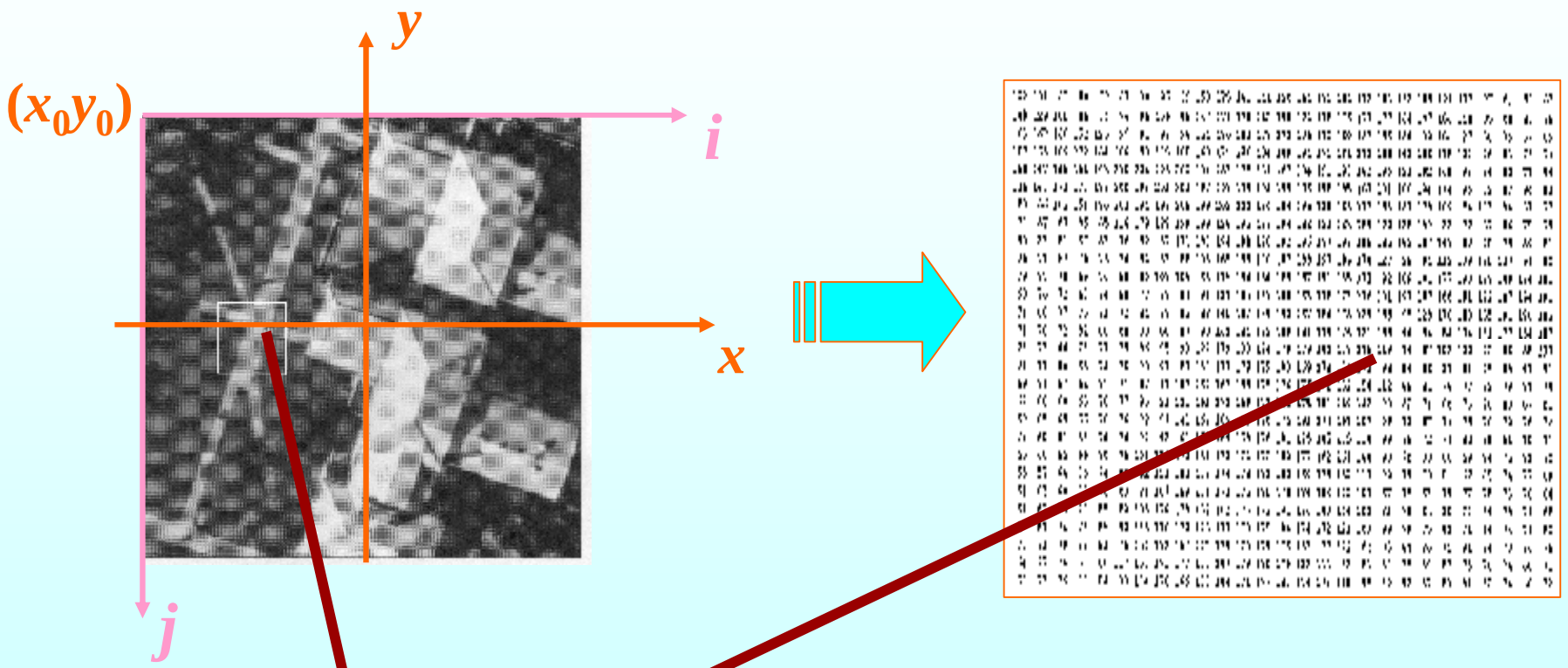
q 扫描数字化过程中需考虑的问题（续）

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。

扫描坐标与影像坐标转换

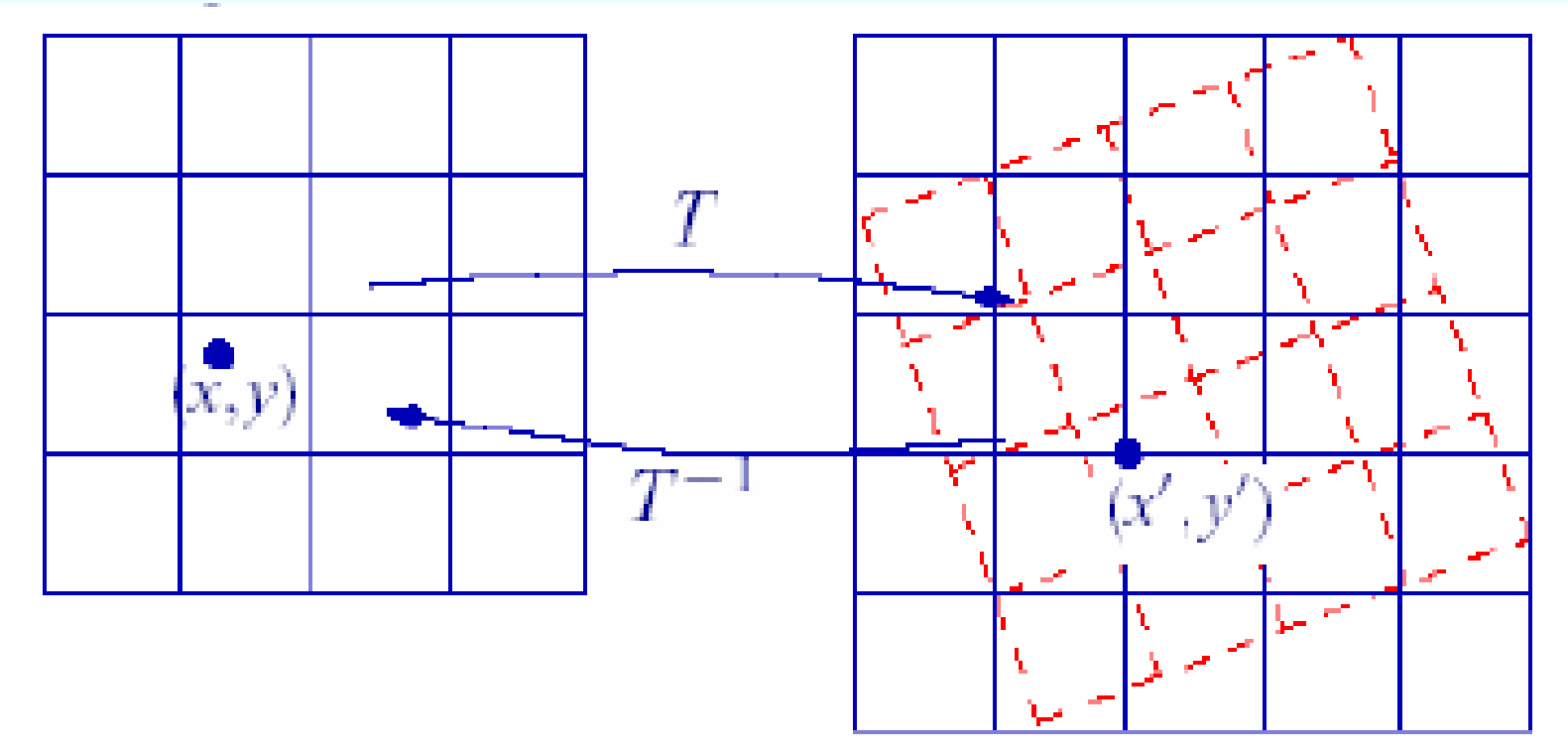


$$x = x_0 \pm i \cdot \Delta x \qquad (i = 0,1,\mathbf{L}\, n-1)$$

$$y = y_0 \pm j \cdot \Delta y \qquad (j = 0,1,\mathbf{L}\, m-1)$$

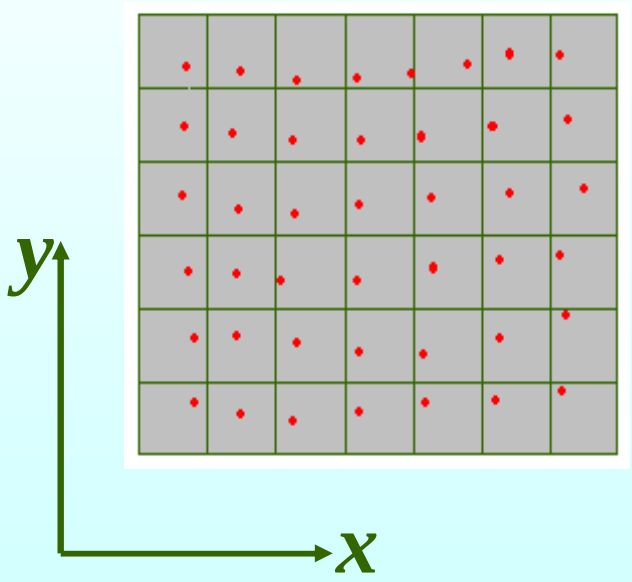
关于影像重采样

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。

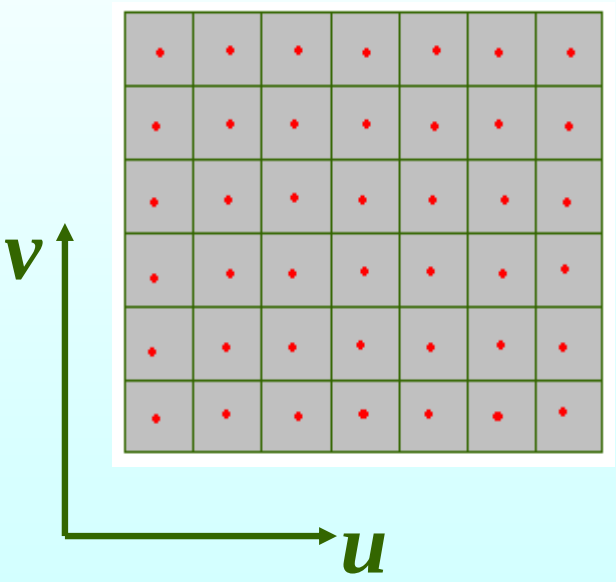


关于影像重采样

q 重采样



重采样前

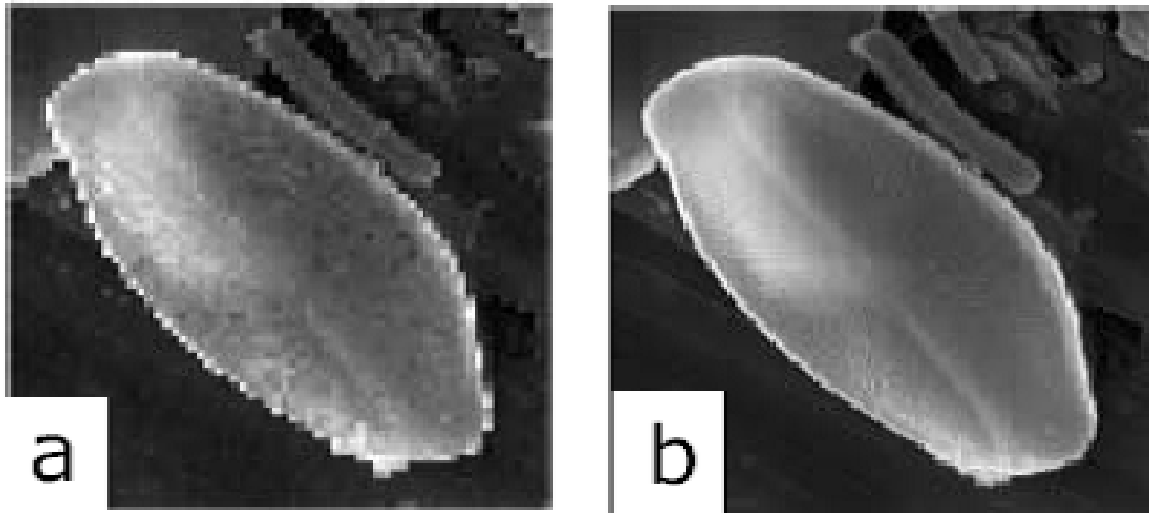


重采样后

影像重采样

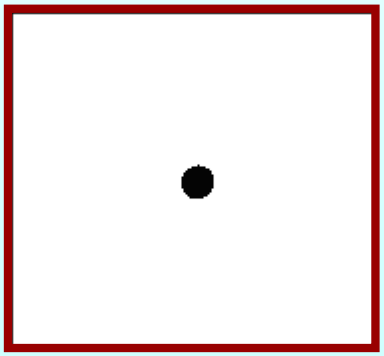
常用的灰度内插方法：

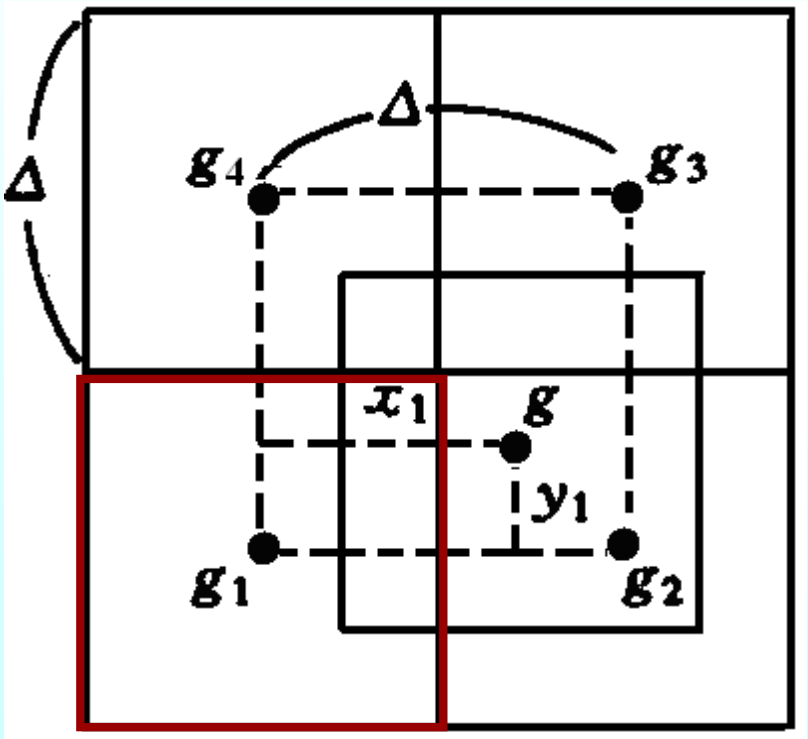
- 邻近点法
- 双线性内插法
- 沿核线重采样



影像重采样

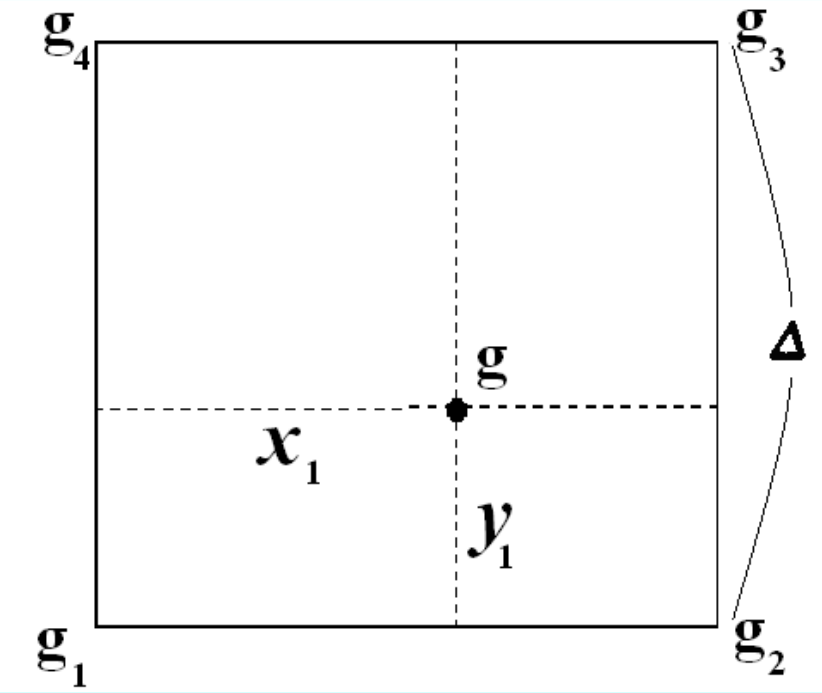
q 双线性采样





影像重采样

q 双线性采样



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

数字摄影测量的核心问题之一

影像匹配

数字影像匹配

- 影像匹配（相关）是数字摄影测量的核心问题之一，是指在数字摄影测量中以影像匹配技术代替传统的人工观测，以达到自动确定同名像点（特征）的目的（狭义）



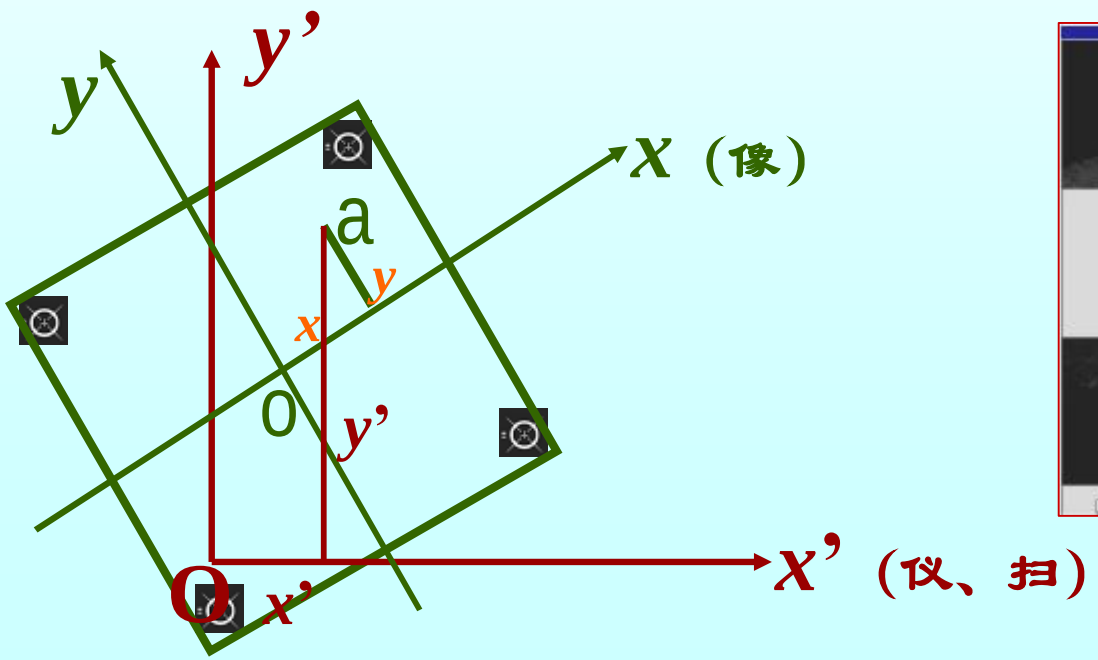
立体测图基础

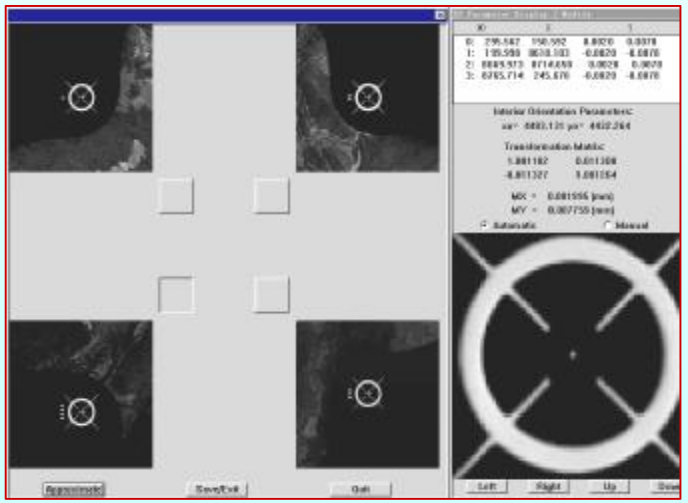
- 在CV中又称为影像配准（Registration）

匹配应用场合（广义）

q 举例：

1、自动内定向（基于模板匹配）



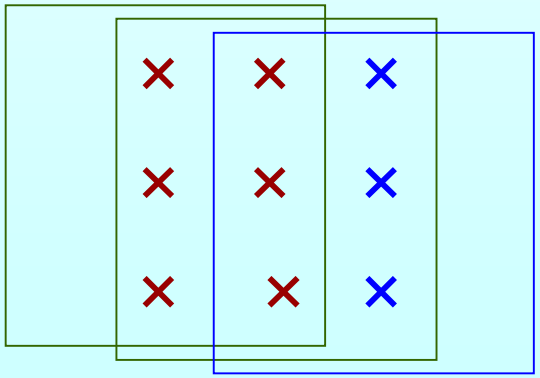


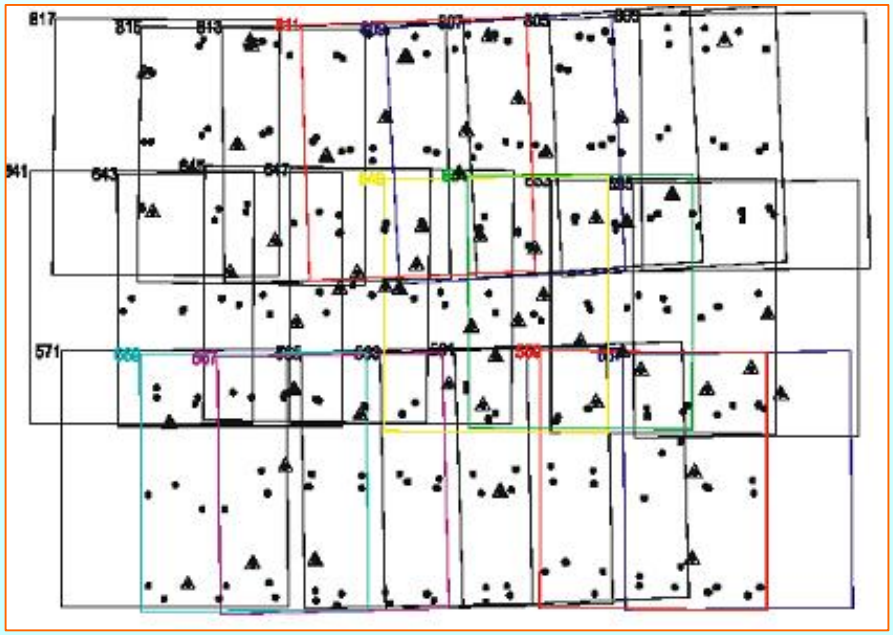
匹配应用场合

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

q 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：**

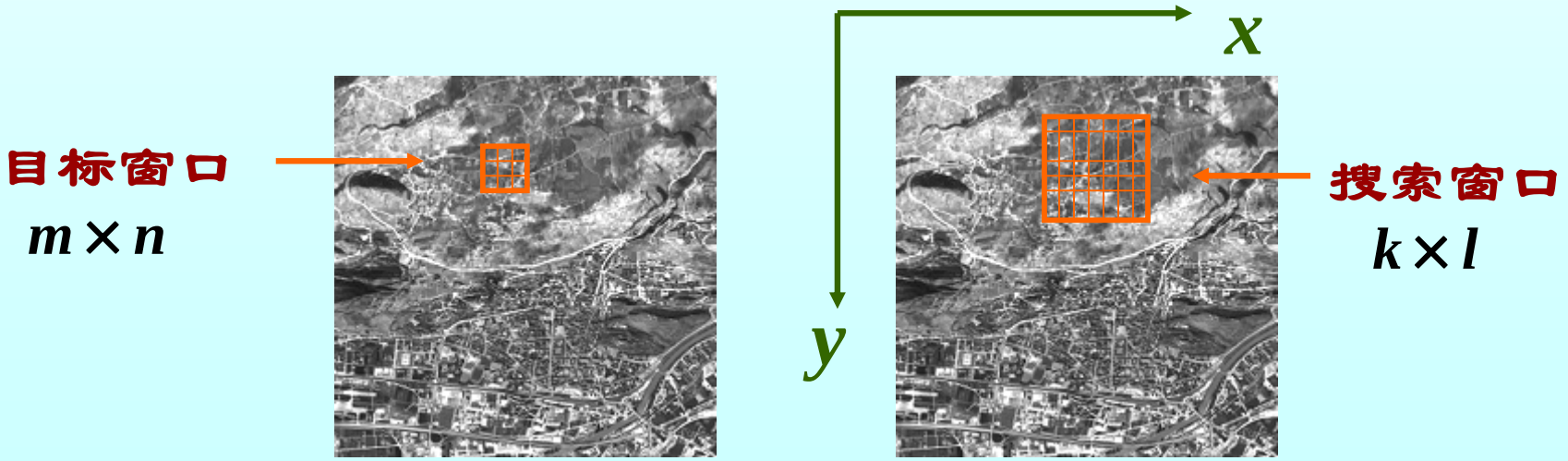
1、**基于灰度的影像匹配：**着眼于局部影像的相似性或相关程度。

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。

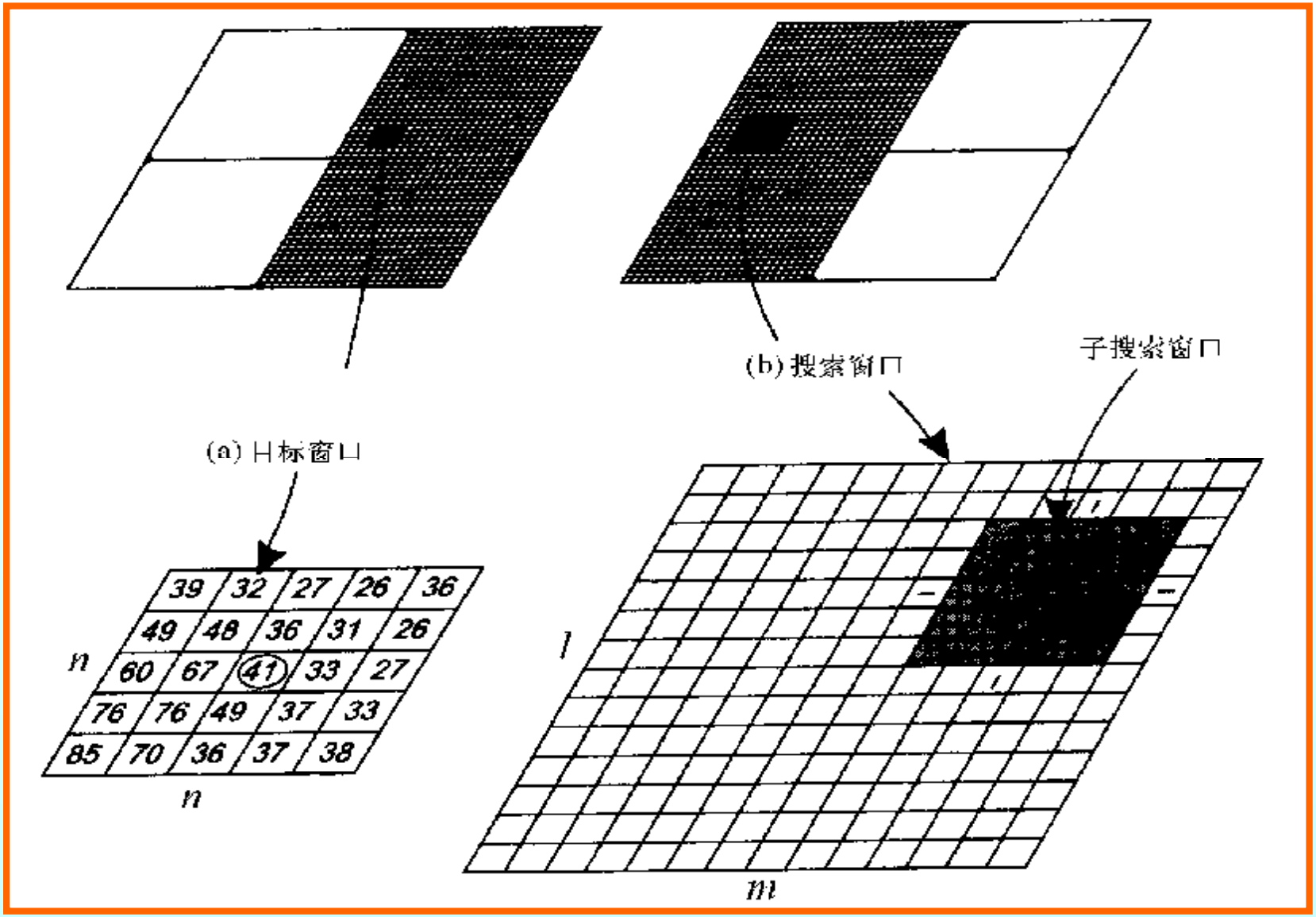
3、**基于解译（关系）的影像匹配：**着眼于计算机自动识别影像上各种目标及其相互间的关系，必须建立在影像解译和专家系统基础上。

基于灰度的影像相关

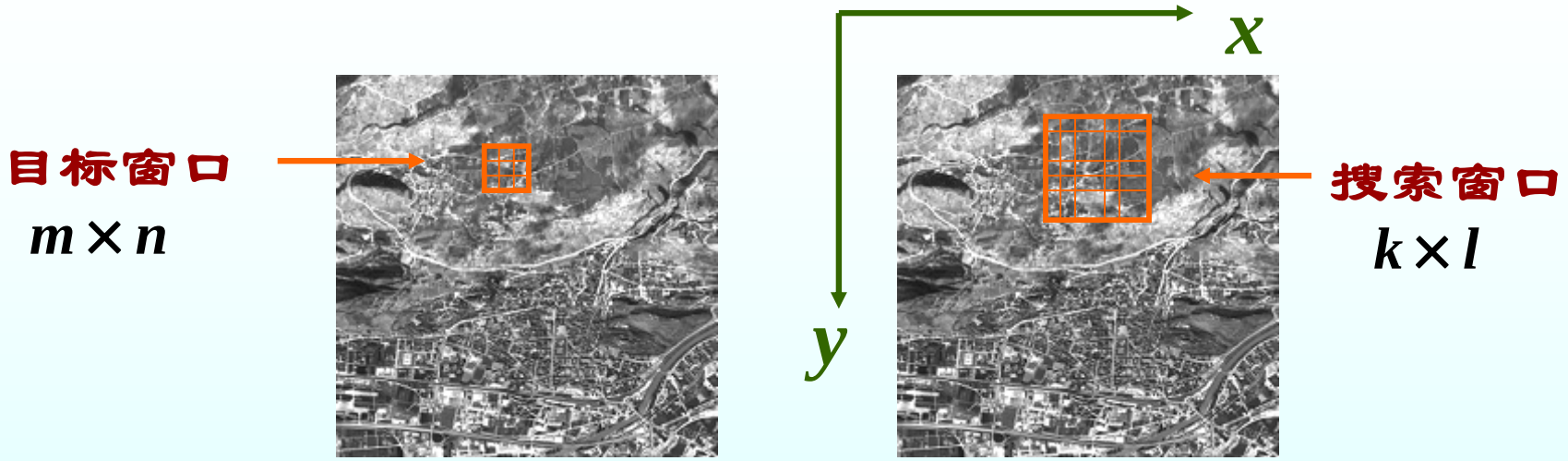
- 基于灰度的影像匹配（gray-based matching）又叫基于面积的影像匹配（area-based matching）
- 基于灰度的影像相关是指仅利用待相关点所在的一个小区域内的影像灰度信息来寻找左右像片同名点的方法



基于灰度的影像相关


(b) 搜索窗口
子搜索窗口
(a) 目标窗口
39 32 27 26 36
49 48 36 31 26
60 67 41 33 27
76 76 49 37 33
85 70 36 37 38
n
n
i
j
m

相关系数法影像相关



q **相关判据：** 相关系数 ρ_{ij}

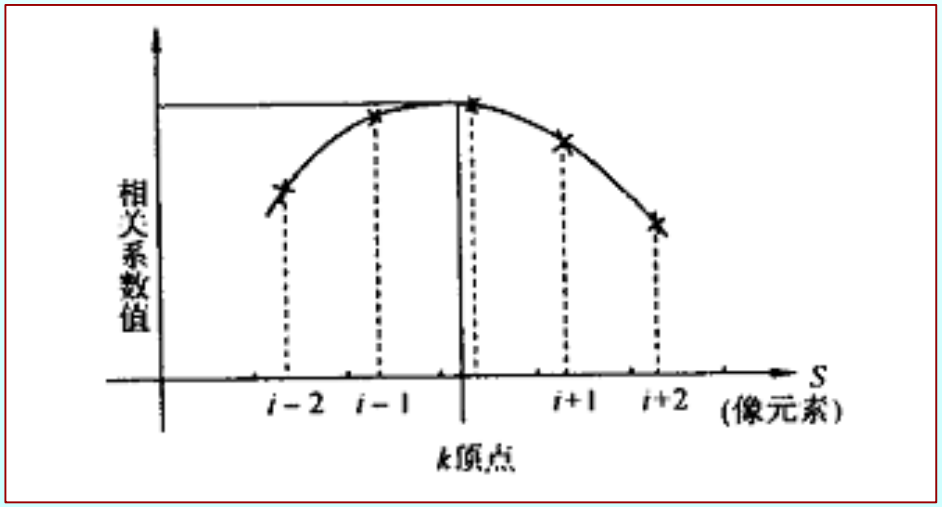
$$r(c,r)=\frac{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(g_{i,j}-\bar{g})(g'_{i+r,j+c}-\bar{g}')}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(g_{i,j}-\bar{g})^2\cdot\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(g'_{i+r,j+c}-\bar{g}'_{r,c})^2\cdot}}$$

相关系数法影像相关

- **相关系数法分析：**
  - 相关系数值 ρ 的大小一般在 $0<\rho<1$ 之间，ρ 的大小反映了相似性程度
  - 当 $\rho=0$，表示完全不相关
    $\rho=1$，则表示完全相关

相关系数法影像相关

- **相关系数法精度：**
  - 整像素相关的精度
  - 子像素相关的精度



相关系数

抛物线拟合

相关系数法影像相关

- **相关系数法不足：**
  - 当左右像片由于摄影、摄影处理等过程引起左右像片同名点灰度不一致时

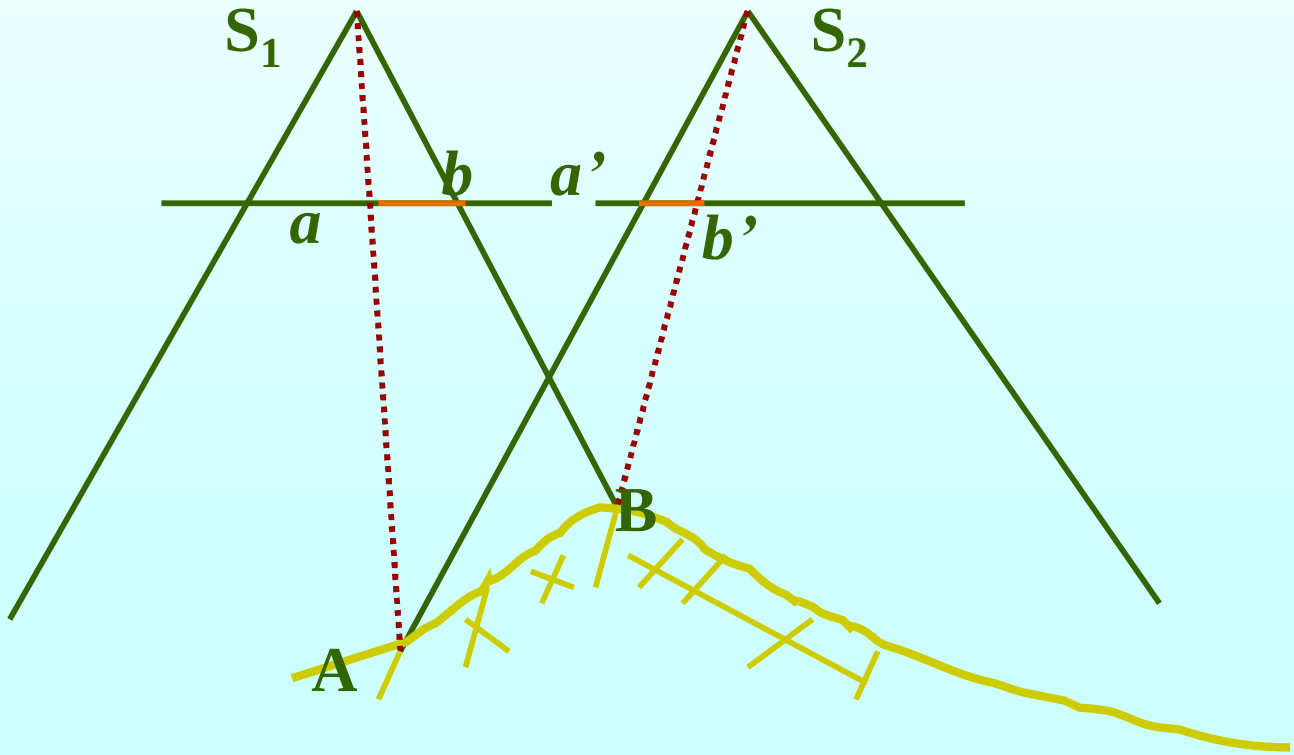




相关系数法影像相关

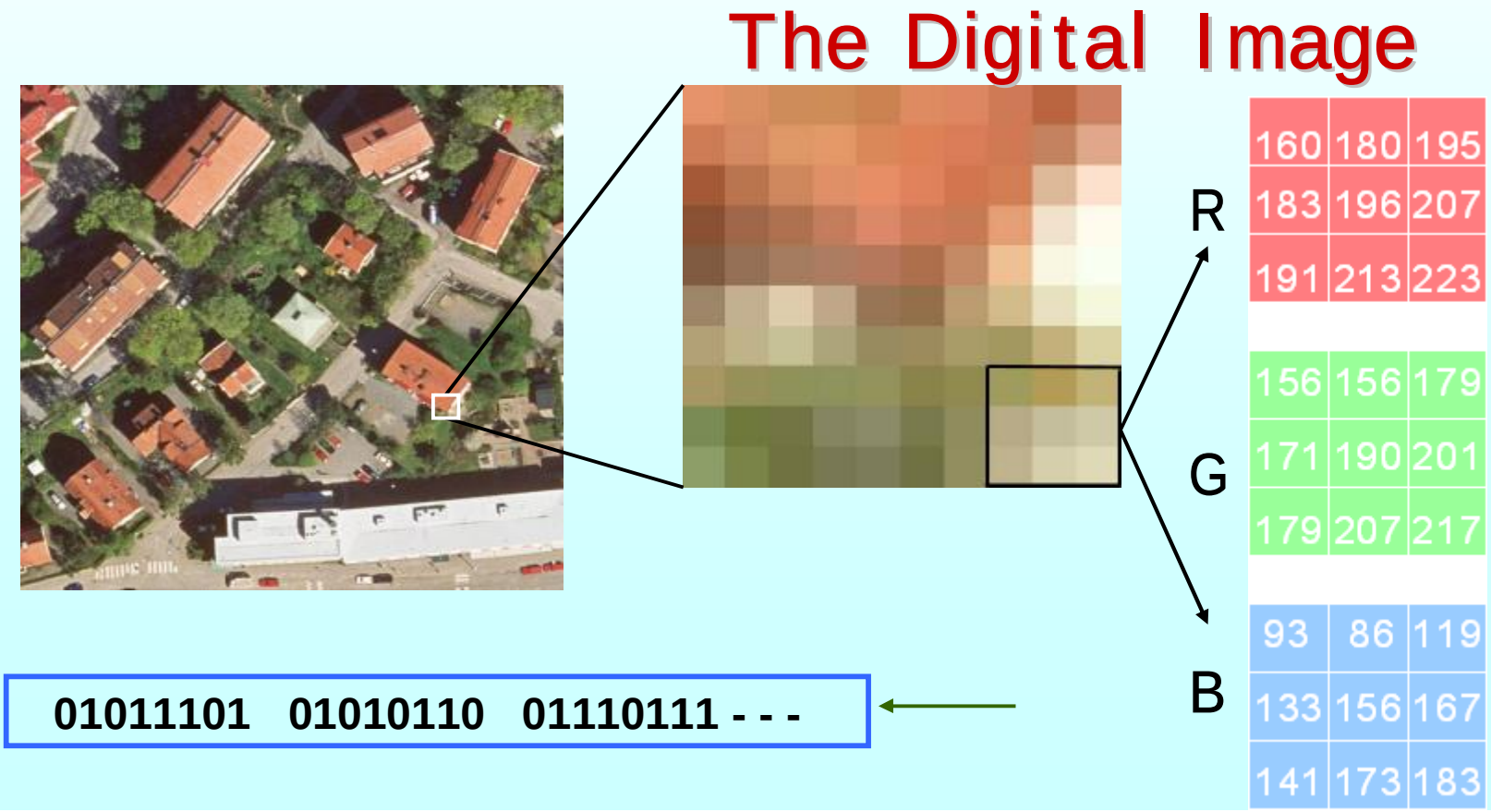
q 相关系数法不足：

ü 当地面由于坡度影响存在影像拉伸时



相关系数法影像相关

- 相关系数法不足：
  - 匹配窗口大小选取困难



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

最小二乘影像相关算法

- 以仅考虑辐射线性畸变的最小二乘匹配为例：

  假定灰度分布g_2相对于另一个灰度分布g_1存在着线性畸变，因此有：

$$g_1(x,y)+n_1=h_0+h_1g_2(x,y)+n_2$$

其中，h_0，h_1为线性畸变的参数；n_1，n_2分别为g_1，g_2中所存在的随机噪声。进一步地可得出最小二乘匹配的数学模型为：

$$v=h_0+h_1g_2-(g_1-g_2)$$

最后根据$\sum VV$ => Min的原理进行计算……

最小二乘影像相关算法

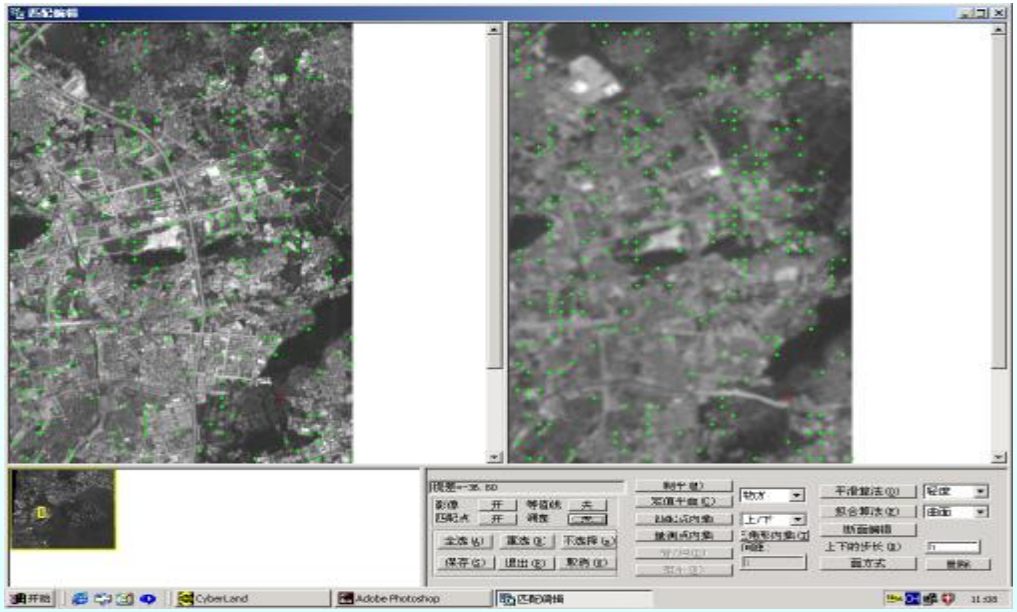
- 最小二乘影像相关法不足：
  - 最小二乘相关计算较复杂
  - 最小二乘相关需要比较准确的初值，即拉入范围小，否则会失去相关

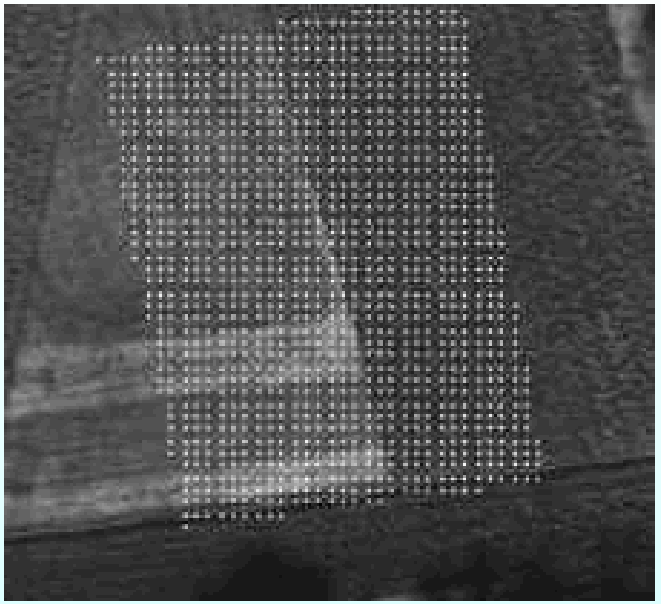
最小二乘影像相关算法

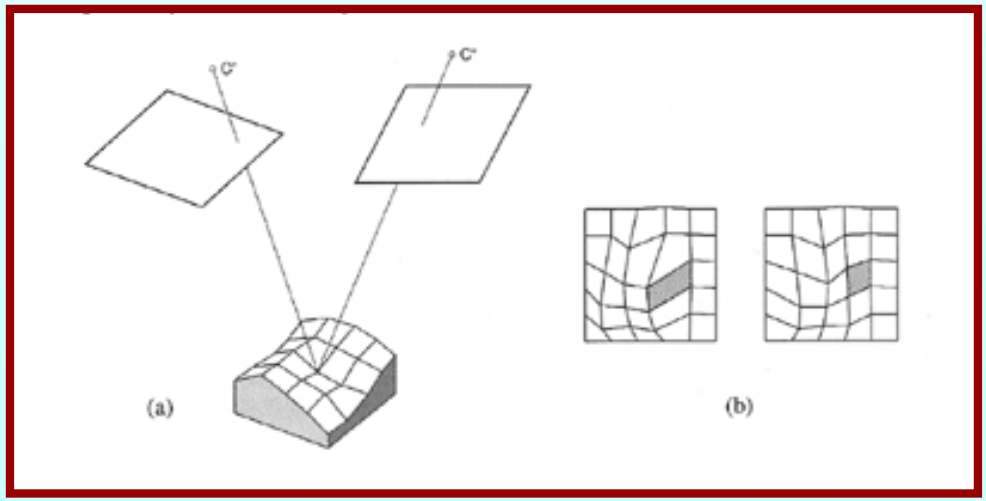
- **影像匹配的主要应用：**
  - 数字高程模型DEM的生产；
  - 像片连接点的自动选取；
  - 摄影测量点位加密；
  - 高精度点位测定（工业上）；

  等等

数字高程模型DEM的生产







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。

最小二乘影像相关算法

q 多点最小二乘匹配（整体匹配范畴）

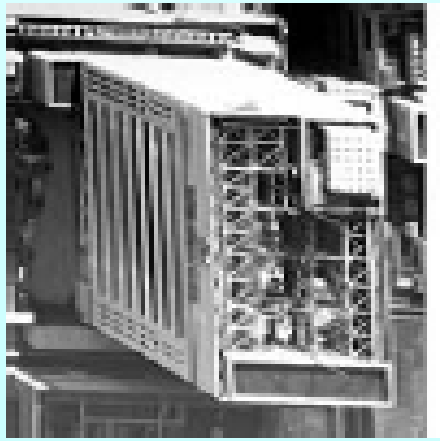
ü 针对单点影像匹配的不足（孤立的/不考虑相邻关系的匹配）而提出。

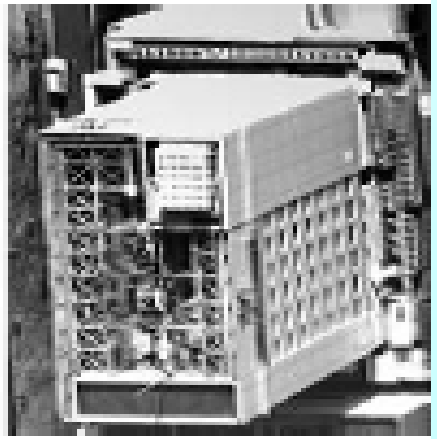
ü 多点最小二乘匹配（*Least Squares Multi-Point Matching*）是 *Rosenholm* 提出的将有限元内插法与最小二乘影像匹配相结合，直接解求规则分布格网上的视差（或高程）的整体影像匹配方法。

参考文献：张祖勋，张剑清．数字摄影测量学．

多片影像匹配

- 传统单基线（立体）摄影测量中，自动匹配和前方交会的精度难以兼顾，因为
  - 摄影基线短，交会角小，虽便于影像的自动匹配，但交会精度差；
  - 反之，摄影基线长，交会角大，交会精度高，但影像自动匹配困难





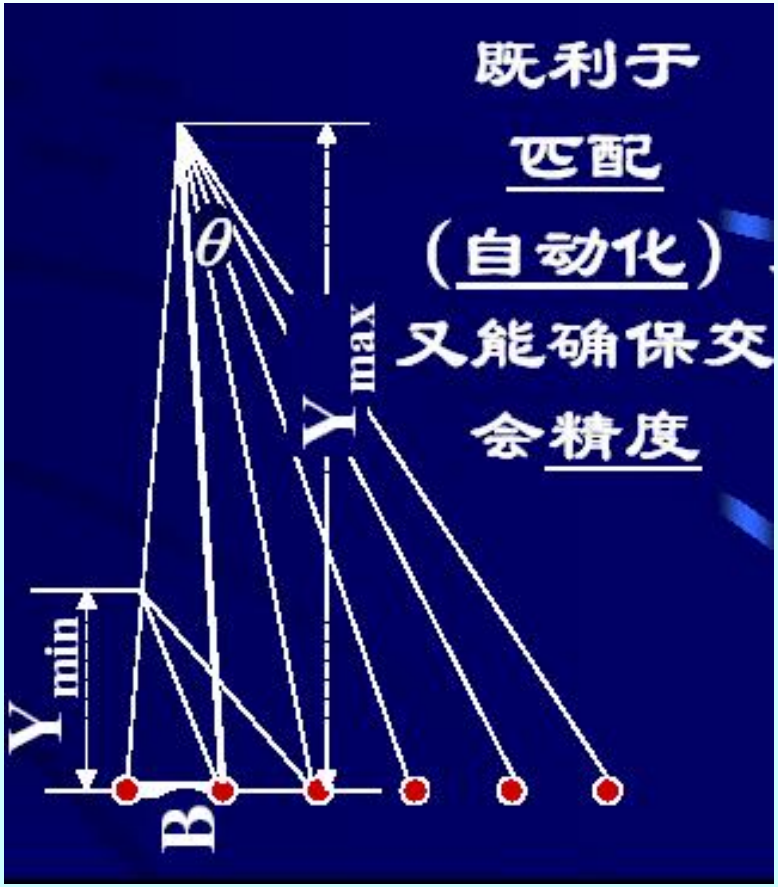
多片影像匹配

- 进入数字摄影测量时代后，不再局限于“双目”视觉，多基线摄影测量（多目视觉）成为可能。

  - 计算机视觉界很早就开始了三目立体视觉系统、三目机器人视觉系统、多目立体匹配等方面问题的研究

多片影像匹配

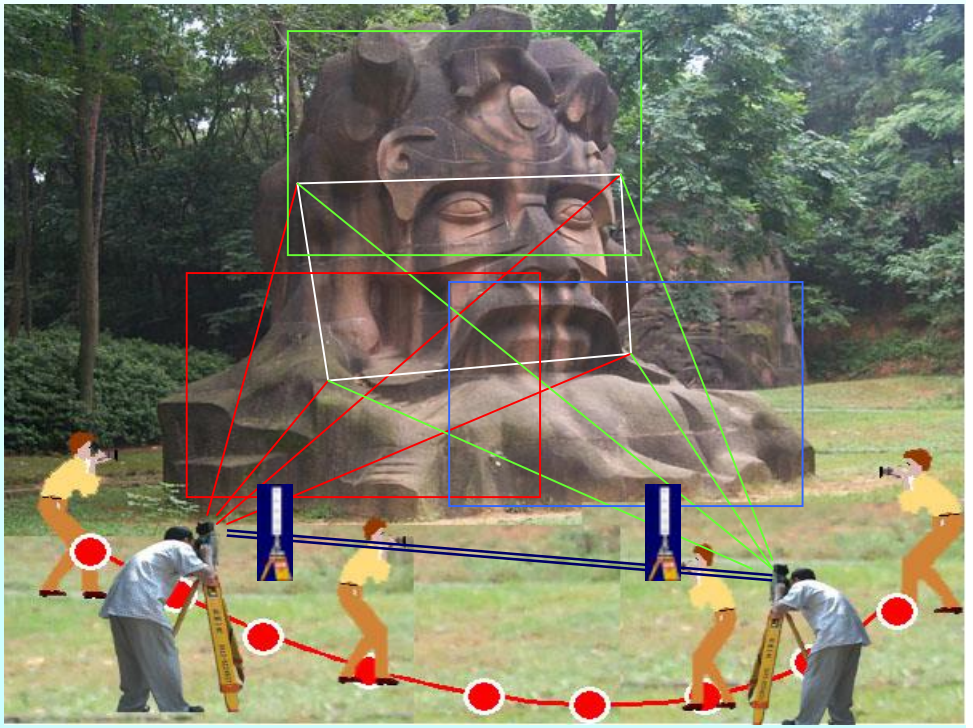
- 短基线（大重叠度）序列影像即有利于影像的自动匹配，同时也有利于提高前方交会精度



多基线摄影测量

多片影像匹配举例





多基线摄影测量

多片影像匹配举例

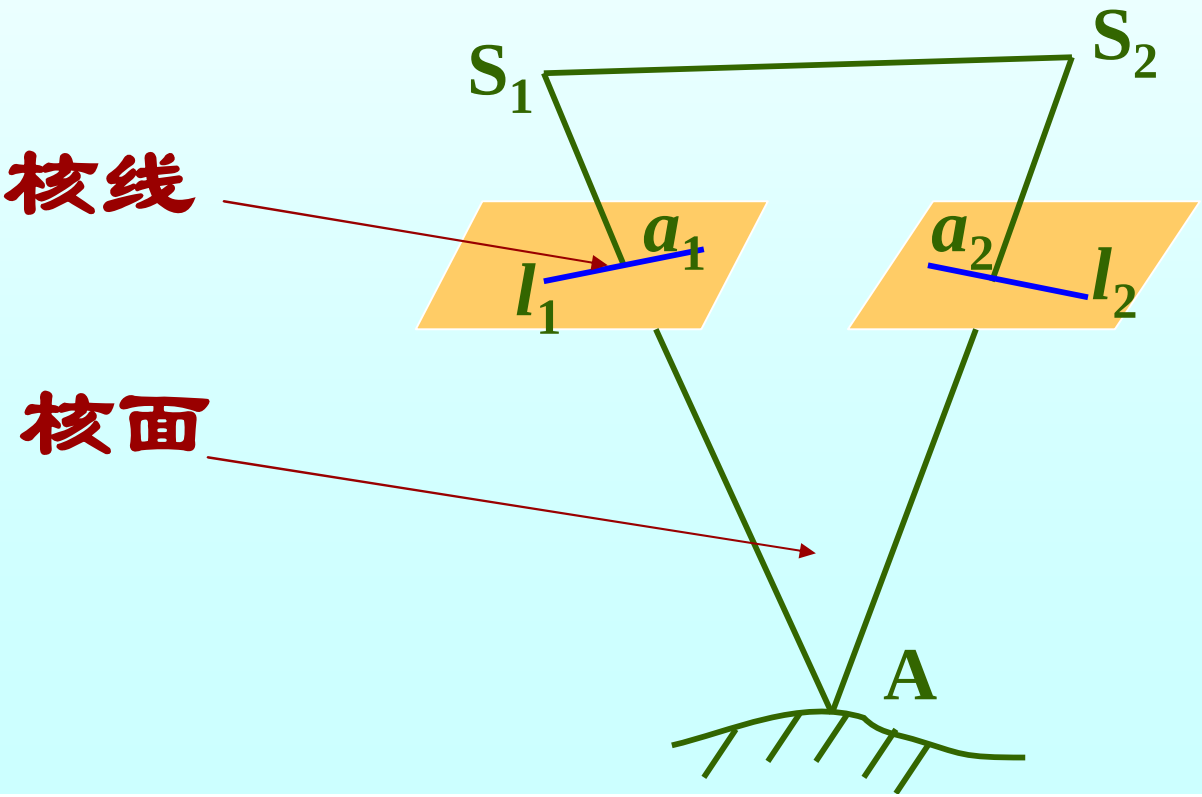
q 多基线摄影测量匹配特点

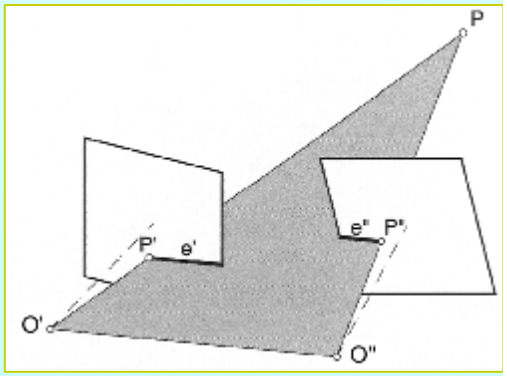
ü 对于影像中近景部分采用短基线进行立体交会，而远景部分采用跨像片的长基线进行立体交会

ü 由于非相邻像片之间也具有较大重叠，可利用相邻像片进行匹配传递从而获取具有多重叠度的同名点

同名核线的确定

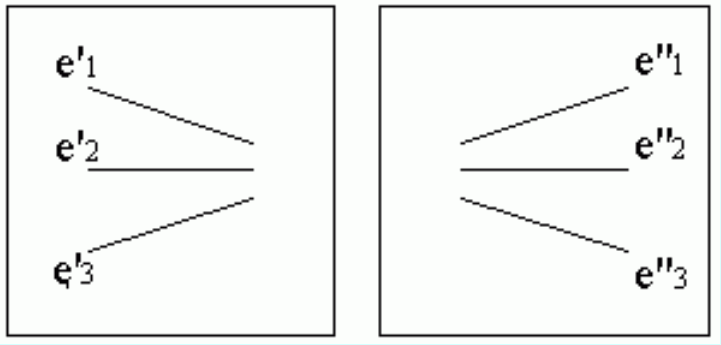
q **核线的概念：** 左右同名光线与摄影基线所构成的核面与两像片面的交线叫同名核线



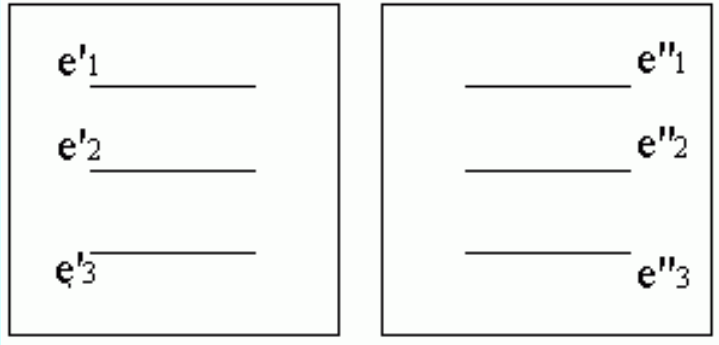


核线几何关系解析

- 倾斜像片上的所有核线（延长）交于一点
- 水平像片上的所有核线俩俩相互平行



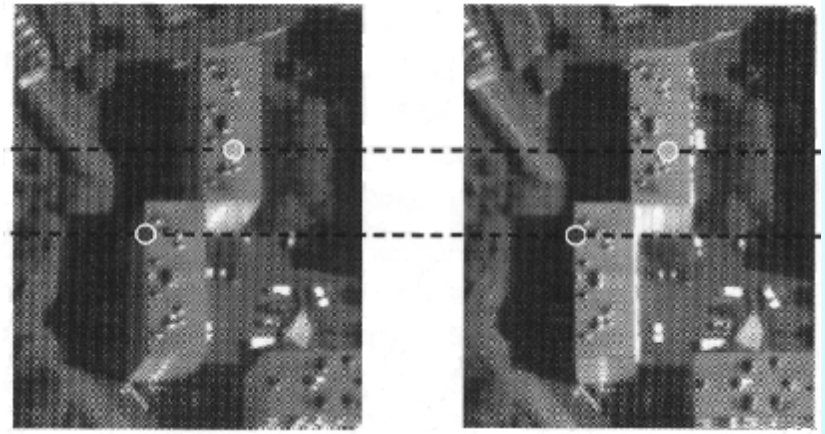
倾斜像片上的核线

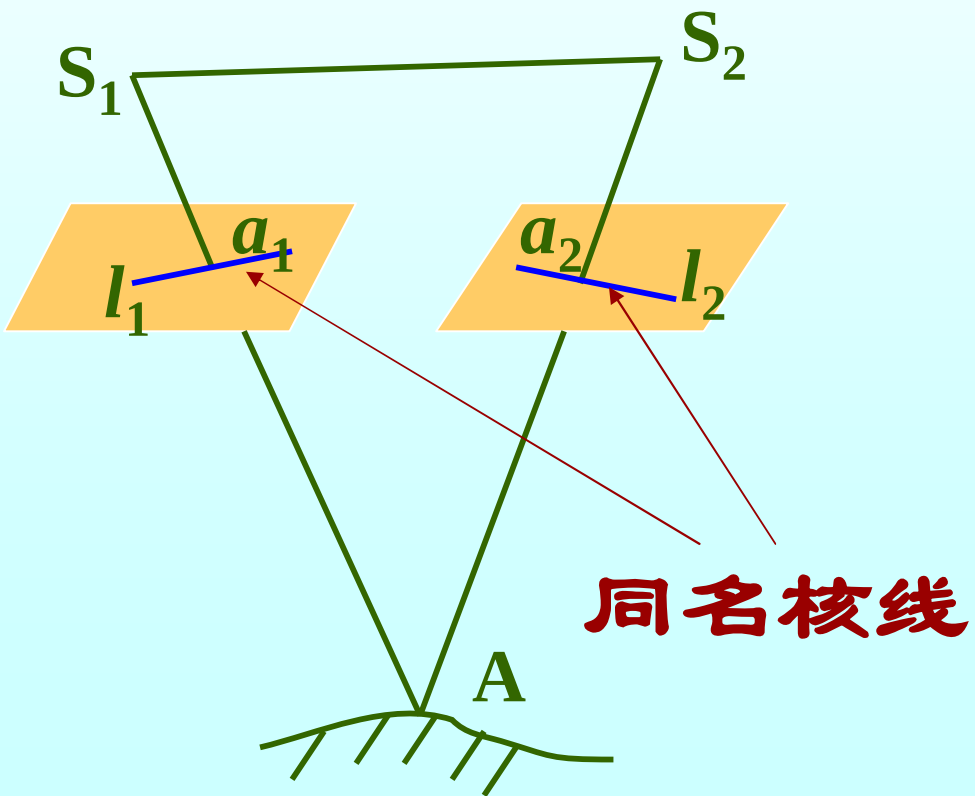


水平像片上的核线

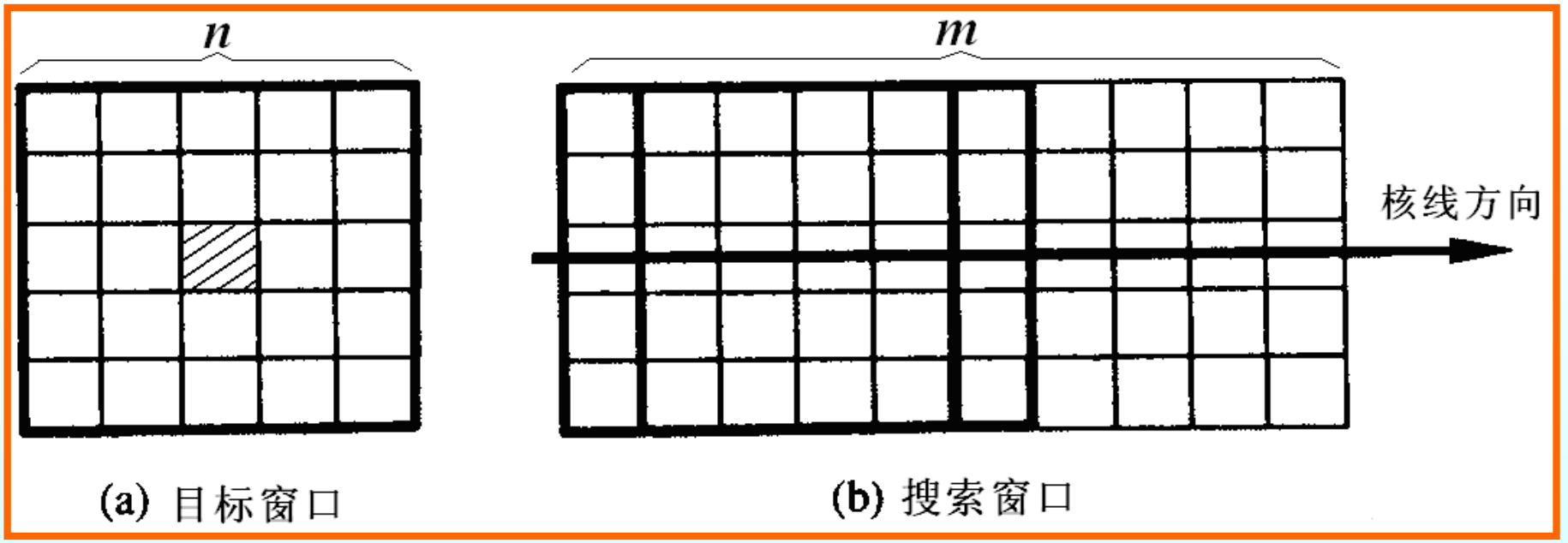
确定同名核线的意义

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。

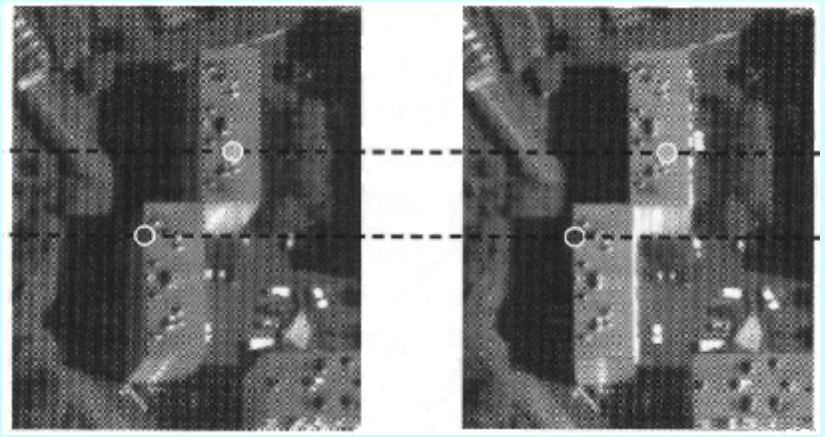




确定同名核线的意义



沿核线一维相关



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

q 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

q 影像的主要特征

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

等等



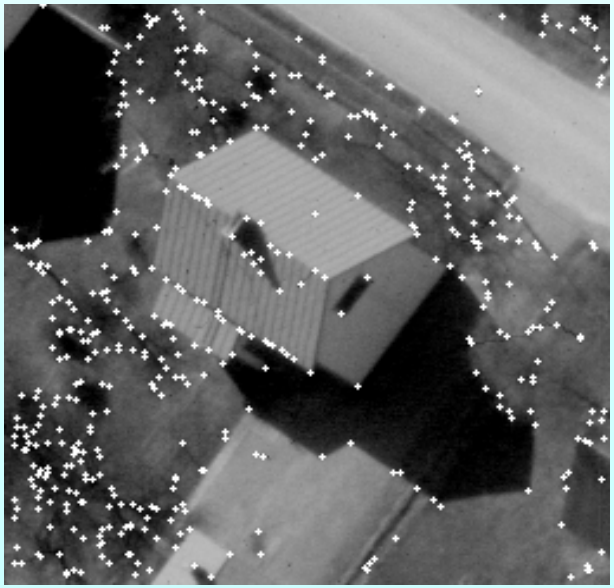


基于特征的影像匹配

- **点特征提取算法：**

提取点特征的算子称为兴趣算子或有利算子（Interest Operator），比较著名的有Moravec算子和Forstner算子

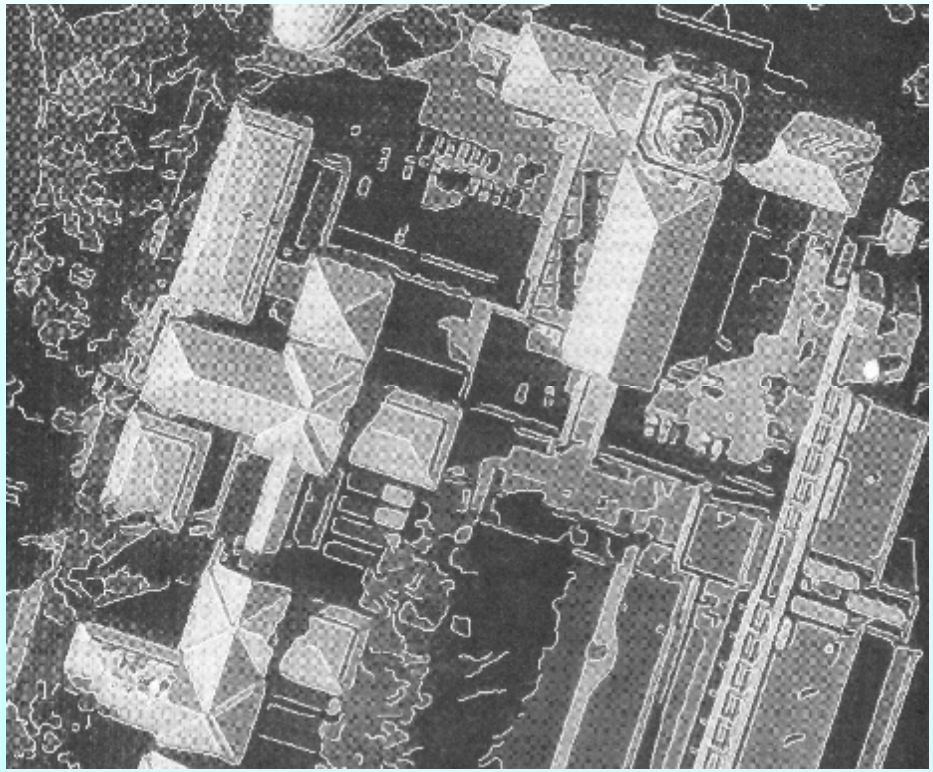




基于特征的影像匹配

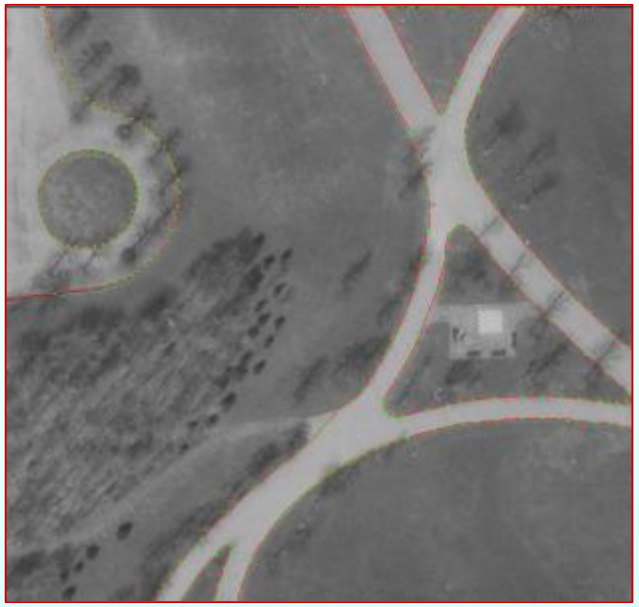
- **线特征：**

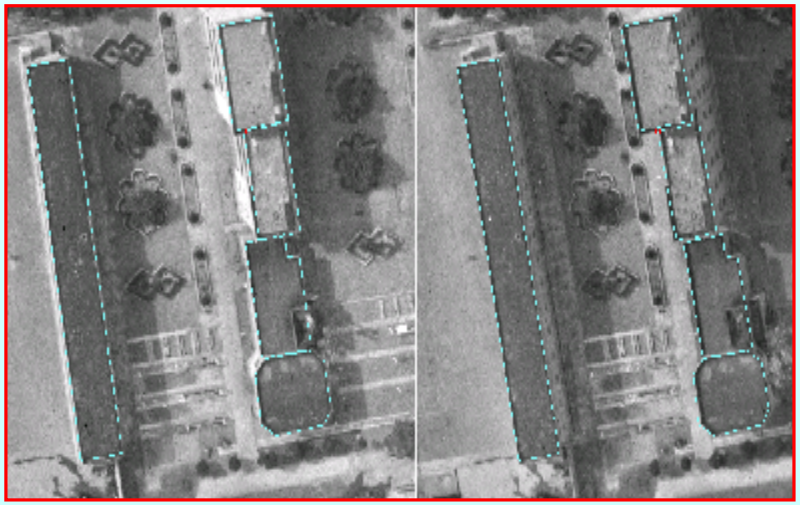
  线特征指影像不同区域的“边缘线”或“分界线”



基于特征的影像匹配

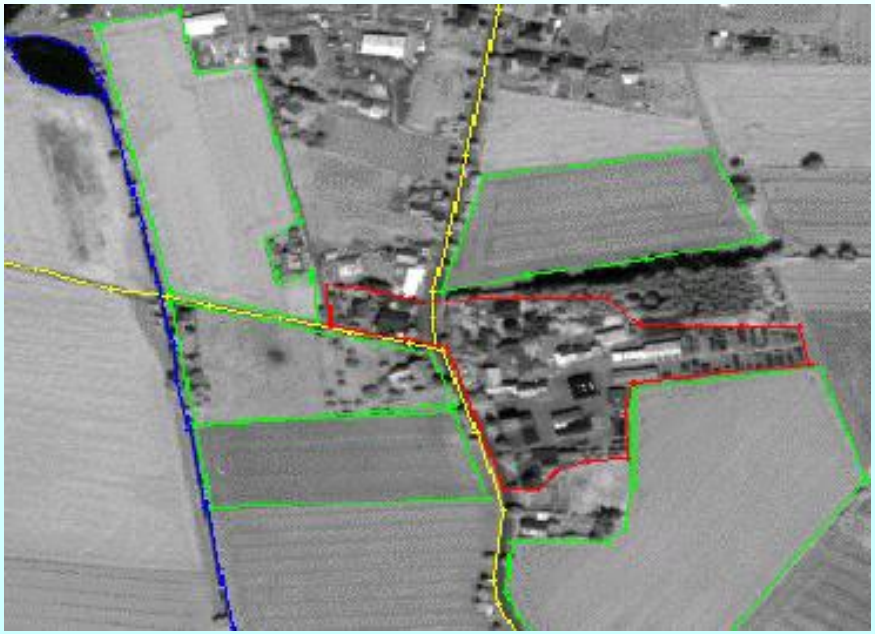
- **线特征提取算法：**
  - 差分算子
  - 二阶差分算子
  - 特征分割法
  - Hough变换　等

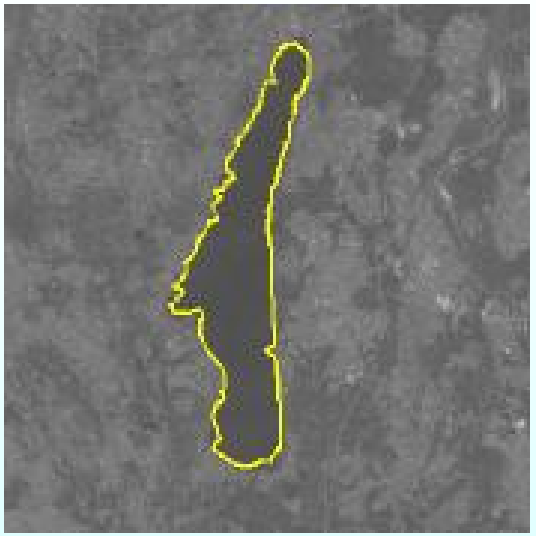




基于特征的影像匹配

q 面特征提取：





线特征与面特征的相互联系

基于特征的影像匹配

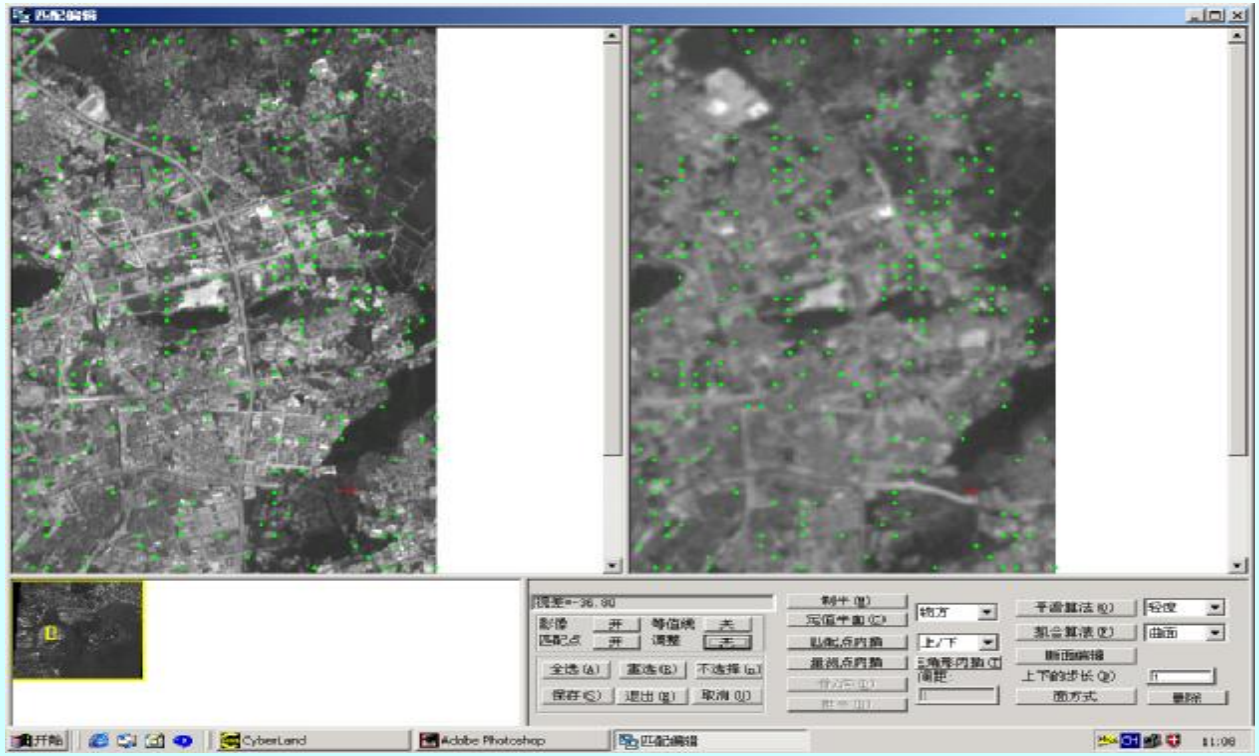
- 影像纹理





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。

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

- 基于特征影像匹配的步骤：
  - 特征提取和定位
  - 利用一组参数对特征进行描述
  - 对特征参数进行匹配

基于特征的影像匹配

q 基于特征影像方法的优缺点：

优越性：

ü 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）

ü 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，通常作为一种初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：

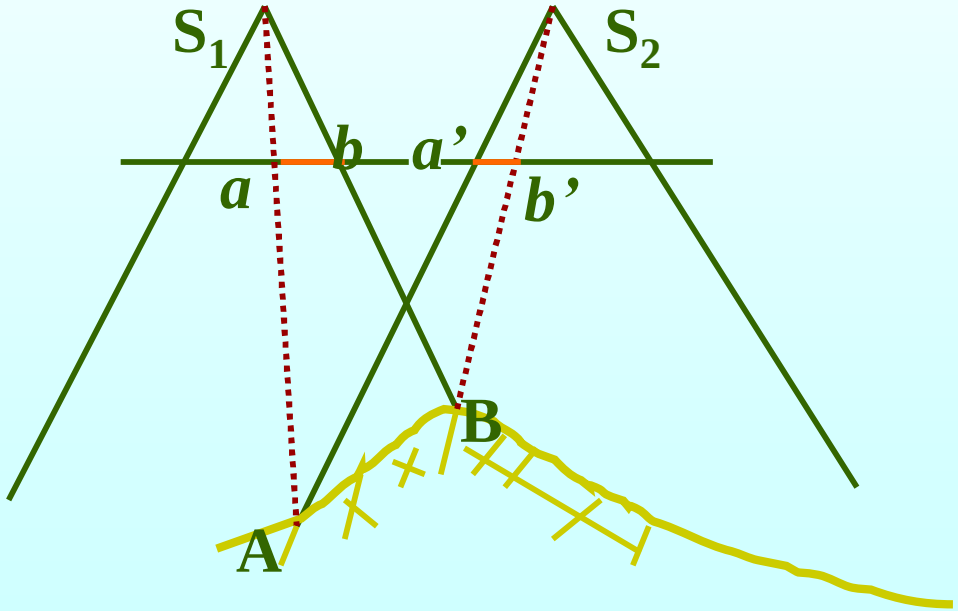
在很多场合，影像匹配的目的不一定是用于地形测绘，也就不一定要生成密集的描述空间目标的格网点，而只需要配准某些“感兴趣”的点、线、面。

特征匹配在计算机视觉界应用更广泛。

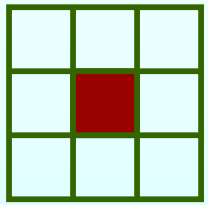
（Primitive-based Matching）

基于特征的影像匹配举例

- 以“跨接法”影像匹配（bridge-based image matching）为例，其基本思想如下：



“跨接法”窗口：*a*与*a’*对应，*b*与*b’*对应，以顾及几何变形

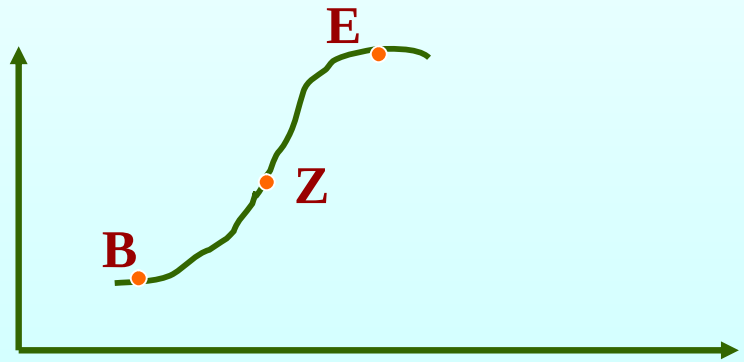


“中心法”窗口无法顾及几何变形

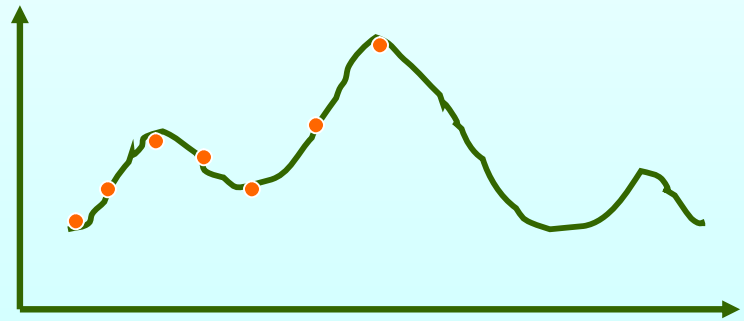
基于特征的影像匹配举例

q 跨接法影像匹配实施步骤：

1、特征提取（使用“影像段”分割法）



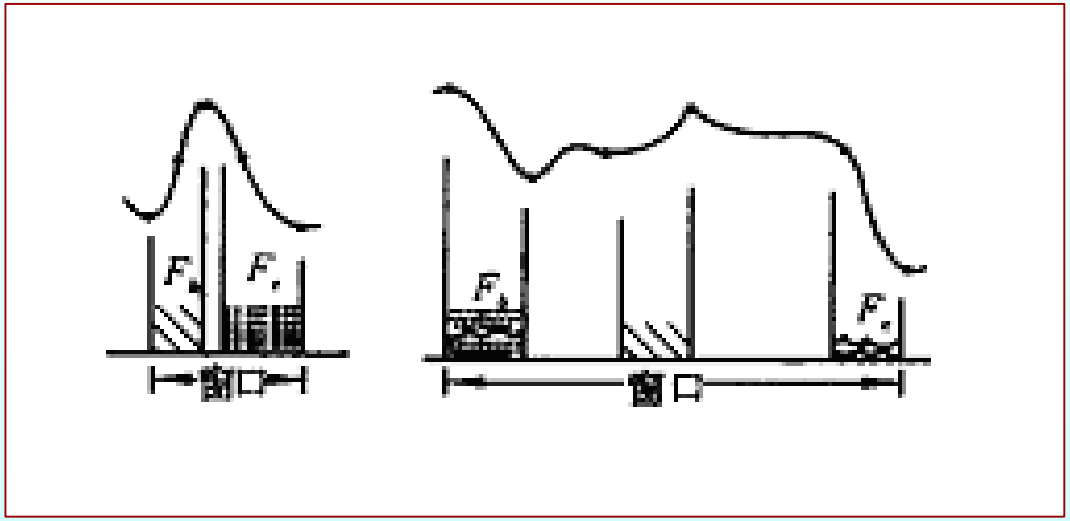
一条特征段



一条核线上的多个特征段

基于特征的影像匹配举例

2、构成跨接式目标窗口及搜索窗口



3、跨接式影像匹配

关系匹配

q 关系匹配（结构匹配、语义匹配）

- ü 当对影像进行特征提取后，特征之间具有结构性质，可以对特征结构进行描述，从而引入了特征结构之间的关系匹配。
- ü 区域匹配和特征匹配不适合于非量测影像，因为这些影像通常是交向的，而且其内外方位定向参数是未知的。

关系匹配是特征匹配的扩展或变化形式，其核心问题是结构描述。

关系匹配

- 关系匹配（结构匹配、语义匹配）

基本思想： 建立一个结构描述与其它结构描述之间的对应关系，结构描述定义为一组初值和它们之间的关系。而结构匹配的目的就是要匹配两个或更多的结构描述，它不仅利用了影像特征，而且利用了拓扑和几何关系，所以可以全自动地进行影像匹配而无需任何先验知识。

关系匹配

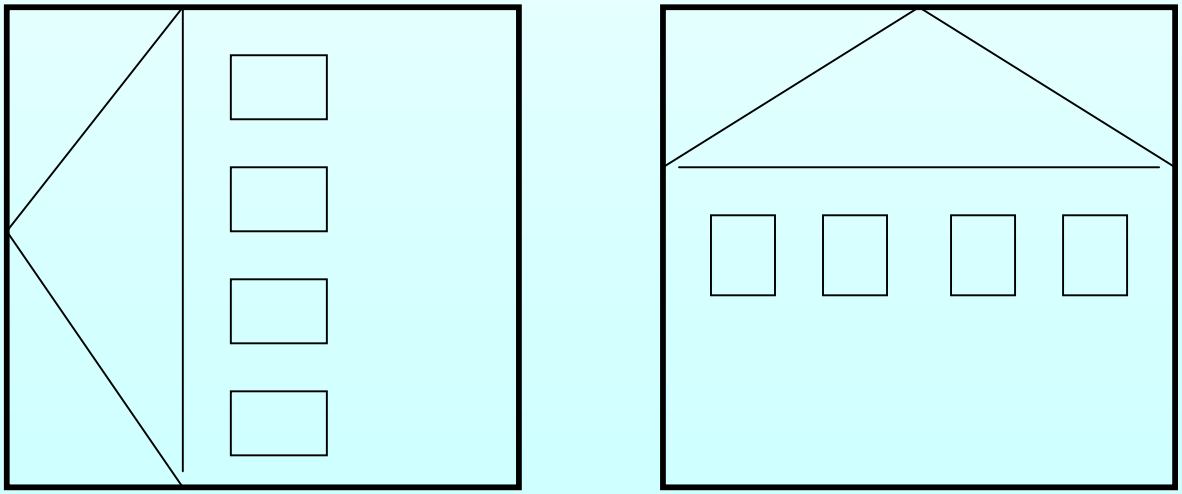
q 关系匹配适用场合

- ü 图形-图形间的匹配
- ü 图形-影像间的匹配
- ü 影像-影像间的匹配
- ü 影像-相应目标物体间的匹配
- ü ……

关系匹配

- 结构匹配方法特别适用于非量测影像，因为结构匹配法的一个重要特性是旋转不变性，立体像对的K角可以是任意值。

举例



参考文献：王有年文章

数字影像匹配基本算法小结

q 匹配基本算法比较

匹配方法	相似度量测	匹配实体
基于区域	相关系数 最小二乘	灰度级
基于特征	代价函数	点、边缘
基于符号	代价函数	符号/描述

数字影像匹配基本算法小结

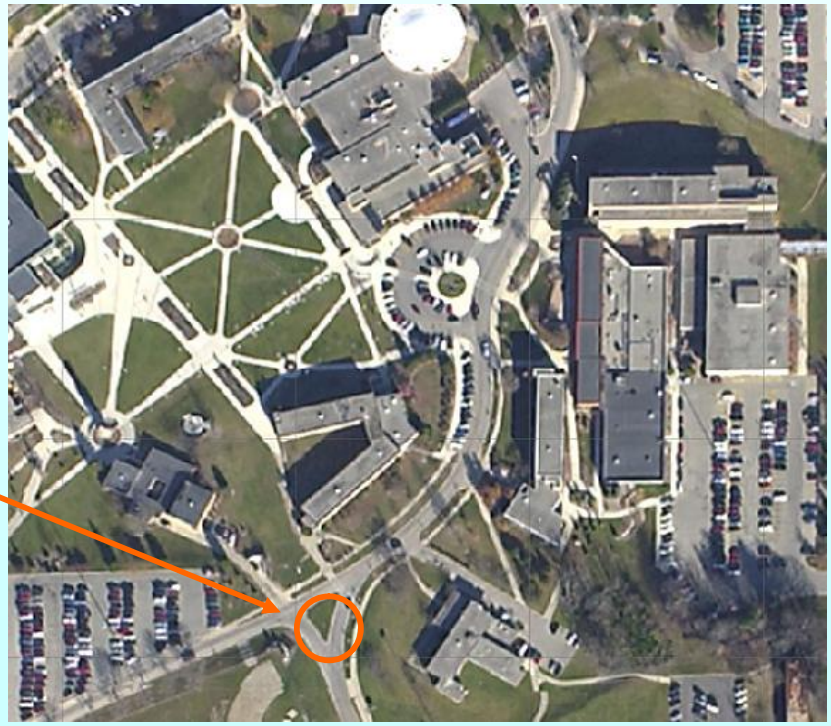
- 影像匹配的主要内容

  - 选择一个合适的匹配实体（点、特征）
  - 在另一张像片上寻找对应的实体
  - 计算所匹配实体在物方空间的位置
  - 对匹配的质量进行评价（质量检查）

分层次的影像匹配分析

q **分析发现：** 人眼立体观测的过程是由粗到细（全局到一般/宏观到微观）的，即：

基于解译 à 基于特征 à 基于灰度



分层次的影像匹配分析



q **得到启发：** 数字影像匹配也应分层次进行，只有将上述三者结合起来，才能真正实现立体观测的全自动化。

整体影像匹配

- 整体影像匹配算法主要包括：
  - 多点最小二乘影像匹配
  - 动态规划法影像匹配
  - 松驰法影像匹配
  - 基于人工神经网络的影像匹配
  - 基于遗传算法的影像匹配

……

整体影像匹配一般都属于迭代算法，收敛效率受拉入范围（近似值）的影响很大。

立体匹配策略小结

立体匹配的实质是一个病态问题，无任采用何种类型的匹配算法，均需加入有效的匹配策略以便限制其解空间的大小更大程度地减小匹配结果的歧义性。

立体匹配策略小结

q 常用的匹配策略有

1、全局最优搜索策略（整体匹配思想）

ü 多点（片）最小二乘影像匹配
ü 动态规划法 → 最小成本路径
ü 松驰法影像匹配
ü 图形切割法（基于二维马尔可夫过程）
ü 基于人工神经网络的影像匹配
ü 基于遗传算法的影像匹配
ü 多重信息多重判据的影像匹配

……

立体匹配策略小结

q 常用的匹配策略有

2、分层匹配策略

ü 分频道影像相关法

ü 金字塔影像匹配法

……

原则：由粗到细，或由整体到局部

立体匹配策略小结

- 常用的匹配策略有

3、视差不连续区域（包括遮蔽）的检测技术

- ü 相似性尺度的阶跃现象
- ü 双向匹配技术
- ü 有序约束检测
- ü 视差梯度检测

……

影像匹配的困难

- **影像匹配的两个基本问题**
  - **匹配模糊度问题（Ambiguity）**

    以相关系数法为例： $\rho \rightarrow max$ **(0~1)**
  - **匹配组合爆炸问题（Combination explosion）**

影像匹配的困难

q 影像匹配中的具体困难举例

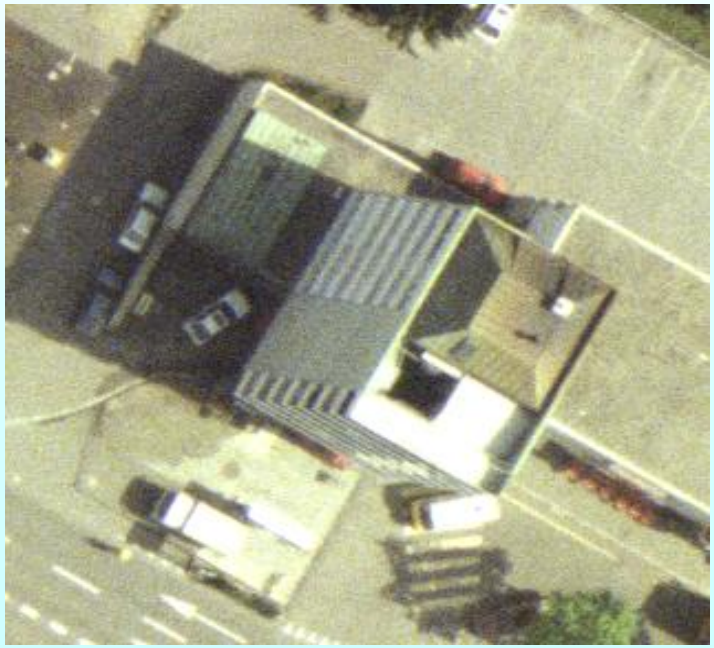
1、信息贫乏区域和纹理重复区域

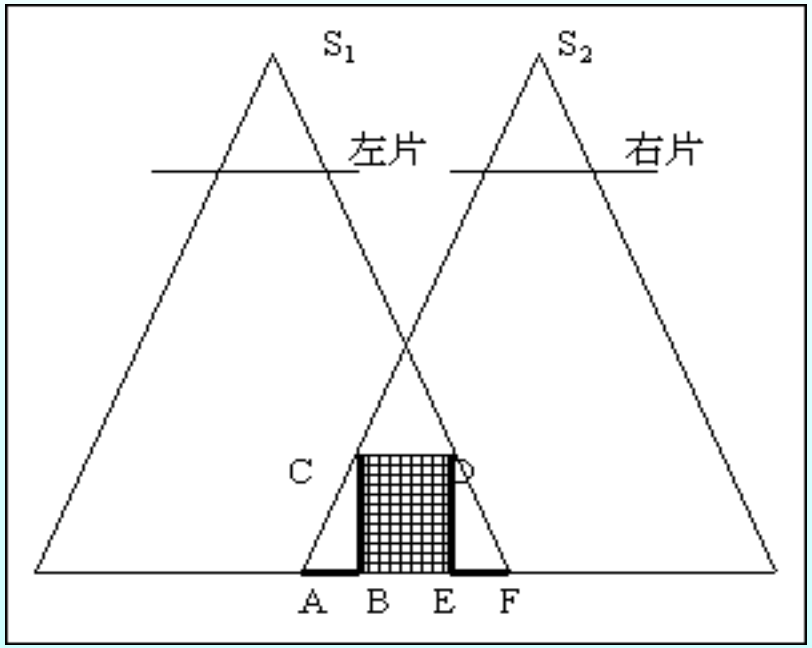


影像匹配的困难

q 影像匹配中的具体困难举例

2、遮蔽区域





3、非重迭覆盖范围

影像匹配的困难

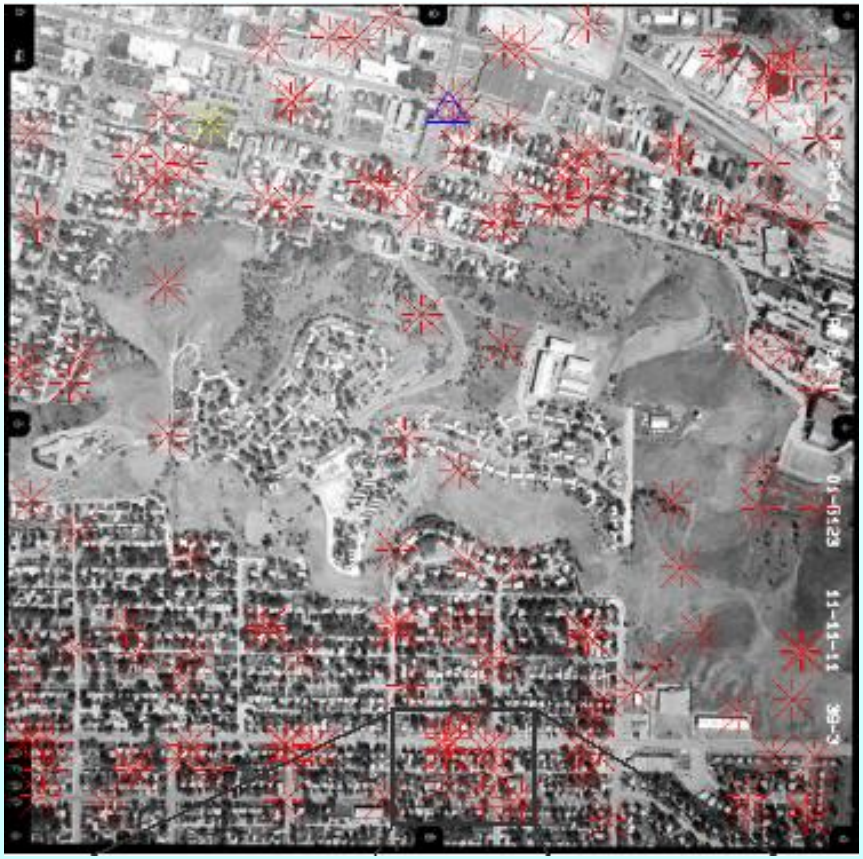
q 影像匹配中的具体困难举例

4、阴影区域

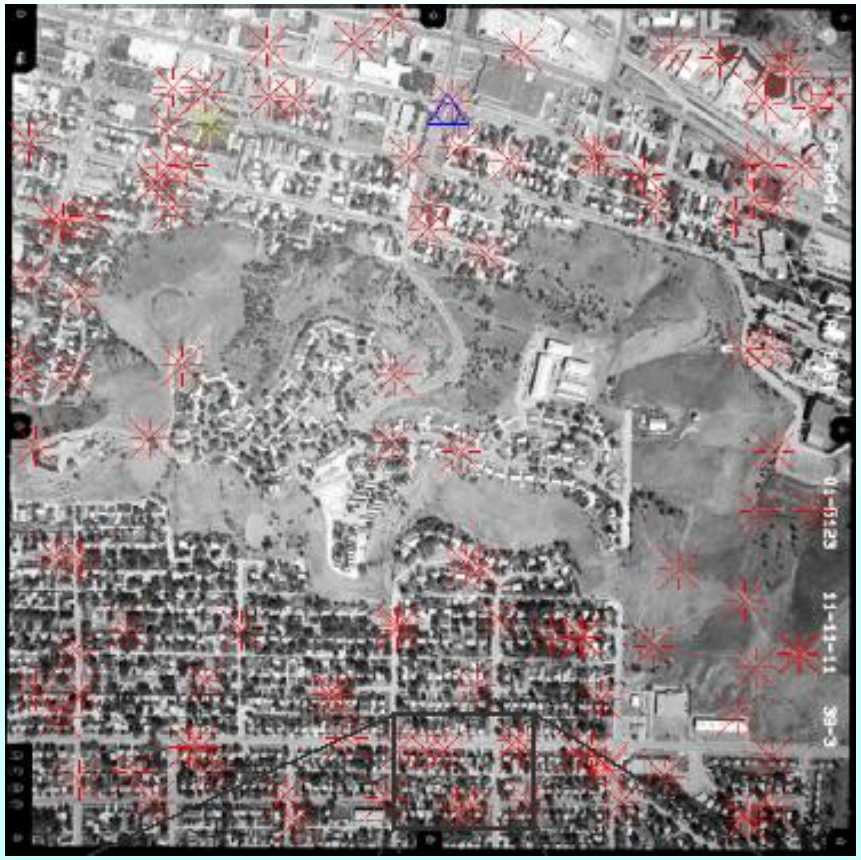


影像匹配的困难

自动空中三角测量中连接点的选择（阴影点剔除）



阴影点剔除前



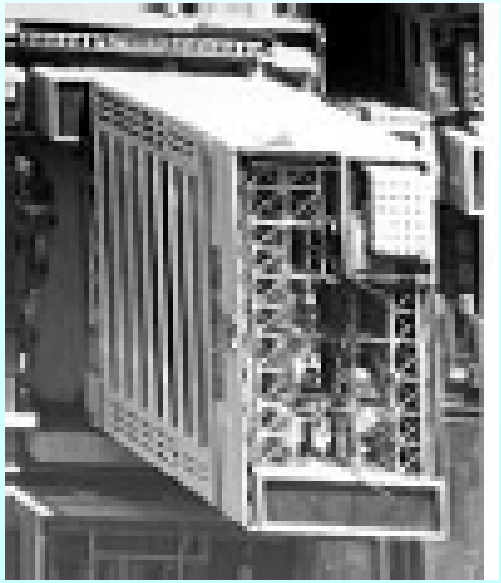
阴影点剔除后

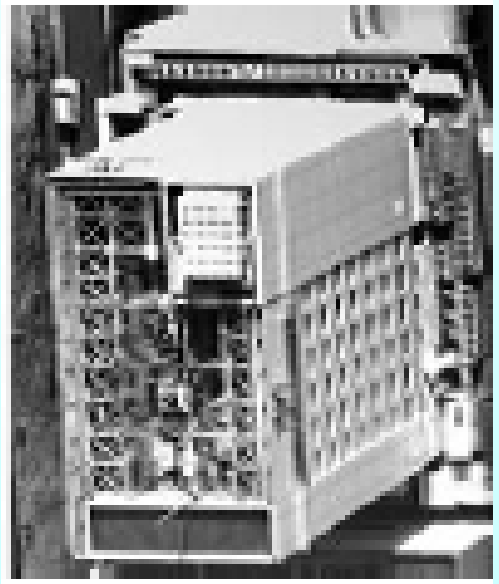
影像匹配的困难

- 影像匹配中的具体困难举例

5、在陡坡（地）表面

6、在断裂线地区





影像匹配的困难

- 影像匹配中的具体困难举例

7、非漫反射地区的匹配

8、运动的目标和阴影

9、其他方面（如：匹配窗口的形状、匹配窗口的大小等）

影像匹配的挑战与解决问题思路

- 总的原则：自适应的窗口形状和大小

  - 就窗口大小而言，窗口小则匹配定位精度高，但信息量小，易失去相关；窗口大虽信息量丰富，但匹配错误的机会增加

  - 解决的办法是匹配窗口大小及形状应根据地表情况自动进行调整
    （adaptive window shape and size）

影像匹配的挑战与解决问题思路

q 针对性策略：

1、对于纹理贫乏和周期性纹理区域

ü 自适应调整窗口大小

2、对于遮蔽/断裂线区域

ü 双向匹配

3、对于陡坡区域

ü 跨接发影像匹配

……

影像匹配的挑战与解决问题思路

- **挑战：**
  - 立体视觉是一门交叉科学，它与视觉神经系统和认知科学/心理学有着密切联系
- **两大研究方向：**
  - 从理解人类视觉认知机理出发，建立一种通用的双眼视觉模型（Top-down）
  - 从实际应用和要求出发，建立专用的立体视觉系统（Bottom-up）

补充

从数字摄影测量工作站 DPW

到数字摄影测量网格 DPGrid

数字摄影测量的发展与挑战

- 若干典型问题：
  - 辐射信息量（灰度、色彩）
  - 数据量
  - 算法（影像匹配、目标提取、目标定位...）
  - 速度、精度、可靠性、适应性
  - 影像解译（理解）
    - 常规：人工目标识别
    - RS：利用多光谱信息 + 其他信息
    - DPS：侧重利用影像辐射、结构和纹理信息

数字摄影测量的发展与挑战

q **发展与挑战：**

RS(DPS) + GIS + GPS + ES + … è 大测绘

影像信息学（影像信息工程系统）

§ 从影像获取角度：DPS + CV + POS + LIDAR + …

§ 从数据处理角度：智能化处理是发展方向

§ 从产品表达角度：4D / 真3D / 可视化 / Internet …

THE END

