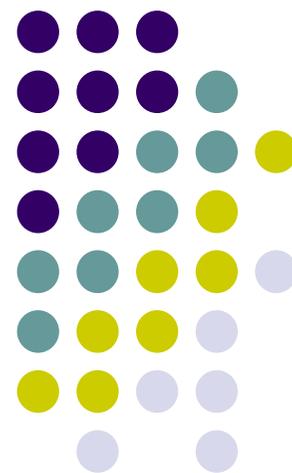


数字图像处理

第一章

数字图像处理概述

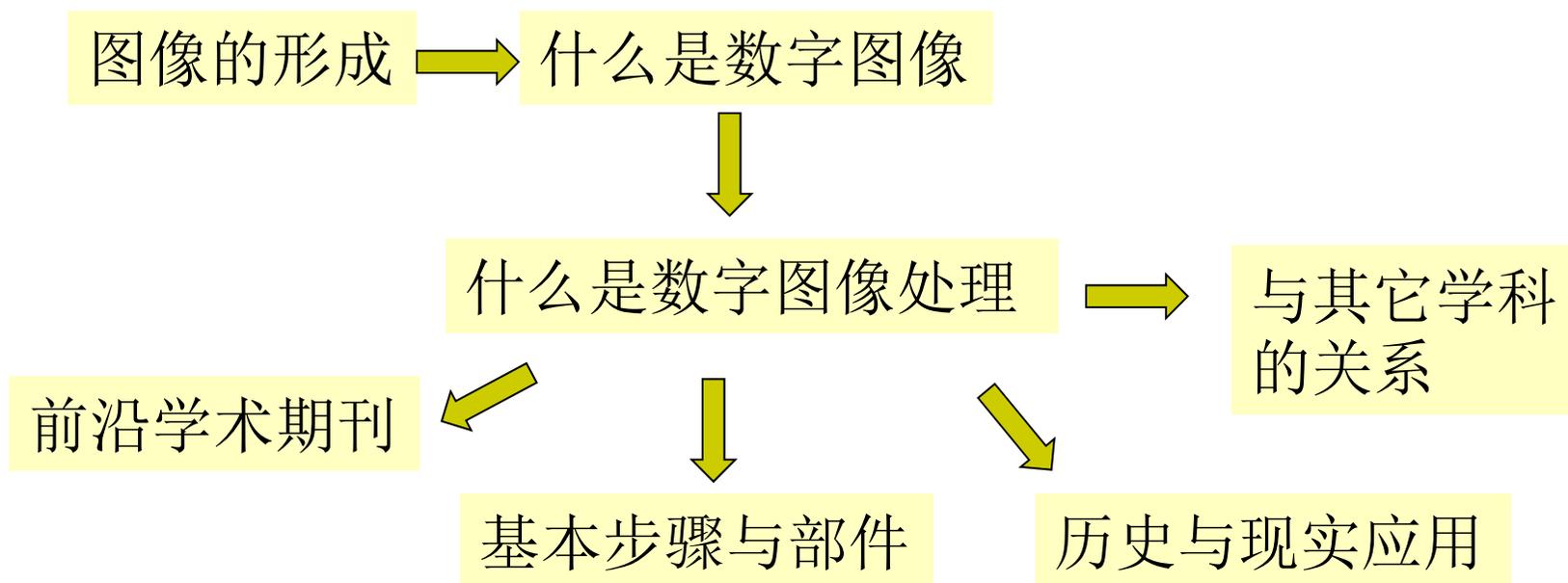


CH1 数字图像处理概述

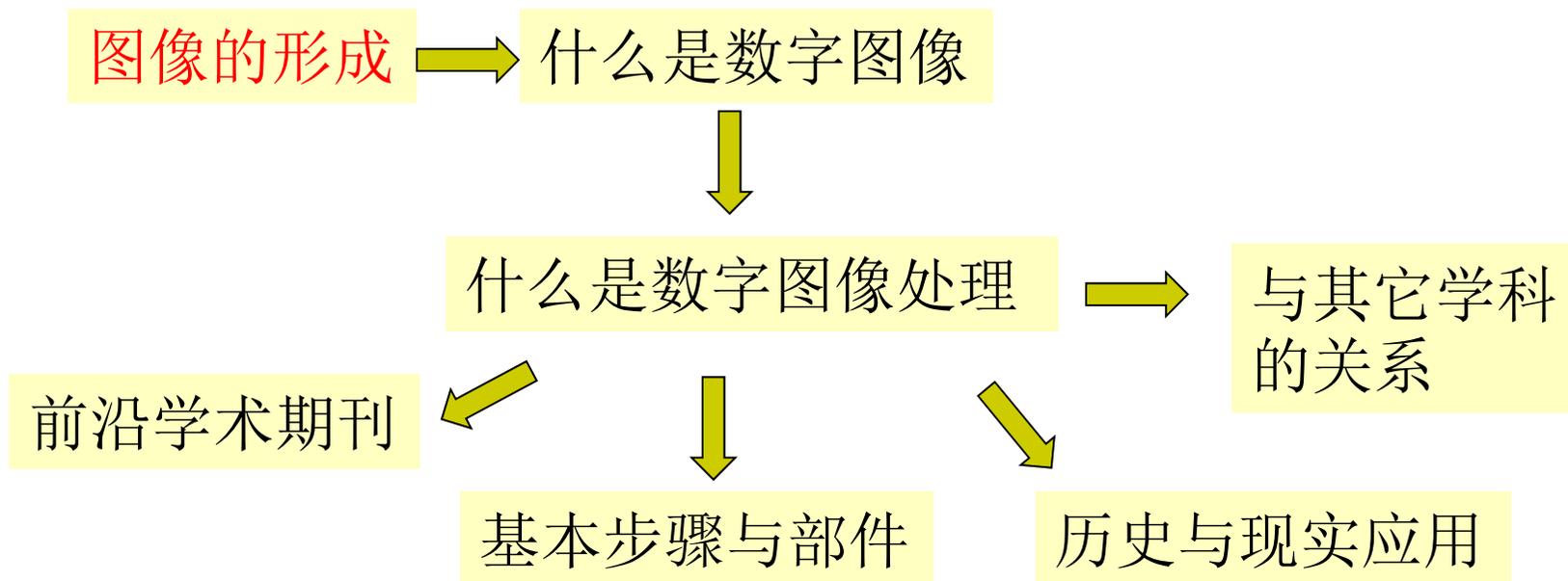


- **图像的形成**
- **什么是数字图像**
- **什么是数字图像处理**
- **数字图像处理与其它学科的联系与区别**
- **数字图像处理的历史与应用**
- **数字图像处理系统的基本步骤与部件**
- **数字图像处理的前沿学术期刊**
- **小结**

CH1 数字图像处理概述



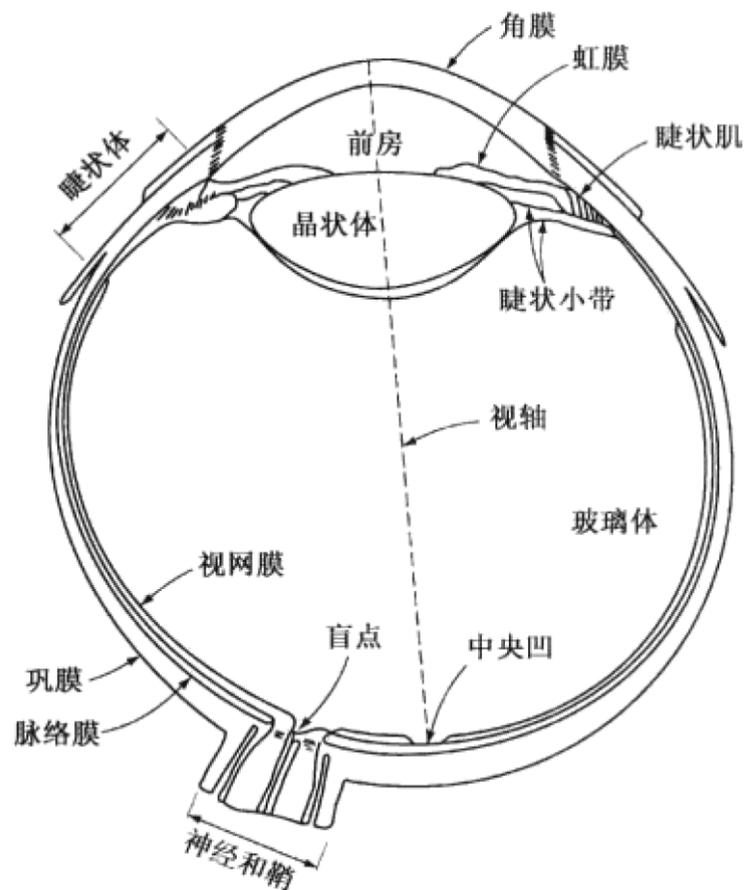
CH1 数字图像处理概述



图像的形成

- 例子：眼睛中图像的形成
- 基本原理

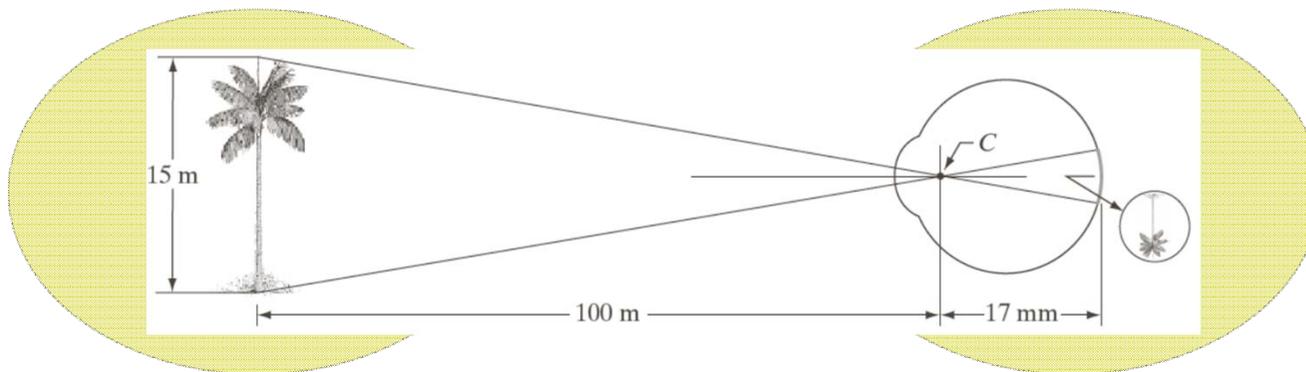
- 几个要素
 - 光源
 - 晶状体
 - 视网膜（成像）



例子：眼睛成像



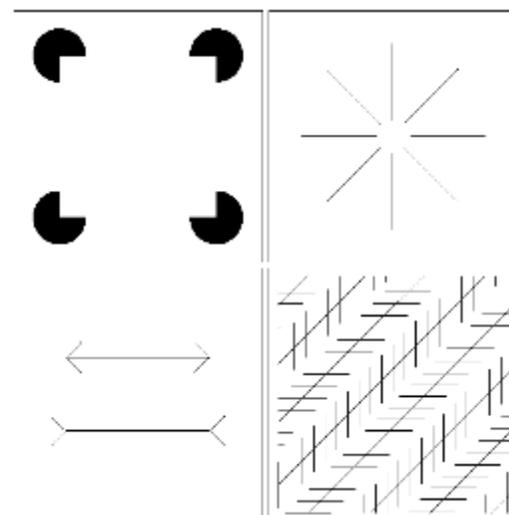
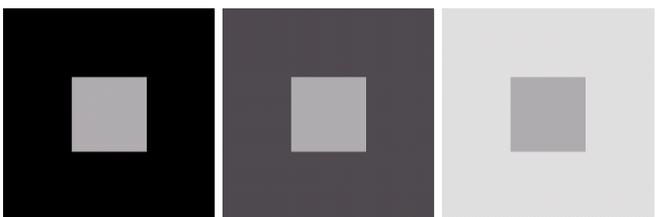
- 基本原理



信号

成像接收设备

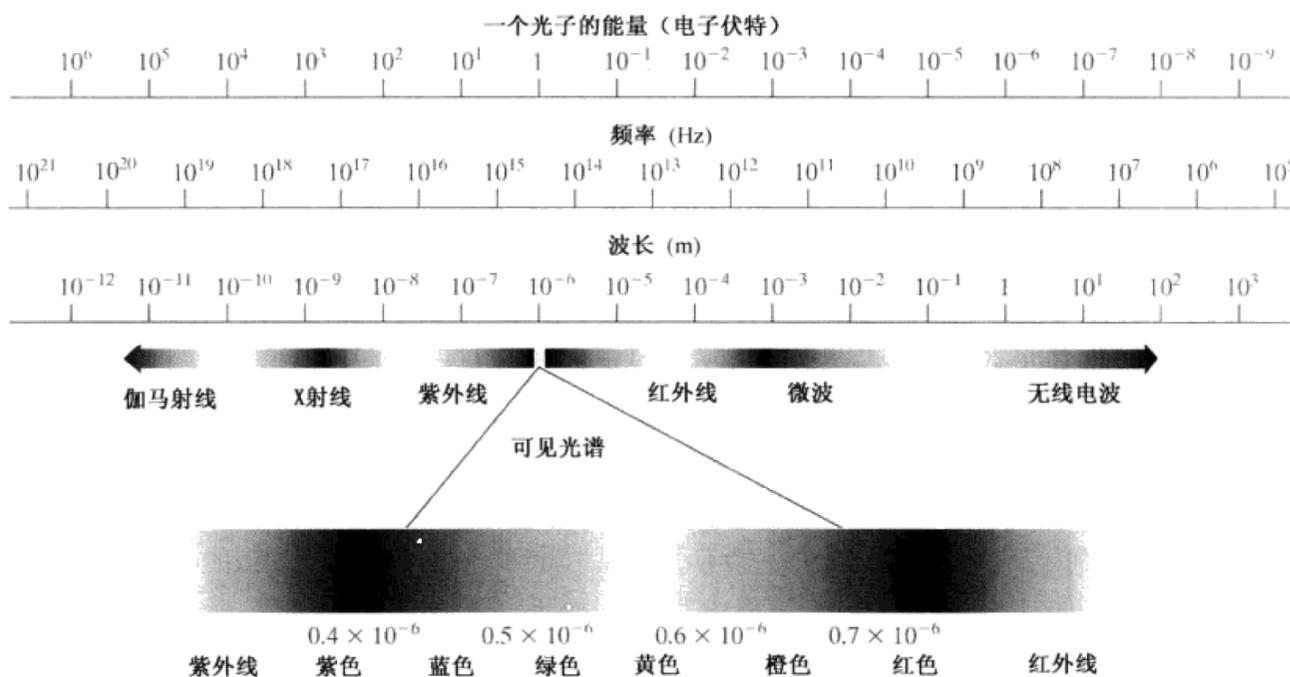
- 人眼是否可靠？



电磁波成像



- 电磁波是一种广泛存在的物理信号。可见光是其中的一个频段



- 如果可以开发出成像接收设备，能够接受电磁波发射的能量，那就可以对电磁波进行成像



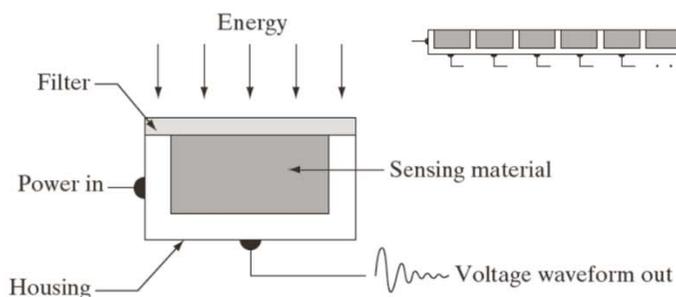
成像接收设备

- 随着科技不断进步，成像接收设备已经可以很成熟接收电磁波信号，如
 - 单传感器成像
 - 带状传感器成像
 - 传感器阵列成像
 - ...

基本原理是检测到电磁波信号，然后转化为电压信号，然后用于成像

对传感器成像的细节感兴趣的同学，可以参见教材2.3节

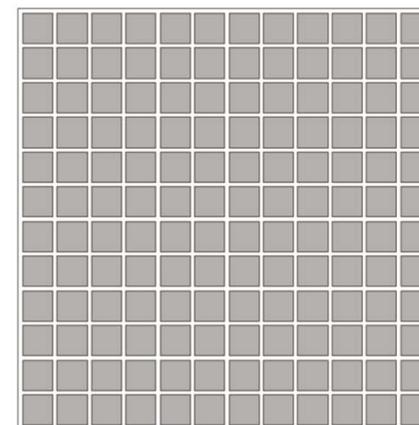
单传感器



带状传感器

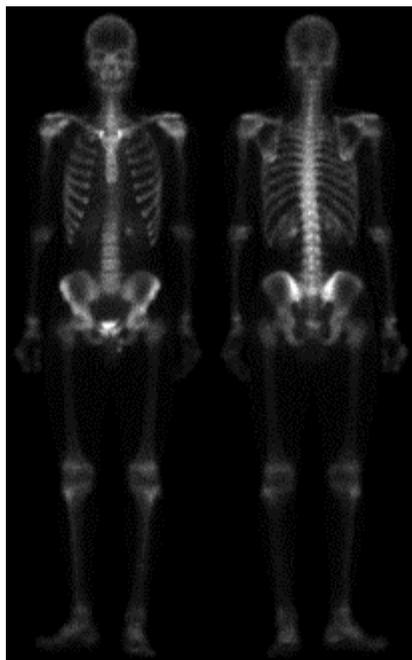


阵列传感器



成像例子

- 伽马射线成像



骨骼扫描图像

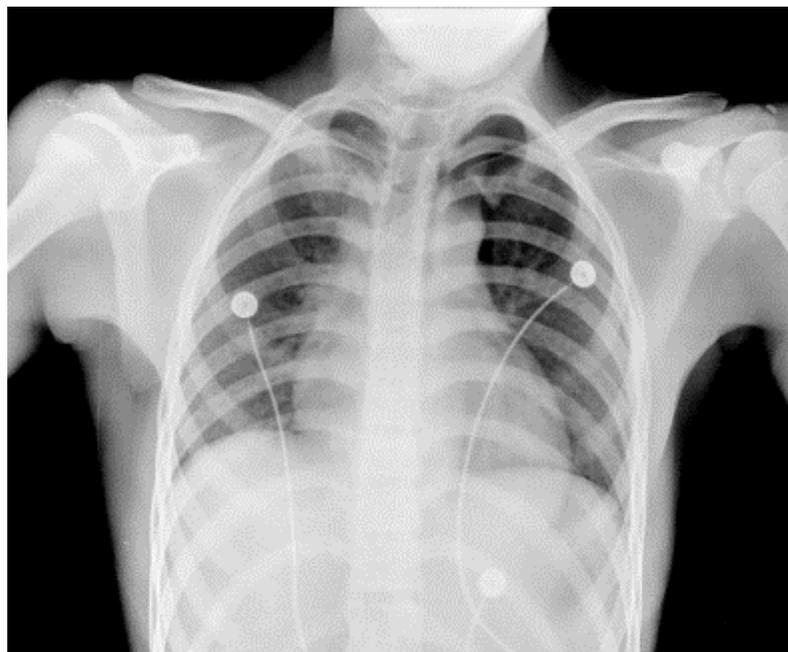


天鹅星座环图像

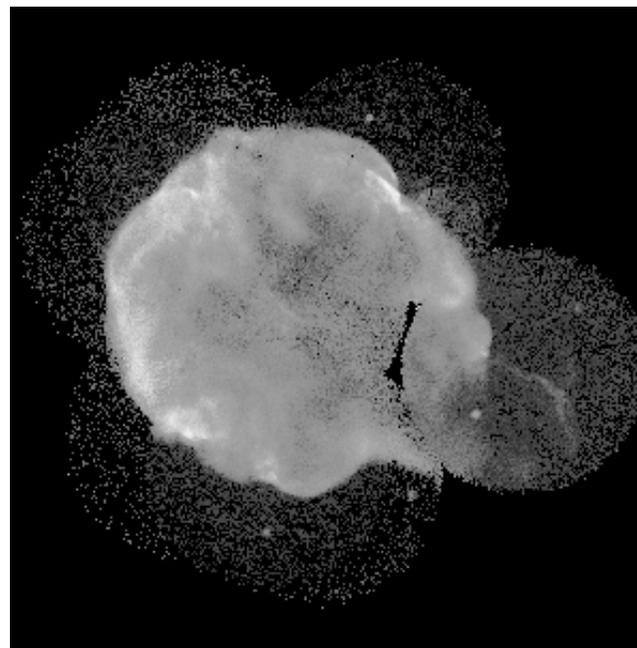
大约15000年前，天鹅星座中的星球发生大爆炸，产生了一团过热的稳定气云。

成像例子

- X射线成像



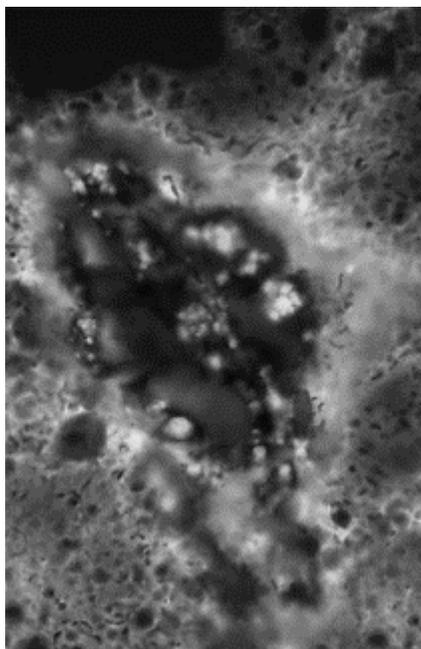
胸部X射线图像



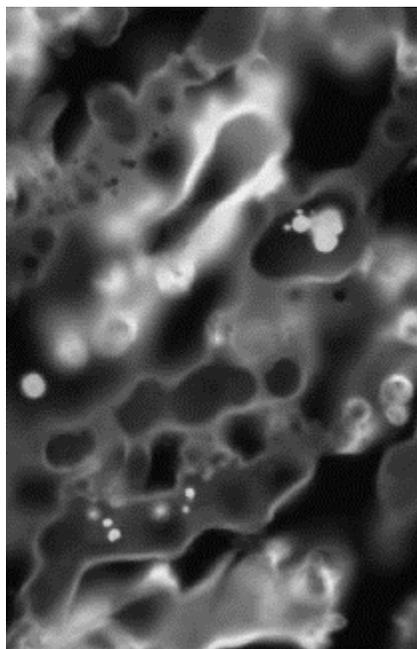
天鵝星座环图像

成像例子

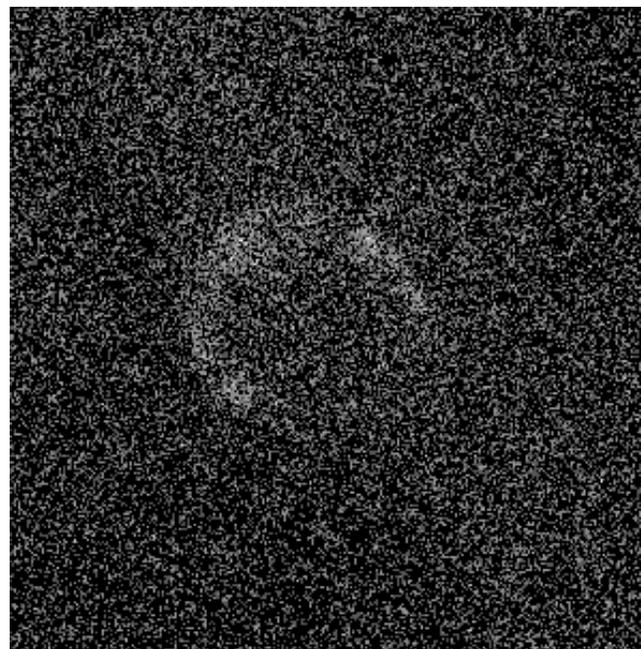
- 紫外波段成像



普通玉米



患黑穗病玉米



天鹅星座环图像

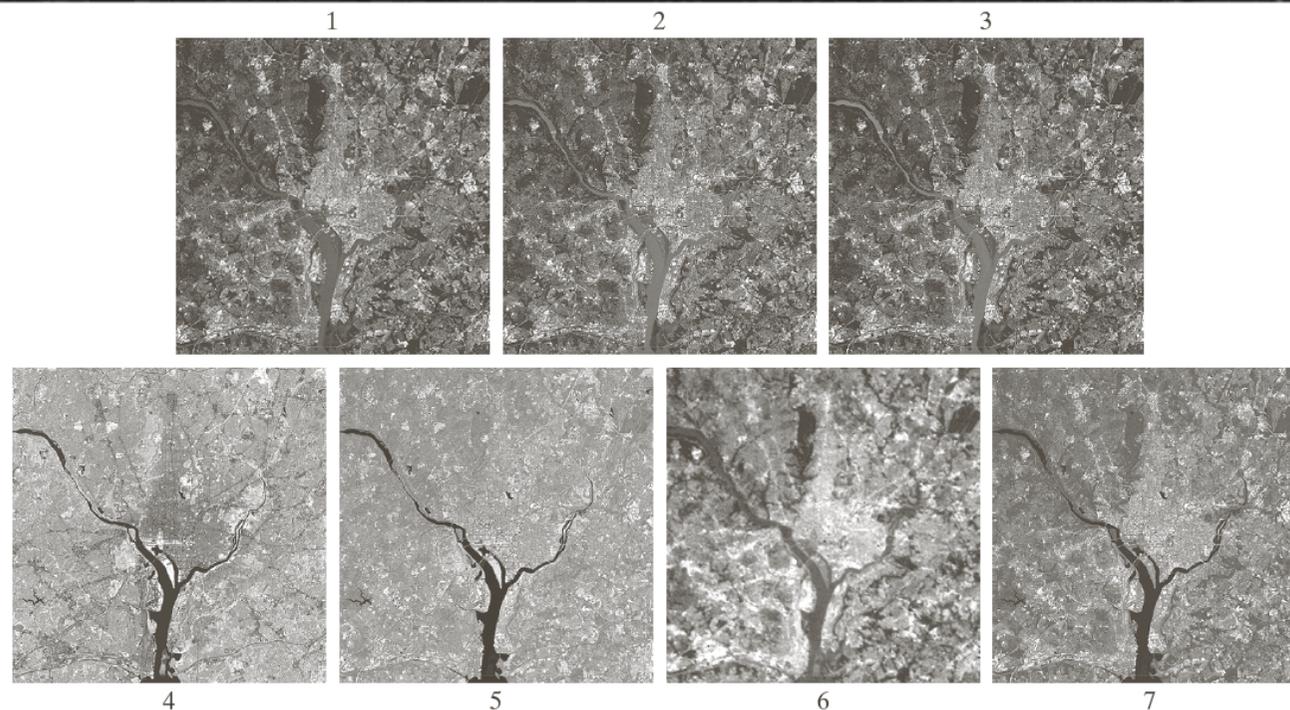
荧光显微镜

成像例子



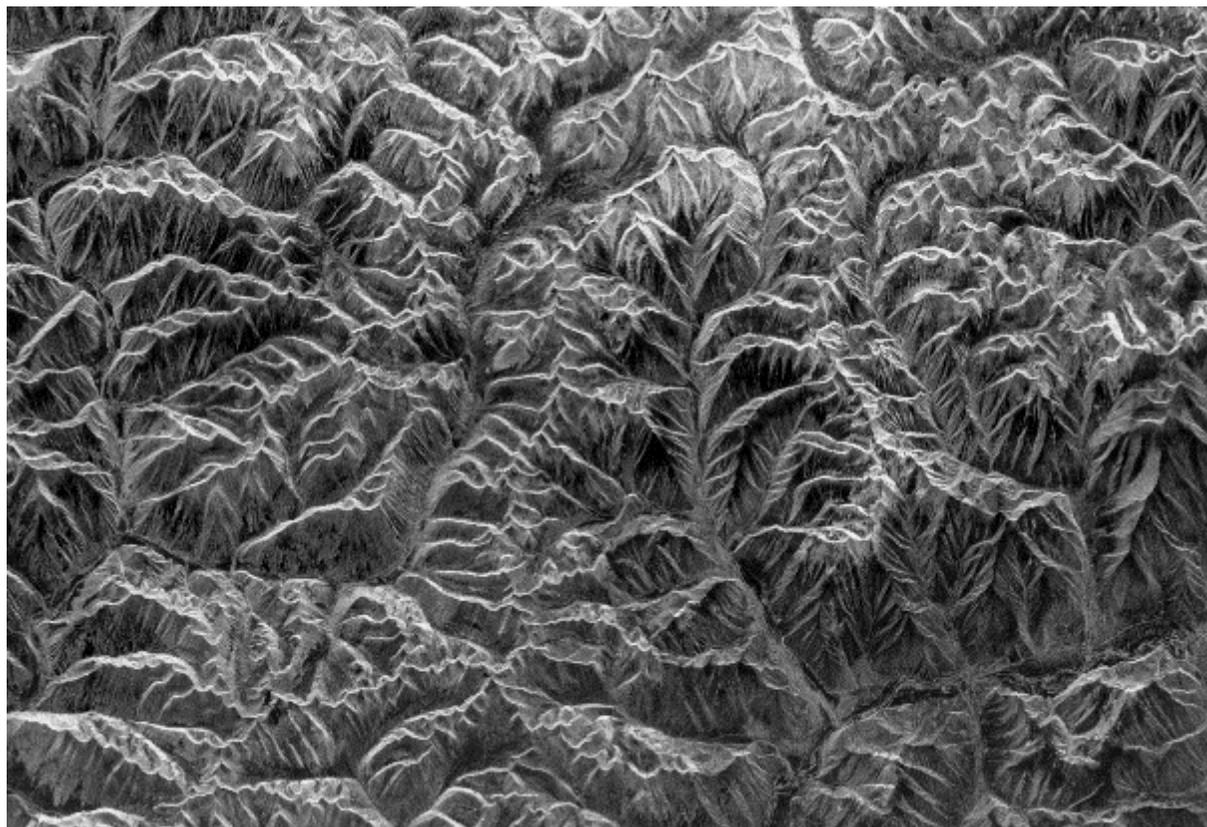
● 可见光及红外波段成像

波段号	名称	波长(μm)	特征和用途
1	可见蓝光	0.45~0.52	对水体有最大的穿透性
2	可见绿光	0.52~0.60	适用于度量植物活力
3	可见红光	0.63~0.69	植被辨别
4	近红外光	0.76~0.90	生物团和海岸线测绘
5	中红外光	1.55~1.75	土壤和植被含水量
6	热红外光	10.4~12.5	土壤温度, 热量测绘
7	中红外光	2.08~2.35	矿物测绘



成像例子

- 微波波段成像



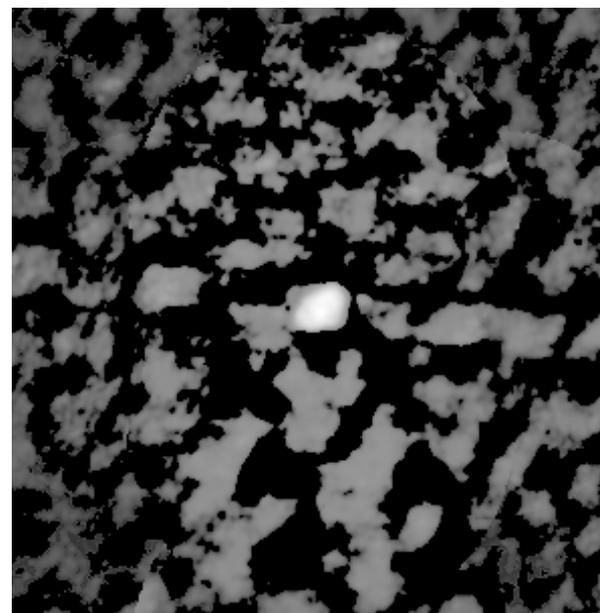
西藏东南部山区的星载雷达图像

成像例子

- 无线电波段成像



膝盖（核磁共振）



蟹状脉冲星

成像接收设备



- 随着科技不断进步，成像接收设备已经可以很成熟接收电磁波信号，如
 - 单传感器成像
 - 带状传感器成像
 - 传感器阵列成像
 - ...
- 除了电磁波外，其它信号（例如超声波信号）目前也已有设备可以成像

基本原理是检测到电磁波信号，然后转化为电压信号，然后用于成像

对传感器成像的细节感兴趣的同学，可以参见教材2.3节





成像接收设备

- 随着科技不断进步，成像接收设备已经可以很成熟接收电磁波信号，如
 - 单传感器成像
 - 带状传感器成像
 - 传感器阵列成像
 - ...
- 除了电磁波外，其它信号（例如超声波信号）目前也已有设备可以成像
- 值得注意的是：由于设备通常是数字化设备，这里的“成像”是对物理世界一个数字化近似。因此“成像”的输出通常不是完美的物理图像，而是近似的**数字图像**

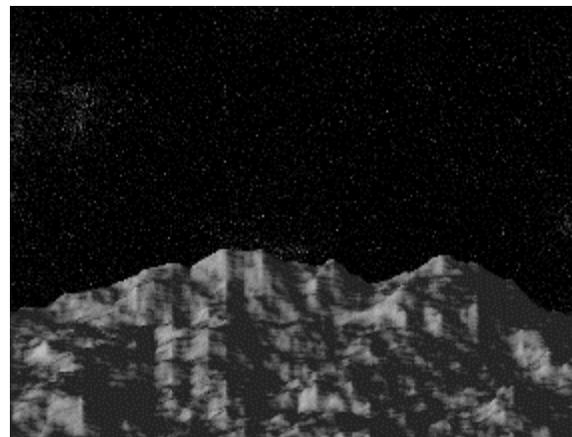
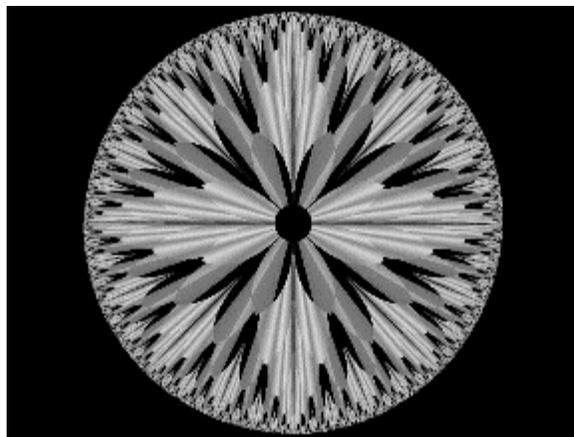
基本原理是检测到电磁波信号，然后转化为电压信号，然后用于成像

对传感器成像的细节感兴趣的同学，可以参见教材2.3节

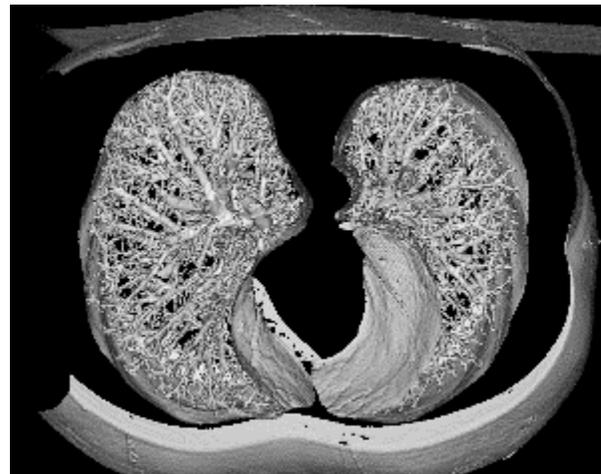
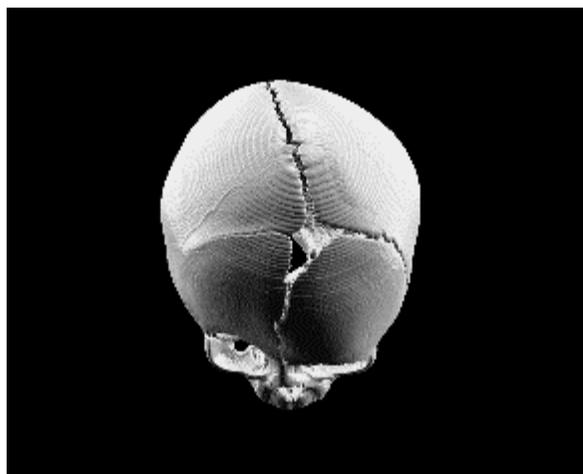
计算机生成图像



分形



三维
建模

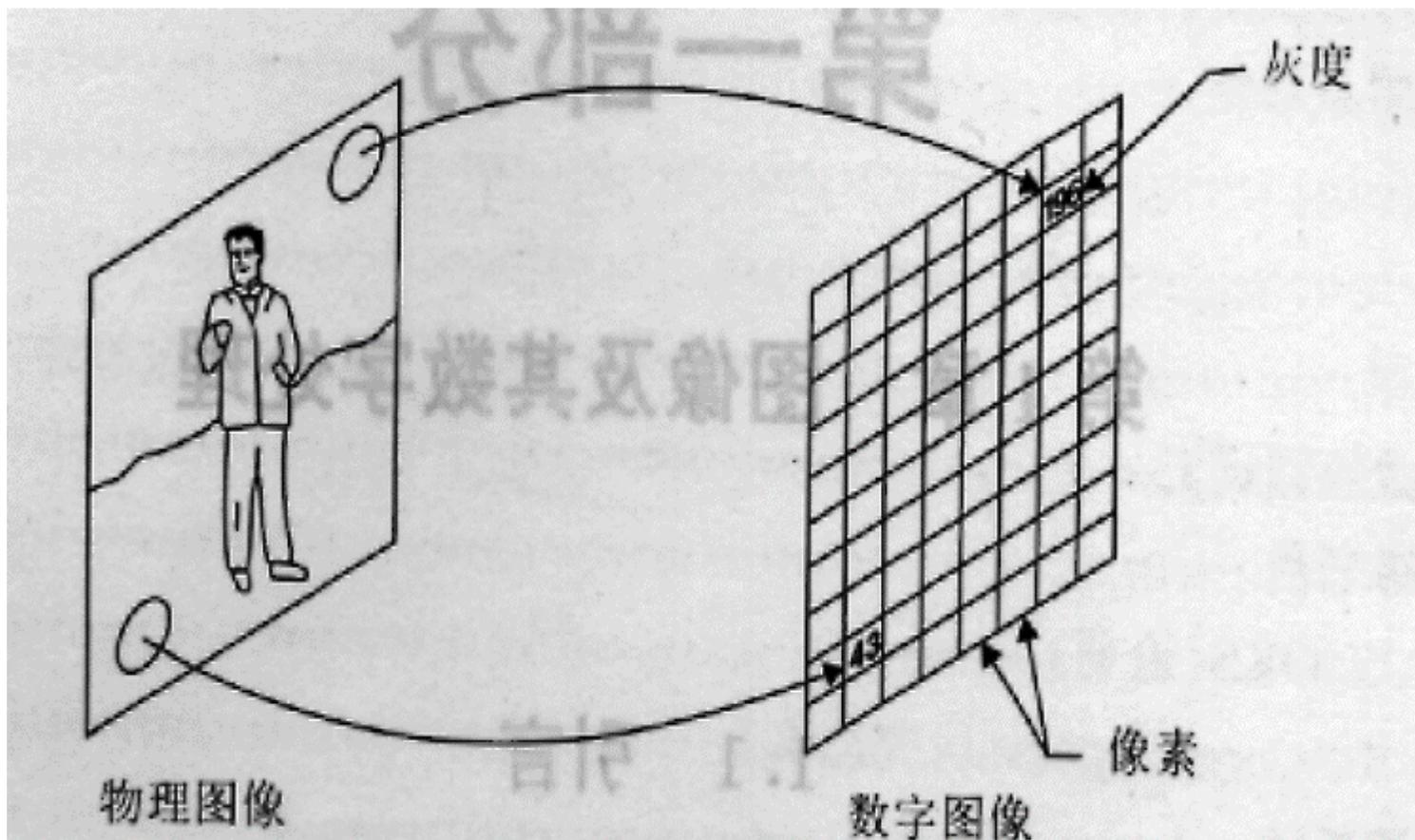


CH1 数字图像处理概述



什么是数字图像

- 物理图像及对应的数字图像



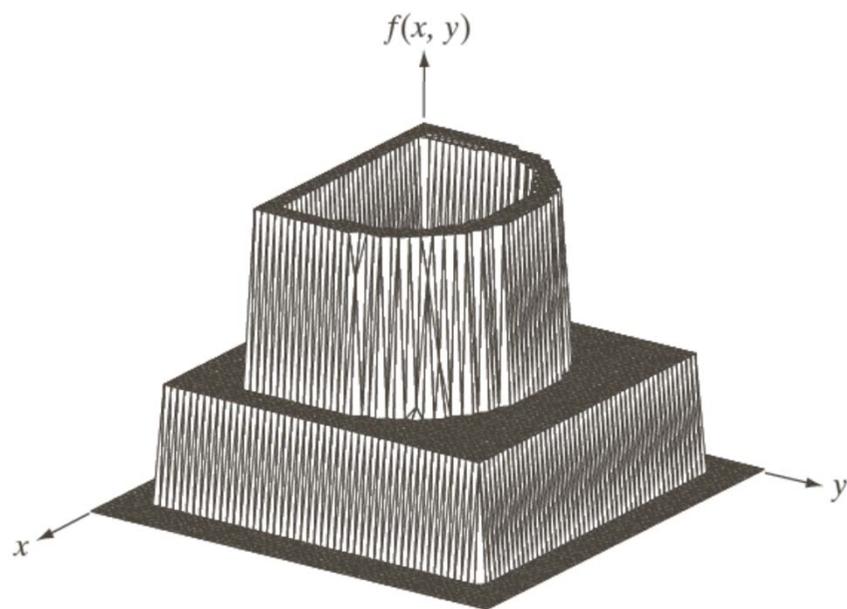
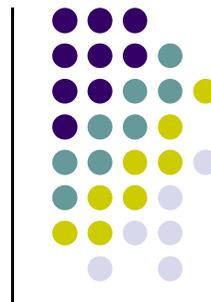


什么是数字图像

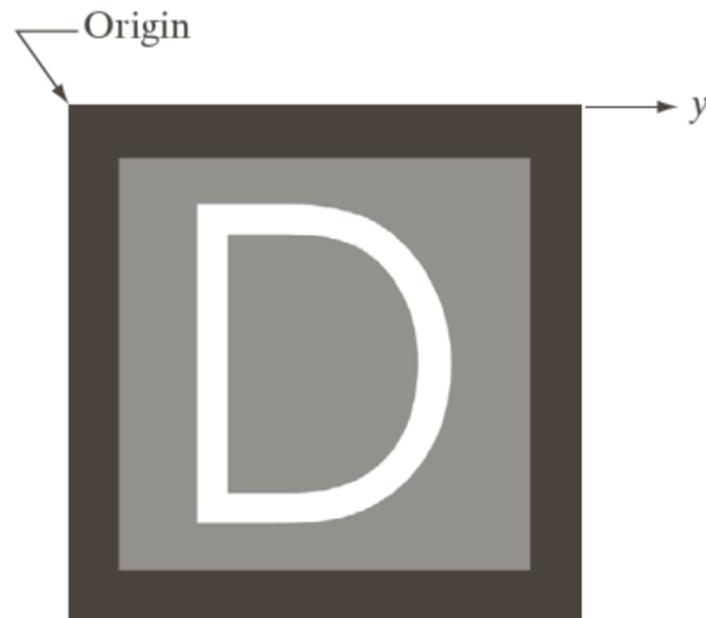
- **数字图像**是指由被称作像素的小块区域组成的二维矩阵
- 将物理图像行列划分后，每个小块区域称为**像素** (pixel) (也称为图像元素、画面元素等)
 - 每个像素包括两个属性：位置和亮度 (也称为强度、灰度、幅值等)
- 严格数学定义：一幅数字图像是个二维函数

$$\begin{array}{c} \text{亮度或强度} \longrightarrow f(x, y) \\ \swarrow \searrow \\ \text{像素坐标位置} \end{array}$$

数字图像表示



三维函数



可视化

数字图像表示



- 矩阵形式

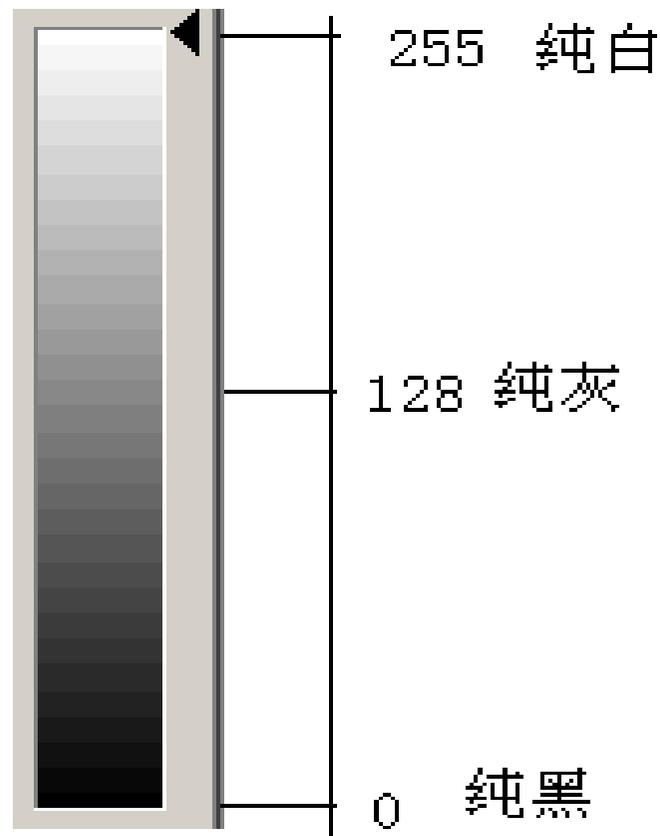
$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0, 0) & f(0, 1) & \cdots & f(0, N - 1) \\ f(1, 0) & f(1, 1) & \cdots & f(1, N - 1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M - 1, 0) & f(M - 1, 1) & \cdots & f(M - 1, N - 1) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{0,0} & a_{0,1} & \cdots & a_{0,N-1} \\ a_{1,0} & a_{1,1} & \cdots & a_{1,N-1} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{M-1,0} & a_{M-1,1} & \cdots & a_{M-1,N-1} \end{bmatrix}$$

什么是数字图像



- 灰度级：每个像素的亮度用一个数值来表示，通常数值范围在0到255之间，即可用一个字节来表示
- 0表示全黑、255表示全白



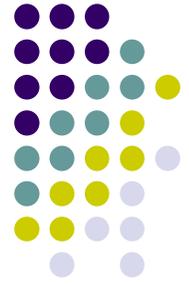
什么是数字图像



- 例子：灰度图像及其对应的数值矩阵



```
125, 153, 158, 157, 127,  
70, 103, 120, 129, 144, 144, 150, 150, 147, 150, 160, 165, 160, 164, 165, 167  
, 175, 175, 166, 133, 60,  
133, 154, 158, 100, 116, 120, 97, 74, 54,  
74, 118, 146, 148, 150, 145, 157, 164, 157, 158, 162, 165, 171, 155, 115,  
88, 49,  
155, 163, 95, 112, 123, 101, 137, 108, 81, 71, 63,  
81, 137, 142, 146, 152, 159, 161, 159, 154, 138, 81, 78, 84, 114, 95,  
167, 60, 95, 50, 65, 49, 95, 94, 60
```



彩色图像

- 彩色图像可用红、绿、蓝三元组的二维矩阵表示
 - 通常，三元组的每个数值也是在0到255之间，0表示相应的基色在该像素中没有，而255则代表相应的基色在该像素中取得最大值，这种情况下每个像素可用三个字节来表示

- 例子



(207, 137, 130)	(220, 179, 163)	(215, 169, 161)	(210, 179, 172)	(210, 179, 172)
(207, 154, 146)	(217, 124, 121)	(226, 144, 133)	(226, 144, 133)	(224, 137, 124)
(227, 151, 136)	(227, 151, 136)	(226, 159, 142)	(227, 151, 136)	(230, 170, 154)
(231, 178, 163)	(231, 178, 163)	(231, 178, 163)	(236, 187, 171)	(236, 187, 171)
(239, 195, 176)	(239, 195, 176)	(240, 205, 187)	(239, 195, 176)	(231, 138, 123)
(217, 124, 121)	(215, 169, 161)	(216, 179, 170)	(216, 179, 170)	(207, 137, 120)
(159, 51, 71)	(189, 89, 101)	(216, 111, 110)	(217, 124, 121)	(227, 151, 136)
(227, 151, 136)	(226, 159, 142)	(226, 159, 142)	(237, 159, 135)	(237, 159, 135)
(231, 178, 163)	(236, 187, 171)	(231, 178, 163)	(236, 187, 171)	(236, 187, 171)
(236, 187, 171)	(239, 195, 176)	(239, 195, 176)	(236, 187, 171)	(227, 133, 118)
(213, 142, 135)	(216, 179, 170)	(221, 184, 170)	(190, 89, 89)	(204, 109, 113)
(204, 115, 118)	(189, 85, 97)	(159, 60, 78)	(136, 38, 65)	(160, 56, 75)

CH1 数字图像处理概述



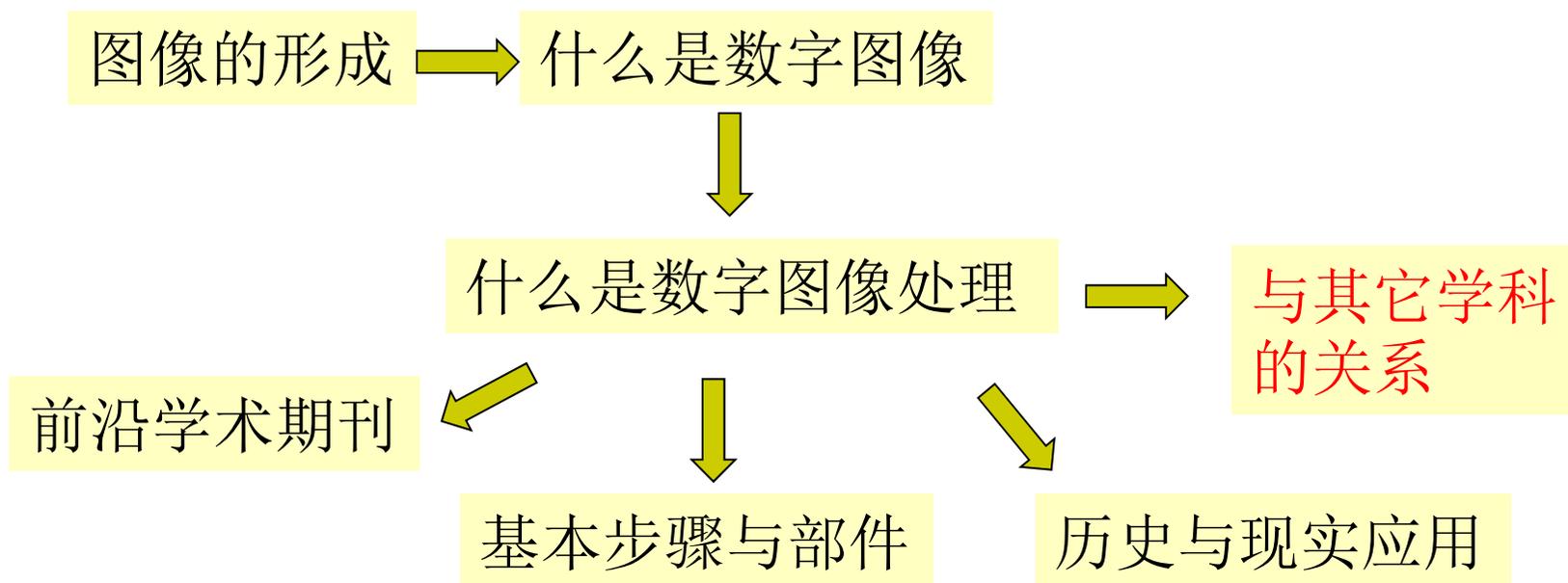
什么是数字图像处理



数字图像处理包括两部分处理：既包括输入和输出均是图像的处理，也包括从图像中提取特征及识别特定物体的处理

数字图像处理是多学科交叉领域，有不少定义；这里采用教材的定义。

CH1 数字图像处理概述



数字图像处理与其它学科的关系



- 数字图像处理与数字图像分析
 - **数字图像分析**：是指将一幅图像转换为一种非图像 的表示、如天气预报，视频统计等。
 - 联系：
 - 从定义上看，数字图像处理包括数字图像分析部分的内容
 - 区别：
 - 数字图像分析侧重于对具体应用领域内的图像进行有针对性分析，数字图像处理则侧重于一般化的图像特征抽取

数字图像处理与其它学科的关系



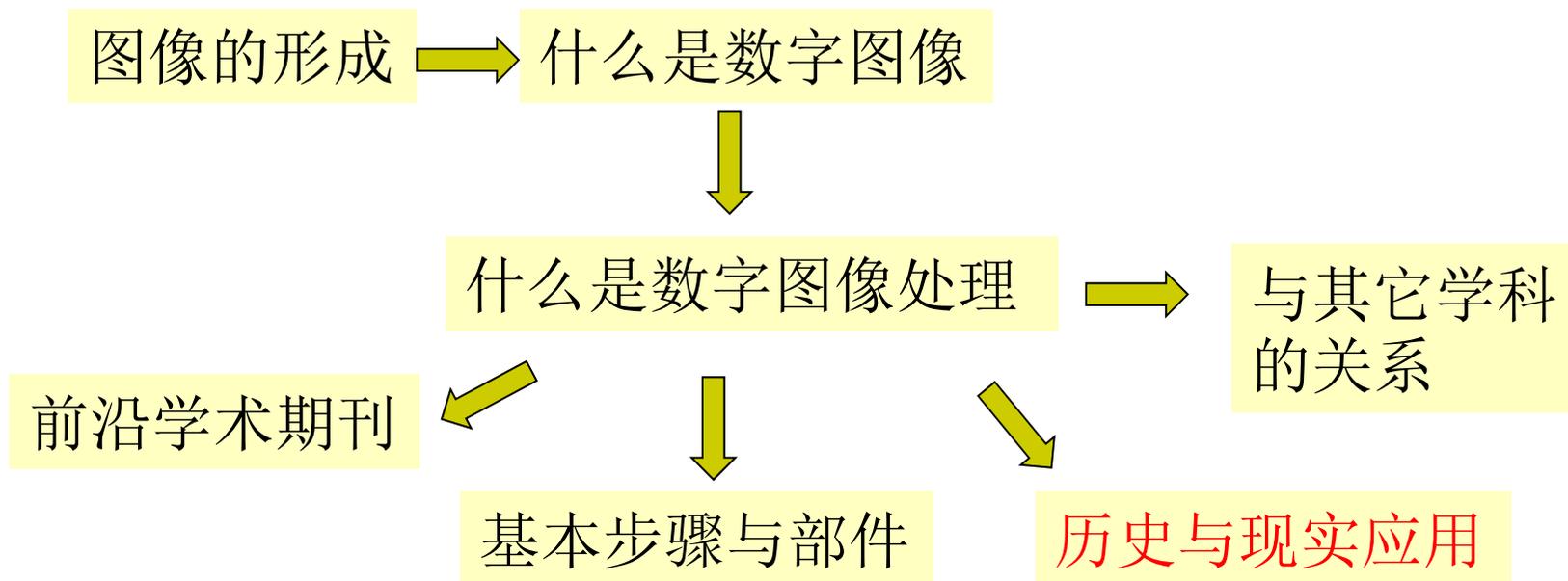
- 数字图像处理与计算机图形学
 - **计算机图形学**：用计算机将由概念或数学描述所表示的物体图像（非实物）进行处理和显示的过程。如机械图、建筑图、素描图等。
 - 联系：
 - 跟图像处理有关
 - 区别：
 - 计算机图形学的输入是概念或描述，输出是图像
 - 数字图像处理输入是图像，输出可以是概念或描述，也可以是另一幅图像

数字图像处理与其它学科的关系



- 数字图像处理与计算机视觉
 - **计算机视觉**：用计算机技术模拟人的视觉，使之可以处理与理解自然场景，如图像及视频理解、三维场景重建、机器人足球等
 - 联系：
 - 实际应用中，计算机视觉通常利用数字图像处理技术进行预处理和特征抽取
 - 区别：
 - 计算机视觉侧重于图像识别、理解等系统层计算机应用
 - 数字图像处理侧重于图像基础计算机处理

CH1 数字图像处理概述



历史



- 最早应用之一：报纸业（1920年代）
 - 将图像通过电缆从伦敦传到纽约
 - 通过对图像进行编码，利用电缆传输编码，然后利用接收端特殊打印设备重构图像



1921年由电报打印机采用特殊字体在编码纸带上产生的数字图片(原图像由 McFarlane 提供^①)

- 之后不断提出技术对效果进行改进。那个时候还没有真正的计算机，因此这些技术没有涉及到计算机

计算机的发展

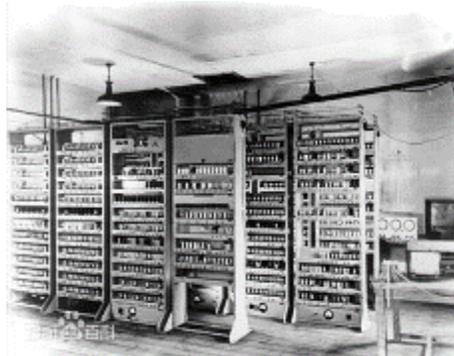


- 随着计算机的发展尤其是计算机存储与显示系统的发展，促进数字图像处理得到快速发展



ENIAC计算机

1946



电子管数字计算机

1958



个人PC

1973



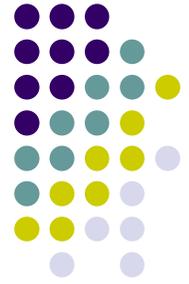
超级计算机
天河一号

2010



数字图像处理快速发展

- 第一台执行有意义的图像处理任务的大型计算机（1960年代）
- 利用计算机改善空间探测器发回的图像（1964年）
- 1960-1980年进一步将数字图像处理技术用于医学图像、地球遥感、天文等领域，发展出一系列数字图像处理技术
- 目前数字图像处理技术已被用于自然科学、人类生活的方方面面



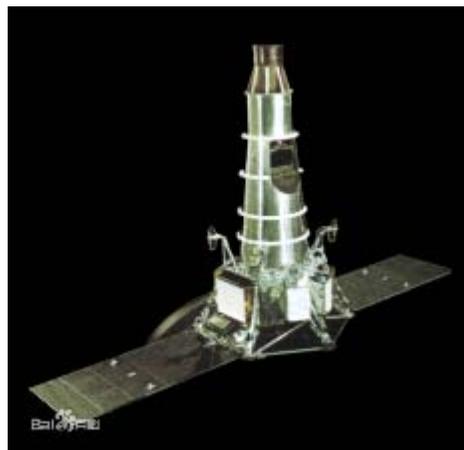
数字图像处理应用_航天航空



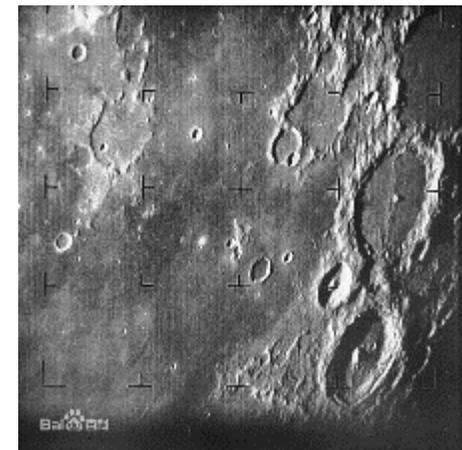
- 徘徊者7号探测器, 1964
 - 美国宇航局喷气推进实验室 (Jet Propulsion Laboratory)
 - 根据几千张月球表面照片使用数字图像处理技术, 包括几何校正、灰度变换、去噪等方法, 绘制月球表面地图
 - 这为人类登月创举奠定了相应的基础
 - 这也在一定意义上推动了数字图像处理这门学科的诞生



<http://www.jpl.nasa.gov>



徘徊者7号



月球表面照片

数字图像处理应用_航天航空



- 近代进展
 - 火星、土星表面探测
 - 飞机遥感、卫星遥感
 - 可用于灾难预测，资源勘察



飞机遥感



卫星遥感

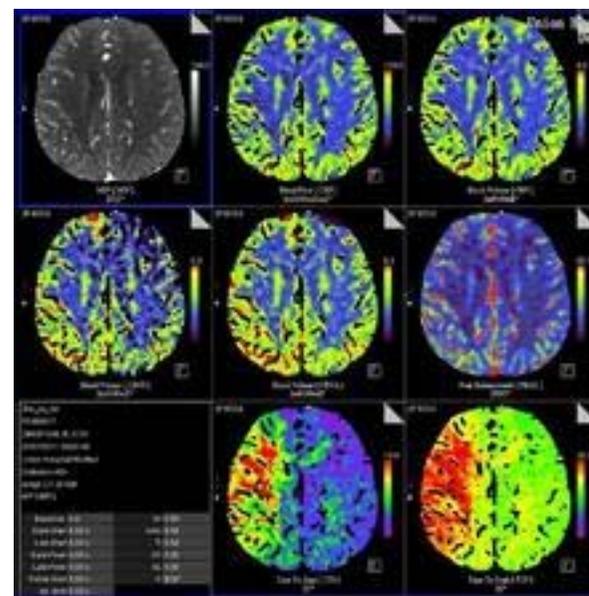


卫星遥感图

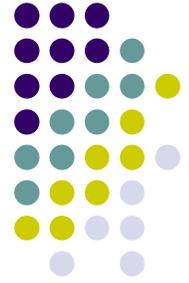
数字图像处理应用_生物医学



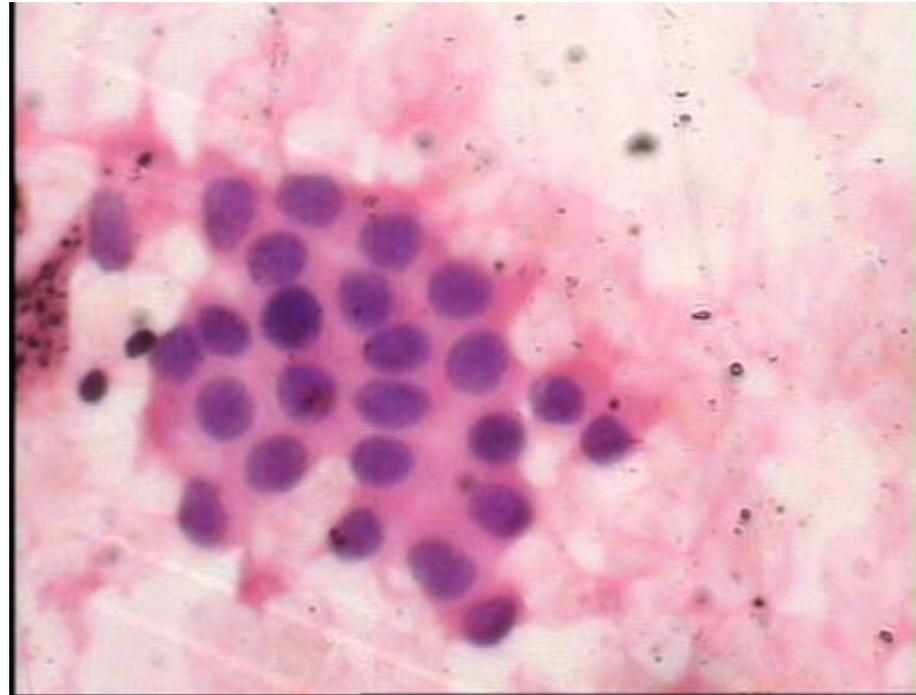
- 计算机断层成像 (Computed Tomography, 又称为“电脑断层扫描”, 简称CT), 1973
 - 利用到了X射线成像技术
 - 重建人体断层图像, 辅助医疗的诊断



数字图像处理应用_生物医学



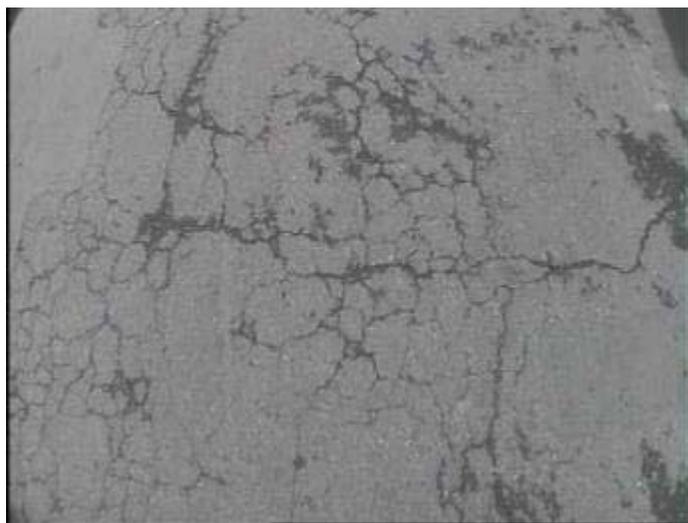
- 医疗诊断：
 - 例子：癌细胞识别
 - 利用显微镜成像技术将细胞成像，加以分析处理辅助诊断



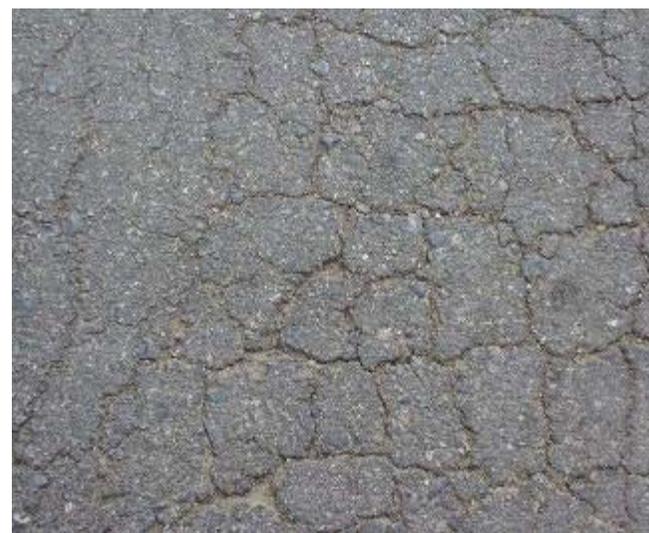
数字图像处理应用_工业检测



- 工业检测与测量：
 - 例子：公路路面破损图像识别
 - 利用边缘检测技术，得到路面的纹理加以分析判断



网裂



龟裂

数字图像处理应用_军事

- 辅助军事侦察、高精度制导



中国驻南斯拉夫大使馆



间谍卫星和标准导弹

数字图像处理应用_视觉监控



- 视频监视系统：
 - 如实现防盗功能



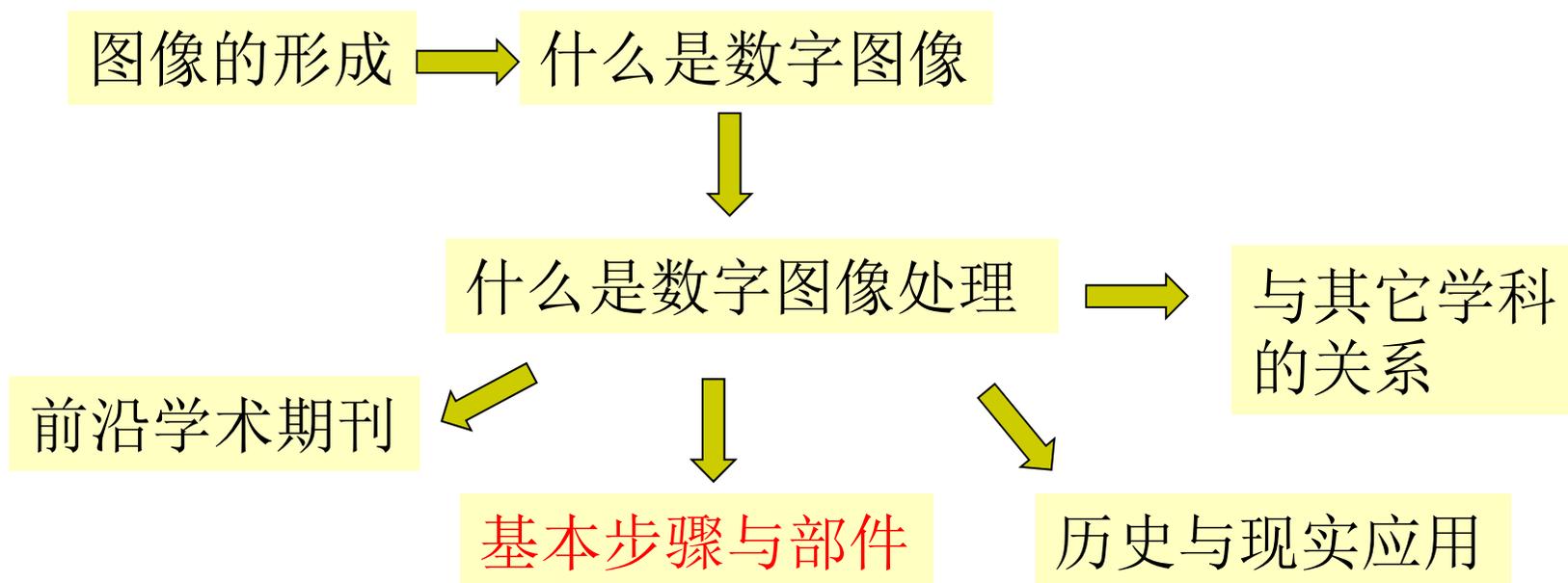
数字图像处理应用



- 其它
 - 影视制作（如3D特效、广告制作等）
 - 基于内容图像检索等



CH1 数字图像处理概述



基本步骤和部件

- 硬件部件
- 软件部件（基本步骤）
- 系统



硬件部件



- 数字图像处理系统由**图像数字化设备**、**图像处理计算机**和**图像输出设备**组成。

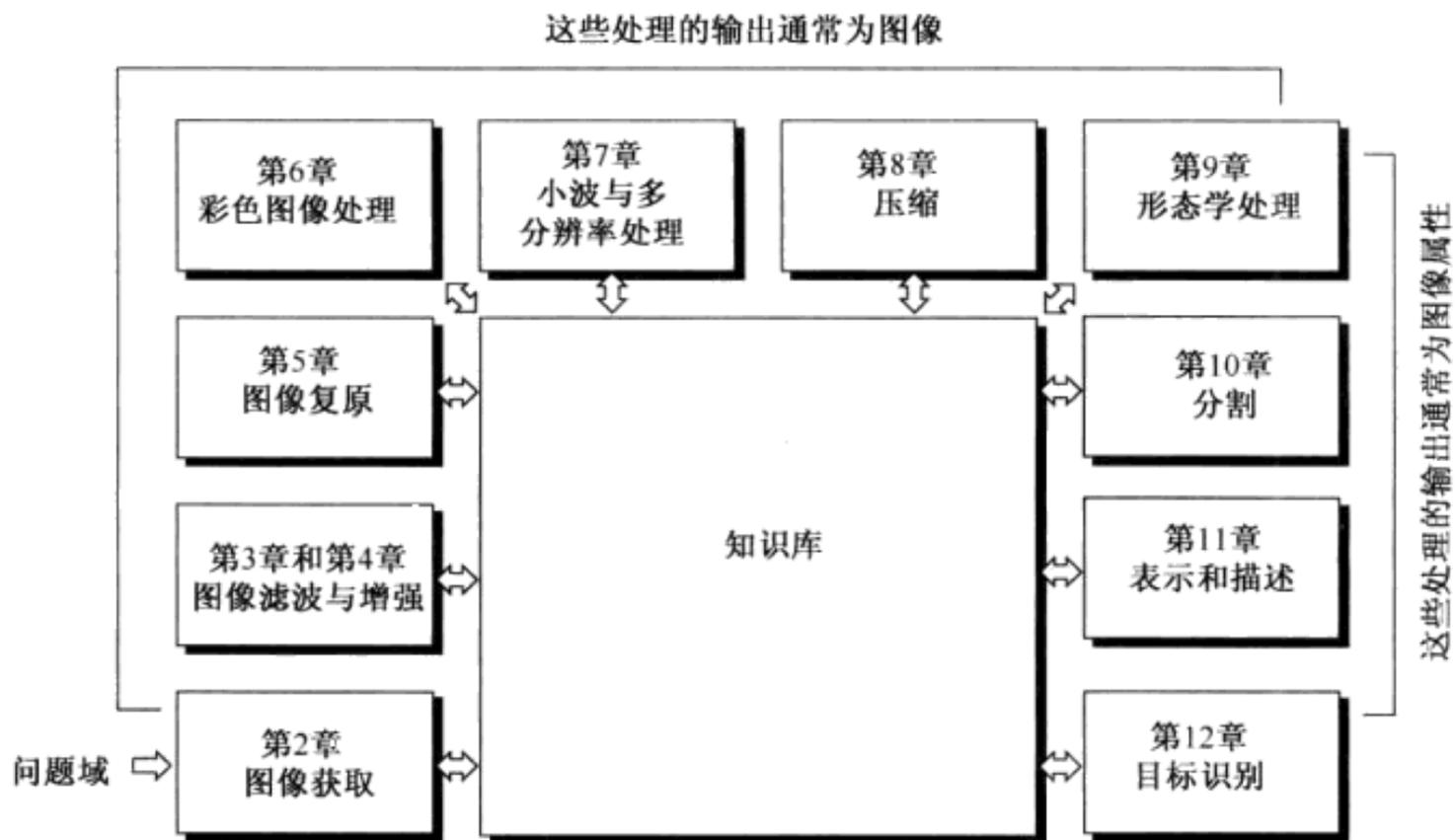


- 图像数字化设备：扫描仪、数码相机、摄像机与图像采集卡等
- 图像处理计算机：PC、工作站等（通常将存储设备也包括在内）
- 图像输出设备：打印机、绘图仪等

软件部件（基本步骤）



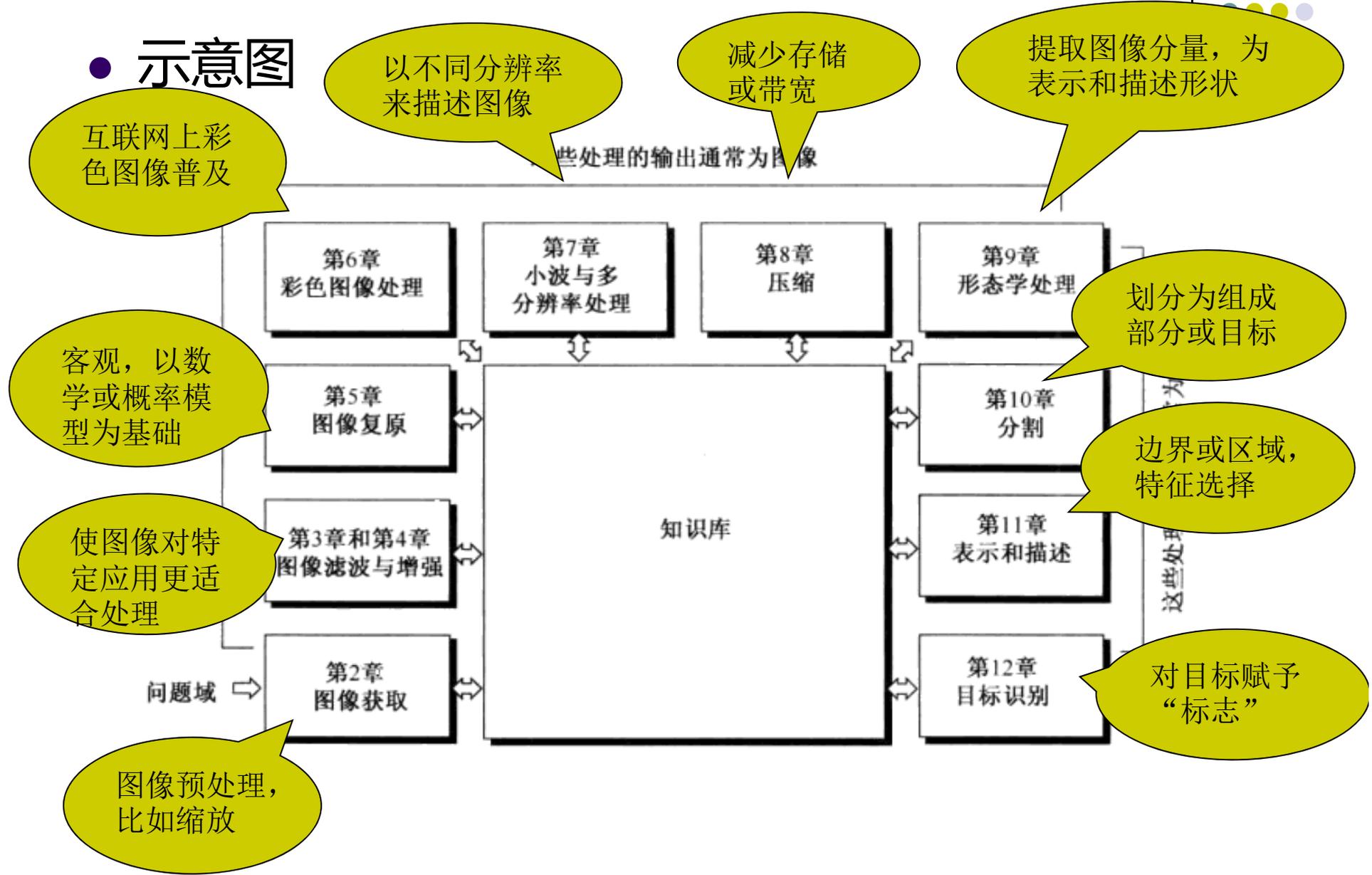
- 示意图



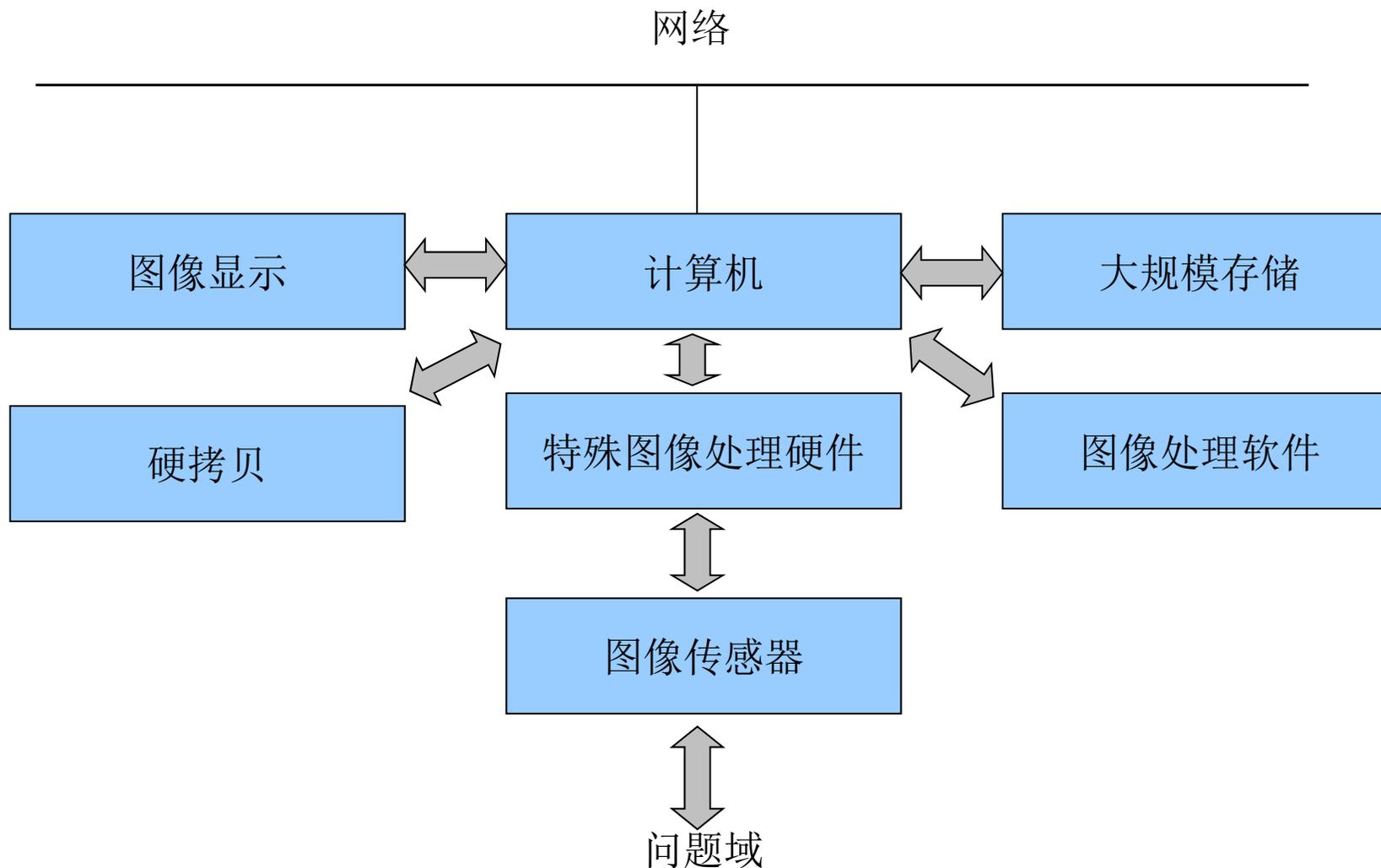
软件部件（基本步骤）



示意图



通用图像处理系统组成



CH1 数字图像处理概述

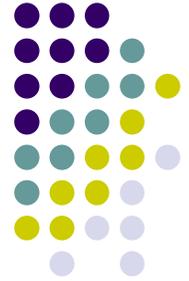


前沿学术期刊



- TPAMI 《IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence》
- TIP 《IEEE Transactions on Image Processing》
- CVIU 《Computer Vision and Image Understanding》
- TSMCB 《IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics》
- ...

前沿学术会议



- CVPR (IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition)
- ICCV (International Conference on Computer Vision)
- ECCV (European Conference on Computer Vision)
- ...

小结

- 介绍图像的形成
- 什么是数字图像
- 什么是数字图像处理
- 数字图像处理与数字图像分析、计算机图像学、计算机视觉学科等异同
- 数字图像处理的历史与相关应用
- 数字图像处理的基本步骤和部件
- 前沿学术期刊和会议



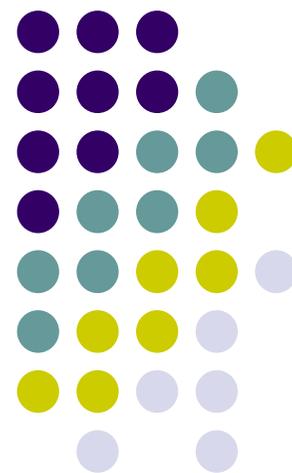
课堂小作业



- 判断题
 - 图像是由光产生的，没有光就没有图像
 - 图像是由电磁波产生的
 - 数字图像处理是计算机视觉的预处理
 - 没有计算机的发展，就没有数字图像处理
 - TIP是数字图像处理的前沿学术期刊

数字图像处理

图像获取、显示和表示



图像获取、显示和表示

- 一、图像获取
- 二、图像显示
- 三、图像表示
- 四、小结





1 图像获取

- 图像获取子硬件：
 - 采样孔，扫描机构，光传感器，量化器和输出存储体
 - 制作工艺是关键
- 图像获取设备：
 - 设备 = 子硬件的集成
 - 普通设备：黑白摄像机、彩色摄像机、扫描仪、数码相机等；
 - 专用设备：显微摄像、红外摄像机、高速摄像机、胶片扫描器、遥感卫星、激光雷达等



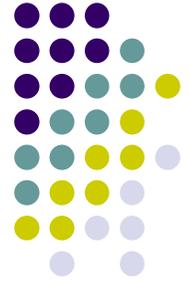
1 图像获取

- 图像获取设备的一些性能指标
 - 像素大小：能够收集到的像素多少
 - 图像大小：允许输出的图像大小
 - 线性度：收集到的图像与原始图像是否保持线性关系（如比例关系）的一种度量
 - 噪声大小：收集时引入的噪声大小
 - 其他局部特征

量

质





1 图像获取

- 图像获取子硬件：
 - 采样孔，扫描机构，光传感器，量化器和输出存储体
 - 制作工艺是关键
- 图像获取设备：
 - 设备 = 子硬件的集成
 - 普通设备：黑白摄像机、彩色摄像机、扫描仪、数码相机等；
 - 专用设备：显微摄像、红外摄像机、高速摄像机、胶片扫描器、遥感卫星、激光雷达等
- 关键技术
 - 采样；量化



1 图像获取

- **把物理世界表示到计算机中来**是数字图像获取的关键

基本问题：如何将现实物理信号离散化、数字化

采样：用有限的样本数目去近似无限的现实物理信号；
或简而言之，有限近似无限

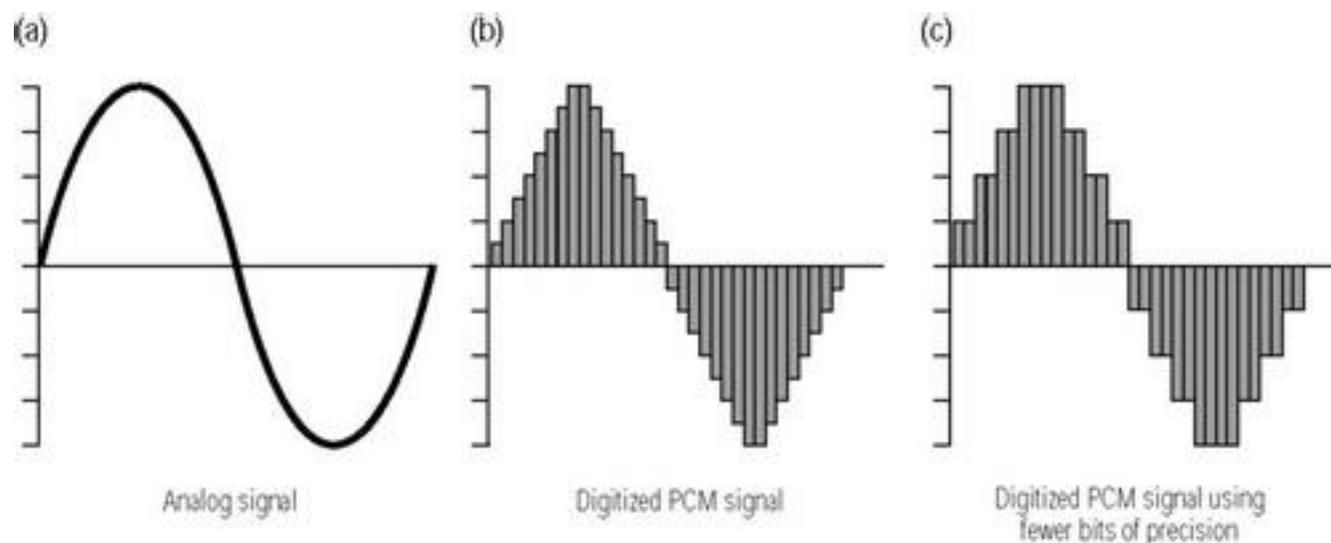
量化：用离散计算机表示去近似连续的现实物理信号；
或简而言之，离散近似连续



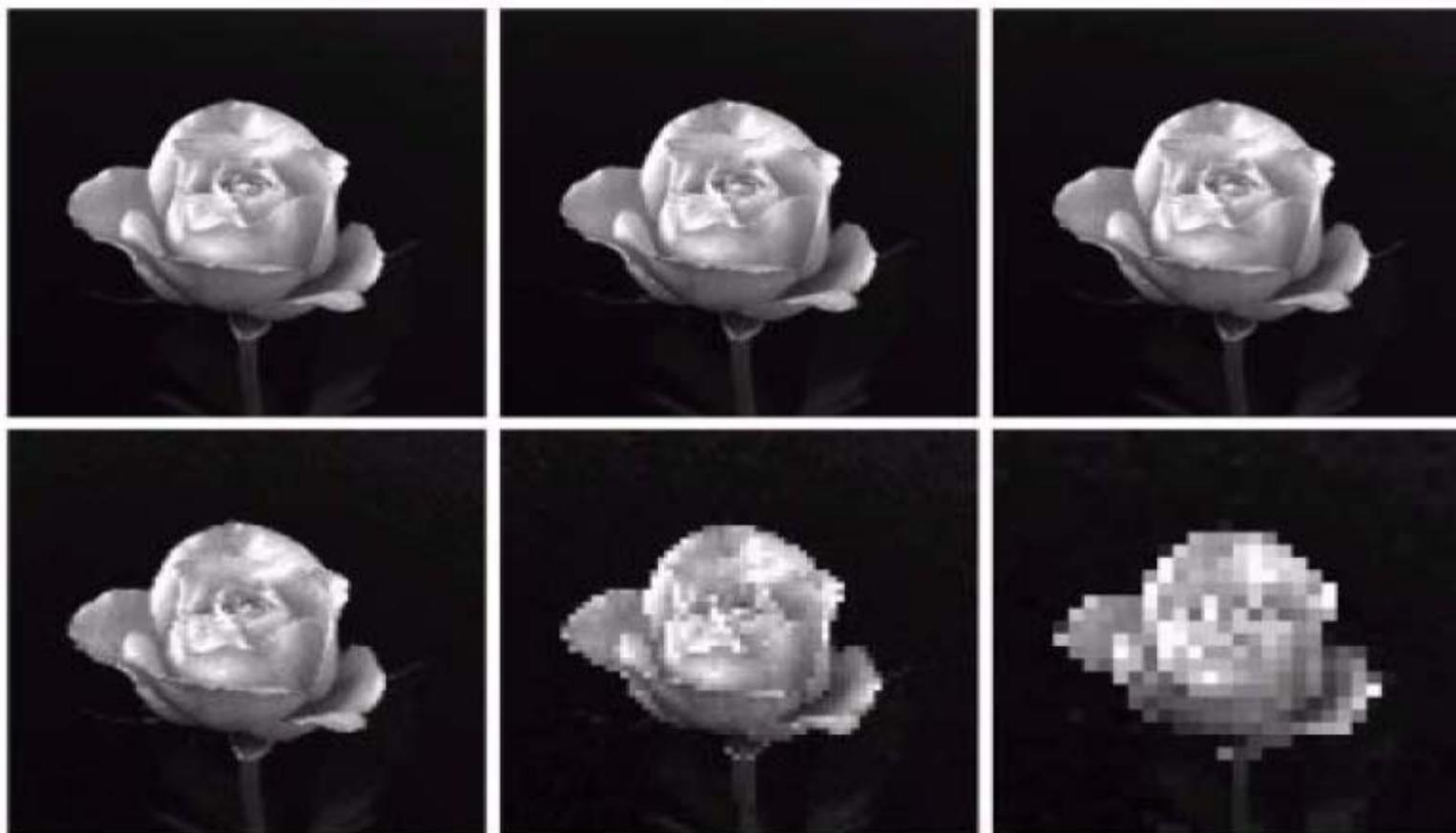
1 图像获取

- **把物理世界表示到计算机中来**是数字图像获取的关键

基本问题：如何将现实物理信号离散化、数字化



采样数量对图像的影响



$1024 \times 1024 \rightarrow 512 \times 512 \rightarrow 256 \times 256 \rightarrow 128 \times 128 \rightarrow 64 \times 64$

量化级别对图像的影响



256灰度级

伪轮廓



16灰度级



8灰度级



4灰度级



1 图像获取

- 图像采样量化

观察：图像有 $M*N$ 个像素，每个像素有 Q 个灰度级别。

取值规则： M 、 N 和 Q 通常总是取为2的整数次幂。 $Q=2^b$ ，
若 $Q=256$ ，则 $b=8$ ，称为图像的8bit量化，或称256级灰度。

取值范围：由于存在量化误差，原则上 b 越大重建图像失真
越小。

对于人眼应用 b 取5-8；

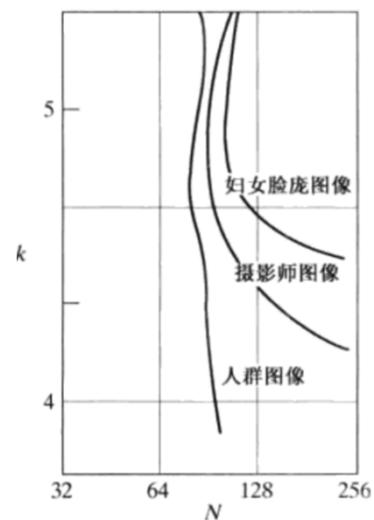
对于卫星图片等分析应用 b 取8-12；

1 图像获取

取样点数和量化级数的选取



有大量细节的图像，
需要的量化级数较少



1 图像获取



- **小测试：假定连续信号的取值范围是 $[0,10]$ ，每个信号值产生的几率均衡。规定可以使用5个量化层级对其量化。请问如何量化最佳？最佳指总体误差最小。**



1 图像获取

- **最佳量化：使量化误差最小的量化方法**

使用均方误差测度讨论最佳量化

设： Z 和 q 分别代表数字图像像素亮度和其量化值；

$p(Z)$ 为像素亮度概率密度函数；

Z 的取值范围在 $H_1 \sim H_2$ 之间，量化总层数为 K ，

δ^2 表示量化器量化的均方误差。

解：根据均方误差定义可得

$$\delta^2 = \sum_{k=1}^K \int_{Z_k}^{Z_{k+1}} (Z - q_k)^2 p(Z) dZ \quad \{Z_1, q_1\}, \dots, \{Z_K, q_K\} \text{未知, 如何求解?}$$

1 图像获取

当量化层数足够大时，每个判决层的 $p(Z)$ 可以近似为均匀分布，
则

$$\begin{aligned}\delta^2 &= \sum_{k=1}^K p(Z) \int_{Z_k}^{Z_{k+1}} (Z - q_k)^2 dZ \\ &= \frac{1}{3} \sum_{k=1}^K p(Z) \left[(Z_{k+1} - q_k)^3 - (Z_k - q_k)^3 \right]\end{aligned}$$

上式分别对 Z_k 和 q_k 求导，并令等于0。

将上式求和符号展开，如对 Z_2 求导：

$$0 = -3(Z_2 - q_2)^2 + 3(Z_2 - q_1)^2$$

$$\text{则 } Z_2 = \frac{1}{2}(q_1 + q_2)$$

$$\text{因此 } Z_k = \frac{1}{2}(q_{k-1} + q_k) \quad k = 2, 3, \dots, K$$



1 图像获取



$$\begin{aligned}\therefore \delta^2 &= \sum_{k=1}^K p(Z) \int_{Z_k}^{Z_{k+1}} (Z - q_k)^2 dZ \\ &= \sum_{k=1}^K p(Z) \int_{Z_k}^{Z_{k+1}} (Z^2 - 2Zq_k + q_k^2) dZ\end{aligned}$$

对 q_k 求导

$$0 = \int_{Z_k}^{Z_{k+1}} p(Z)(-2Z + 2q_k) dZ$$

$$\therefore q_k = \frac{\int_{Z_k}^{Z_{k+1}} Zp(Z) dZ}{\int_{Z_k}^{Z_{k+1}} p(Z) dZ}$$

若 $P(Z)$ 为常数, 则

$$q_k = \frac{1}{2}(Z_k + Z_{k+1})$$

$$\text{此时量化误差为 } \frac{(H_2 - H_1)^2}{12K^2}$$



要点

- 采样与量化

