



# 数字图象处理

---

中国科学技术大学  
电子工程与信息科学系

主讲教师：李厚强 (lihq@ustc.edu.cn)  
周文罡 (zhwg@ustc.edu.cn)

助教：冯 浩 ([fh1995@mail.ustc.edu.cn](mailto:fh1995@mail.ustc.edu.cn))

课程主页： <https://ustc-dip.github.io/>



# 第1章 绪论

---

- 1.1 什么是数字图像处理
- 1.2 数字图像处理的起源
- 1.3 数字图像处理应用领域
- 1.4 数字图像处理的基本步骤
- 1.5 图像处理系统的组成
- 1.6 数字图像处理应用举例



# 第1章 绪论

---

- 1.1 什么是数字图像处理
- 1.2 数字图像处理的起源
- 1.3 数字图像处理应用领域
- 1.4 数字图像处理的基本步骤
- 1.5 图像处理系统的组成
- 1.6 数字图像处理应用举例



# 1.1 什么是数字图像处理

---

## ◆ 图像

用各种观测系统以不同形式和手段观测客观世界而获得的，可以直接或间接作用于人眼并进而产生视知觉的实体。

## ◆ 图像和信息

人类从外界（客观世界）获得的信息约有75%来自视觉系统。



# 1.1 什么是数字图像处理

## ◆ 图像表示

2-D数组  $f(x, y)$

$x, y$ : 2-D空间 $XY$ 中坐标点的位置

$f$ : 代表图像在 $(x, y)$ 的性质 $F$ 的数值

$f, x, y$  的值可以是任意实数

性质 $F$ : 可对应不同物理量

灰度图里用灰度表示



# 1.1 什么是数字图像处理

## ◆ 图像单元

一幅图像是许多图像单元的集合体

2-D图象： 像素（picture element）常用pixel表示

3-D图象： 体素（volume element）常用voxel表示

$$f(x, y) \rightarrow f(x, y, z), f(x, y, t)$$

# 1.1 什么是数字图像处理

## ◆ 图像显示示例



(a)



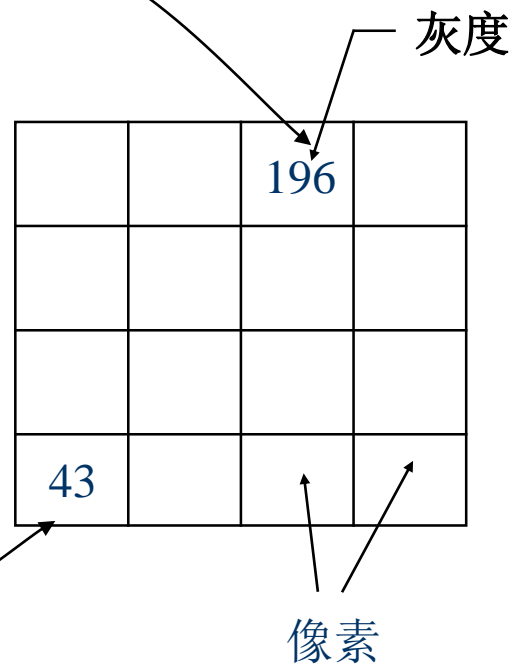
(b)

# 1.1 什么是数字图像处理

## ◆ 数字图像表示



(a) 物理图像



(b) 数字图像



# 1.1 什么是数字图像处理

---

## ◆ 数字图像处理的定义

从图像处理到计算机视觉是一个连续的统一体

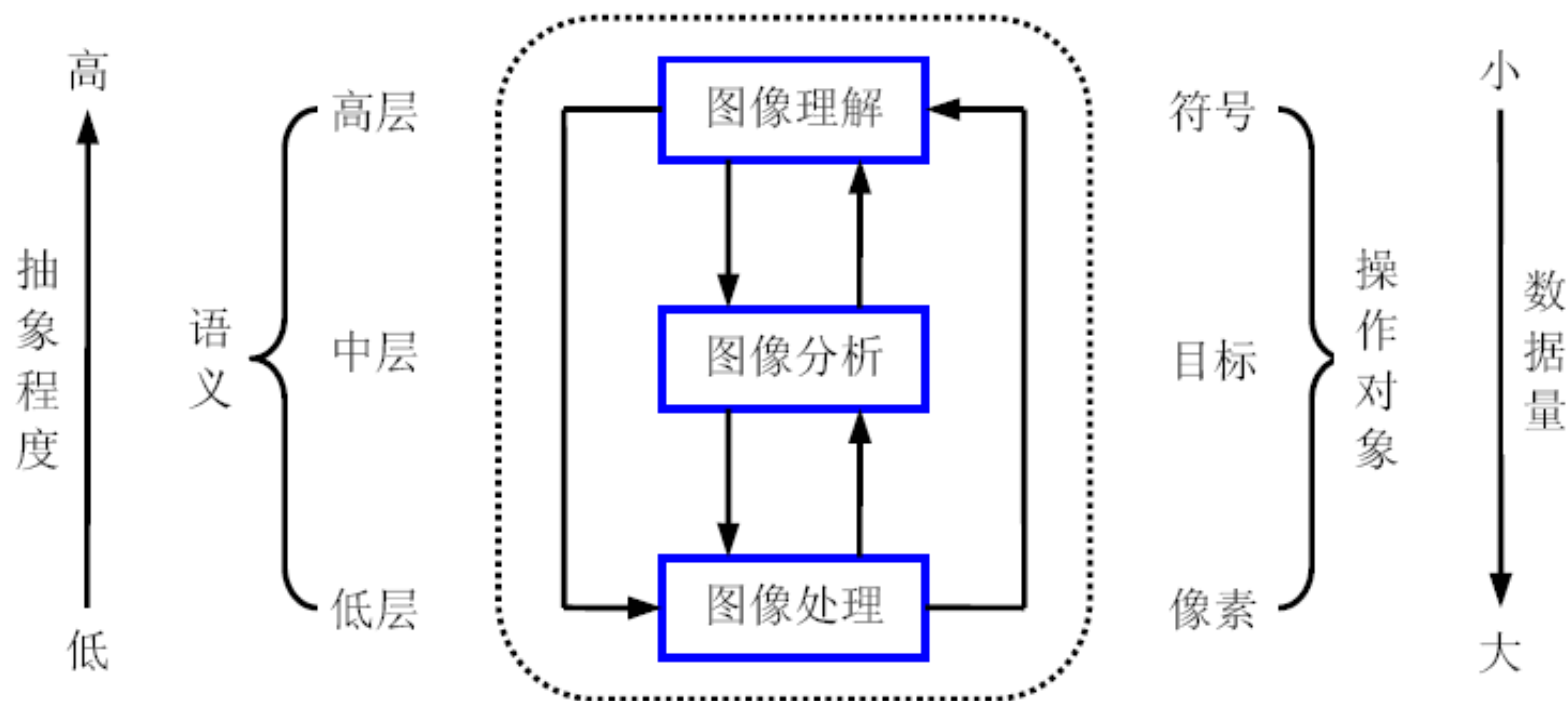
图像处理（图像  图像）

图像分析（图像  数据）

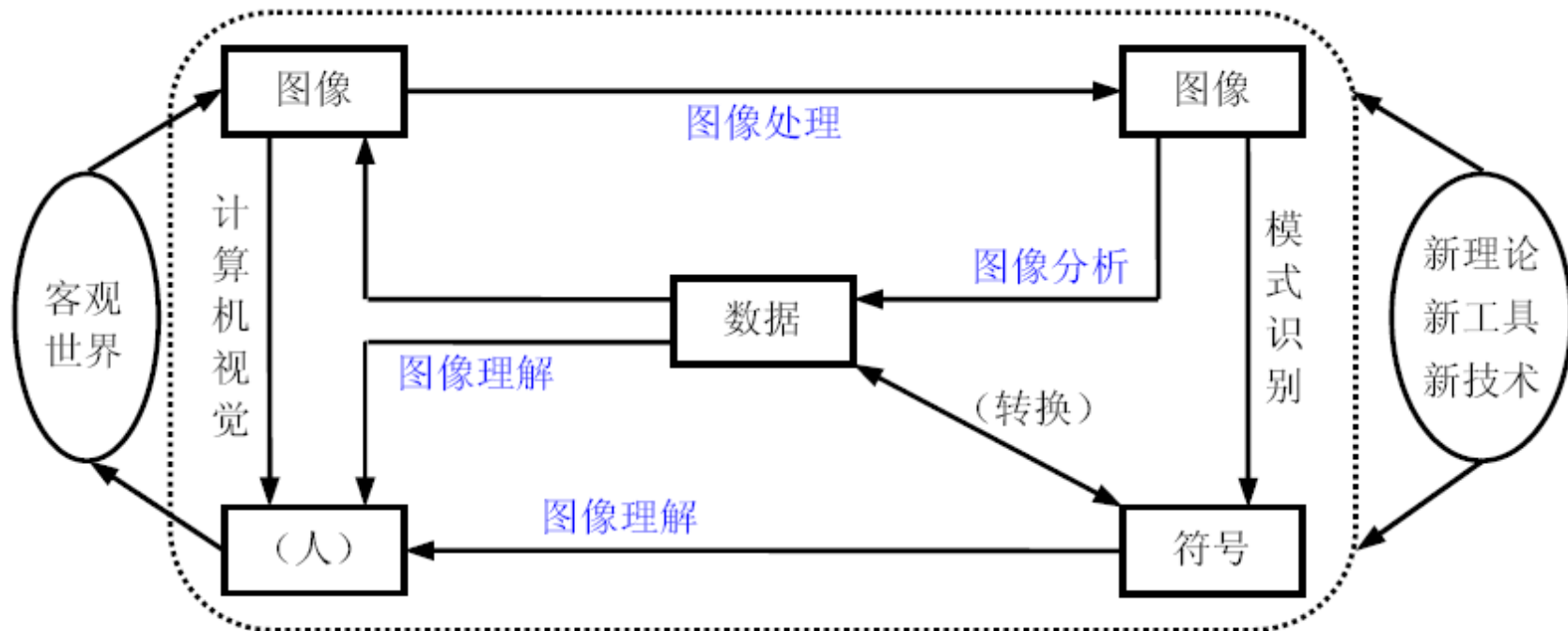
图像理解（图像  解释）

我们将数字图像处理界定为其输入和输出都是图像的处理

# 1.1 什么是数字图像处理



# 1.1 什么是数字图像处理





# 第1章 绪论

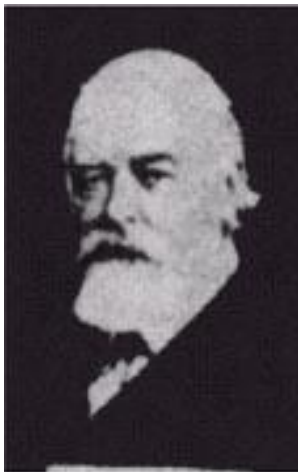
---

- 1.1 什么是数字图像处理
- 1.2 **数字图像处理的起源**
- 1.3 数字图像处理应用领域
- 1.4 数字图像处理的基本步骤
- 1.5 图像处理系统的组成
- 1.6 数字图像处理应用举例

## 1.2 数字图像处理的起源

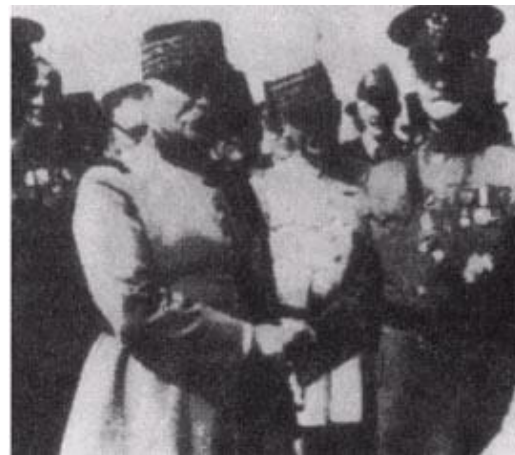
### 巴特兰 (Bartlane) 电缆图片传输系统

**1921年** 电报打印机采用  
特殊字符在编码纸带打印。  
输出设备从通用到专用



**1922年** 两次穿越大西洋，  
穿孔纸得到图像检测误差。  
图像通信系统  
信源编码和信道编码

**1929年** 从伦敦到纽约  
从早期**5**个灰度到**15**个  
通过电缆传输

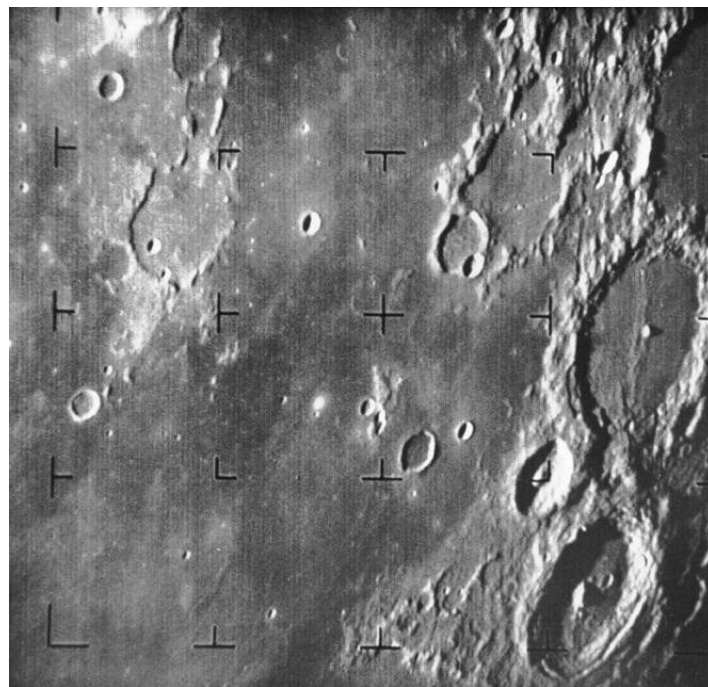


## 1.2 数字图像处理的起源

第一台功能强大到足以执行有意义的图像处理任务的大型计算机，出现于20世纪60年代初

处理卫星图像：校正航天器上电视摄像机中各种类型的图像畸变

“徘徊者7号”撞击月球表面前拍摄的第一张月球图像





## 1.2 数字图像处理的起源

- 20世纪60年代末和70年代，数字图像处理技术开始用于医学成像、地球资源遥感监测和天文学领域。
- 1895年伦琴发现X射线，获1901年诺贝尔物理学奖。
- 1975年Godfrey N. Hounsfield和Allan M. Cormack发明了计算机断层技术（CT），获1979年诺贝尔医学奖。
- 从20世纪60年代至今，数字图像处理技术除了用于上述领域，在地理学、考古学、生物学、国防和工业领域中也广泛的应用。我们将在下一节中说明某些这样的应用领域



# 第1章 绪论

---

- 1.1 什么是数字图像处理
- 1.2 数字图像处理的起源
- 1.3 **数字图像处理应用领域**
- 1.4 数字图像处理的基本步骤
- 1.5 图像处理系统的组成
- 1.6 数字图像处理应用举例



# 1.3 数字图像处理应用领域

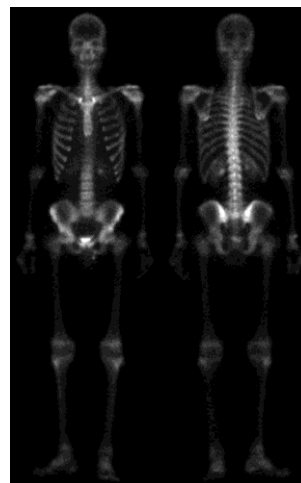
## ◆ 伽马射线成像

(a) 骨骼扫描图像

(b) PET图像

(c) 天鹅星座环图像

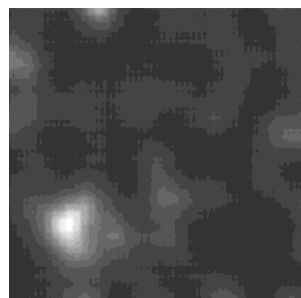
(d) 来自反应堆真空管的  
伽马辐射（亮点）



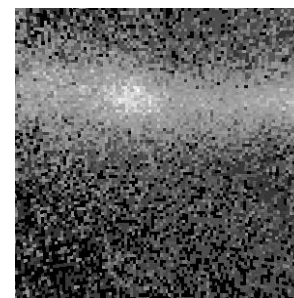
(a)



(b)



(c)

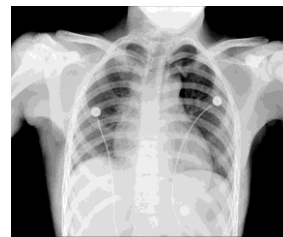


(d)

## 1.3 数字图像处理应用领域

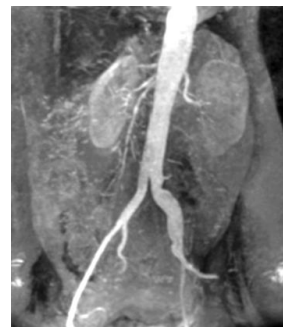
### ◆ X射线成像

(a) 胸部X射线图像



(a)

(b) 主动脉造影图像



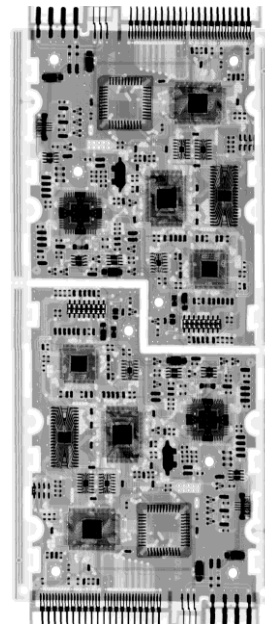
(b)

(c) 头部CT图像



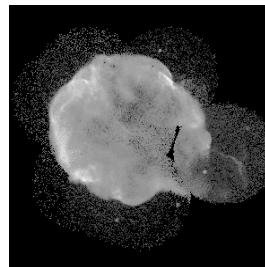
(c)

(d) 电路板图像



(d)

(e) 天鹅星座环图像

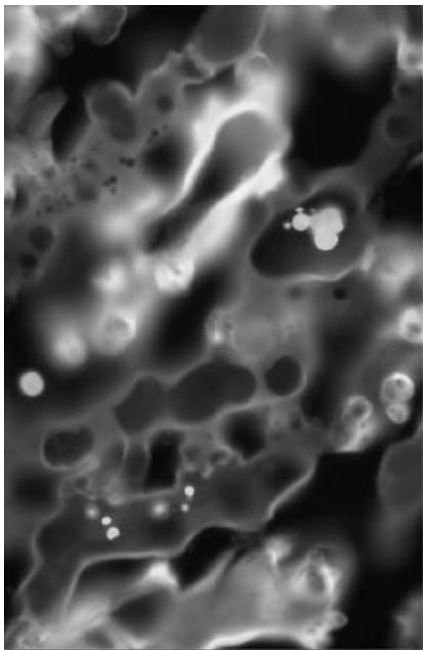


(e)

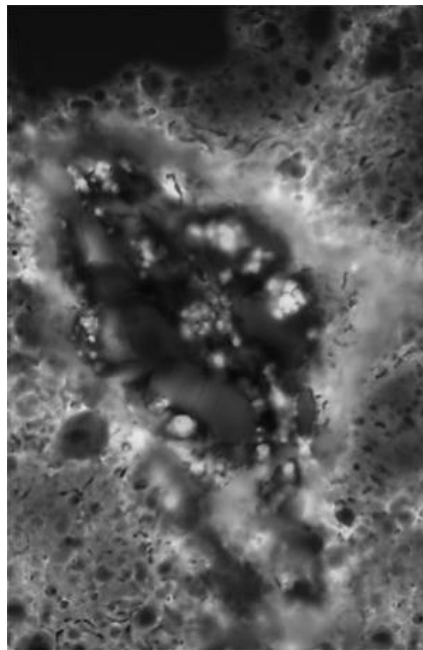
**X射线是最早用于成像的电磁辐射源之一**

## 1.3 数字图像处理应用领域

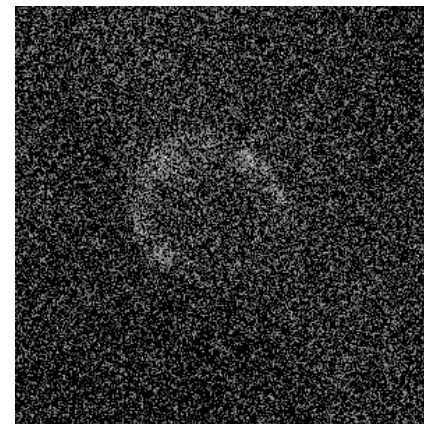
### ◆ 紫外波段成像



(a)



(b)

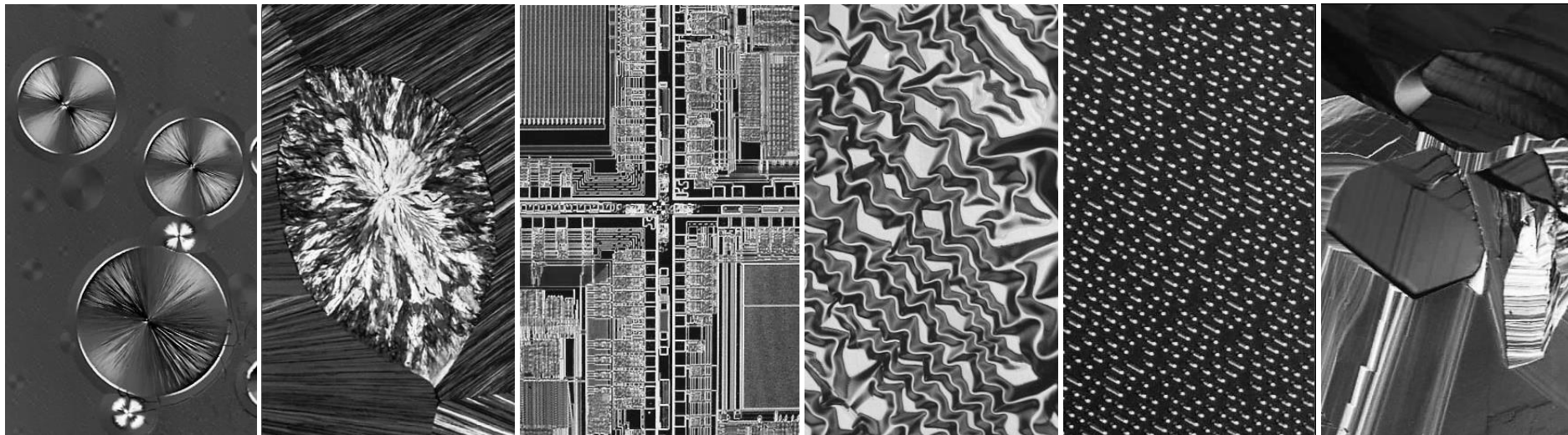


(c)

(a) 普通玉米图像； (b) 患黑穗病的玉米图像； (c) 天鹅星座环图像

## 1.3 数字图像处理应用领域

### ◆ 可见光与红外波段成像-光显微镜图像



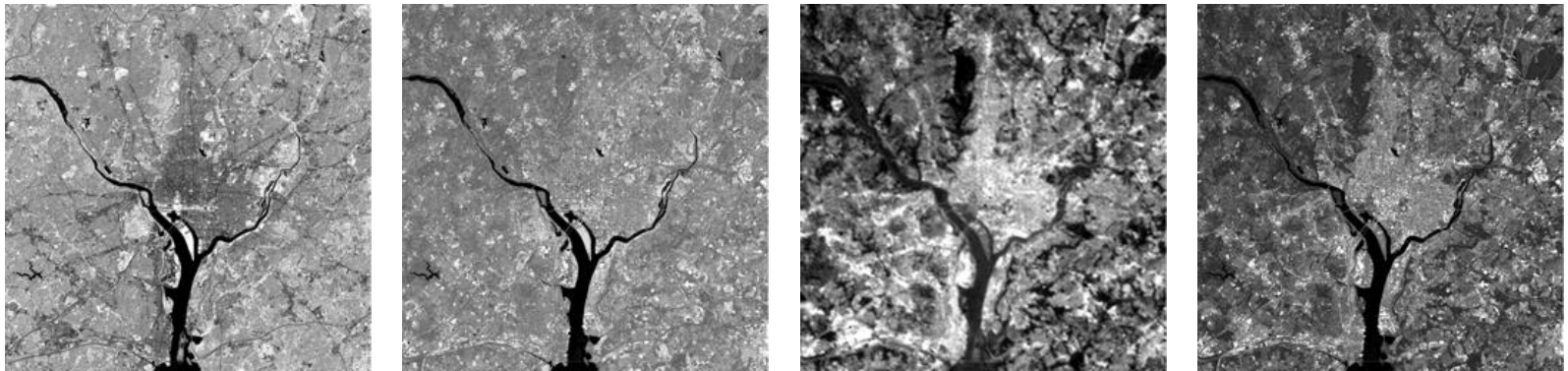
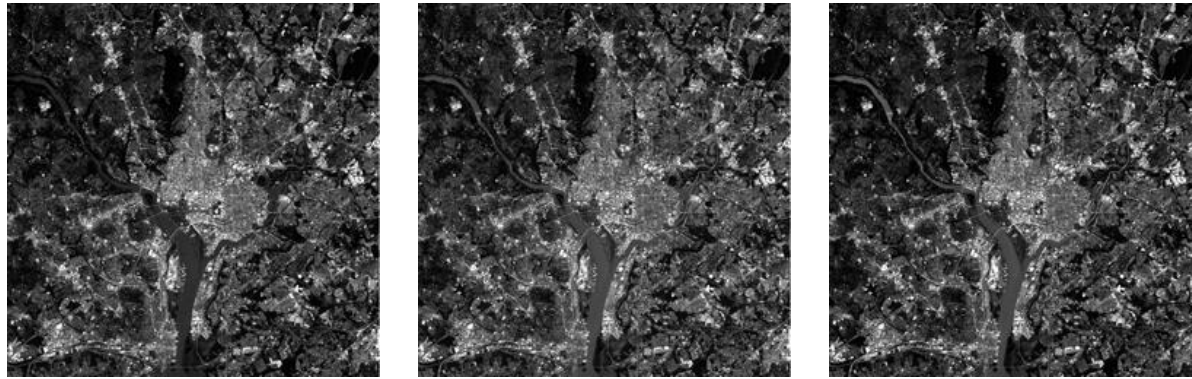
(a) (b) (c) (d) (e) (f)

(a) 放大250倍的紫衫酚（抗癌剂）；(b) 放大40倍的胆固醇；(c) 已放大60倍微处理器；(d) 已放大600倍的镍氧化物胶片；(e) 已放大1750倍的音频CD表面；(f) 已放大450倍的有机超导体



# 1.3 数字图像处理应用领域

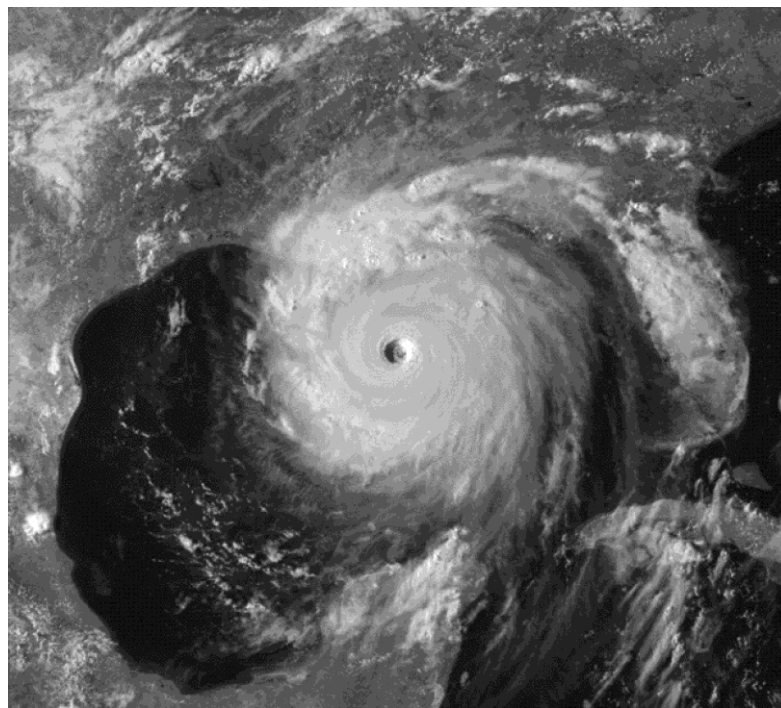
## ◆ 可见光与红外波段成像-多光谱遥感图像分析



## 1.3 数字图像处理应用领域

### ◆ 可见光与红外波段成像-天气观测与预报

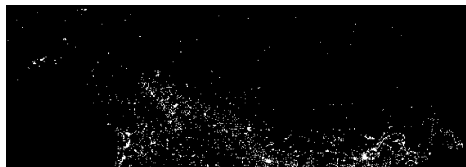
(a) 2005年8月29日拍摄的“卡特琳娜”飓风的卫星图像



(a)

# 1.3 数字图像处理应用领域

## ◆ 可见光与红外波段成像-红外成像系统

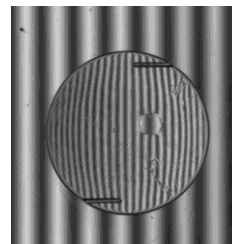
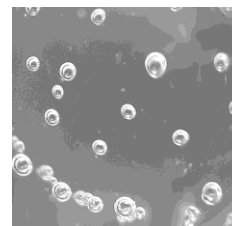
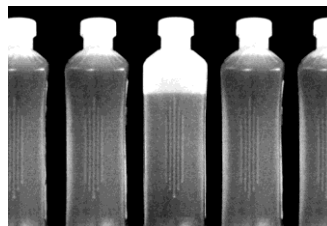
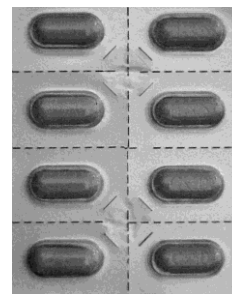
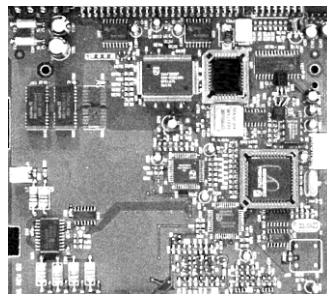


左：美洲红外卫星图像  
右：实际地形参考图像

# 1.3 数字图像处理应用领域

## ◆ 可见光与红外波段成像-工业检测

可见光谱中一个  
主要成像领域是  
生产产品的自动  
视觉检测





# 1.3 数字图像处理应用领域

## ◆ 可见光与红外波段成像-其他例子

(a)



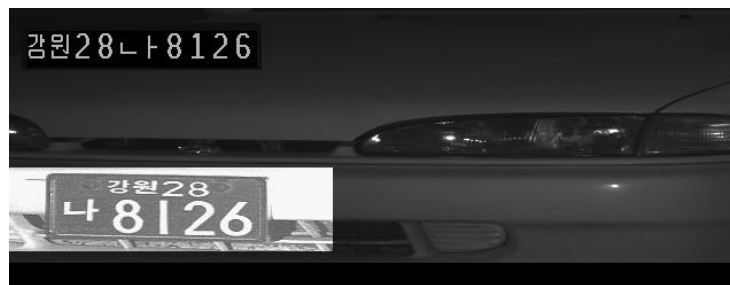
(b)



(a) 拇指指纹图像

(b) 纸币图像

(c) ~ (d) 车牌图像识别



(c)

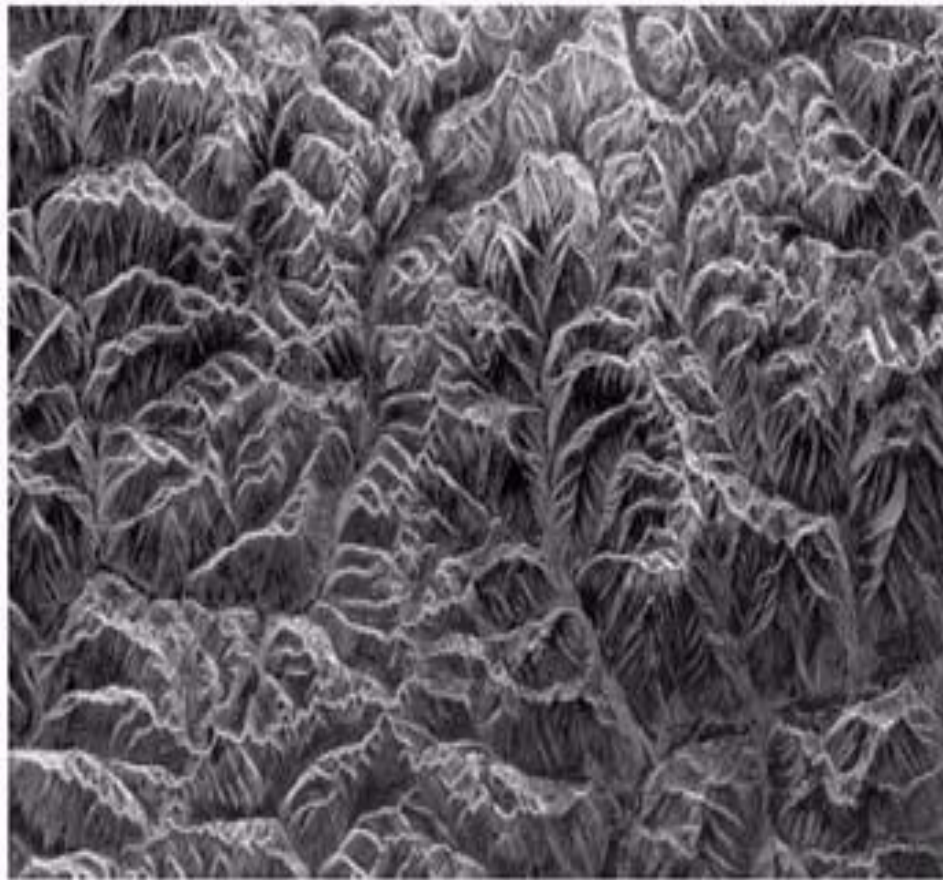


(d)

## 1.3 数字图像处理应用领域

### ◆ 微波波段成像

航天器拍摄的  
西藏东南山区  
雷达图像



## 1.3 数字图像处理应用领域

### ◆ 无线电波段成像



(a)

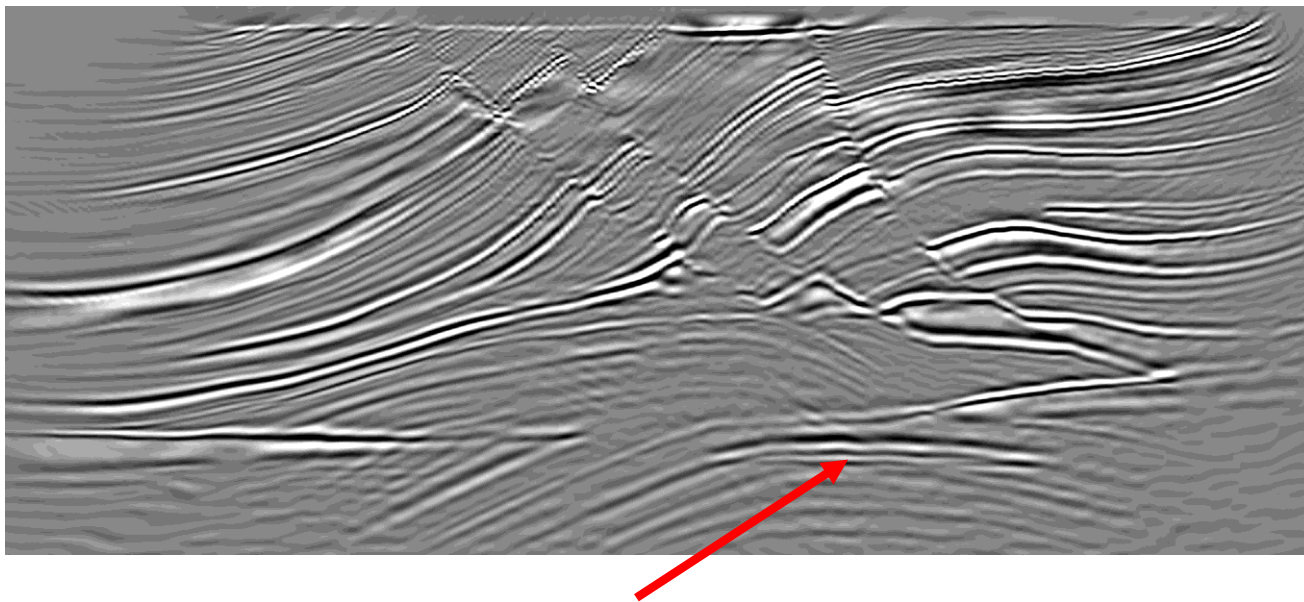


(b)

人的磁共振(MRI)图像：(a) 膝盖图像；(b) 脊椎图像

## 1.3 数字图像处理应用领域

### ◆ 使用其他成像方式的例子-低端声波成像



地震模型的剖面图像。箭头指向碳氢化合物（油或气）的油气阱

# 1.3 数字图像处理应用领域

## ◆ 使用其他成像方式的例子-超声成像

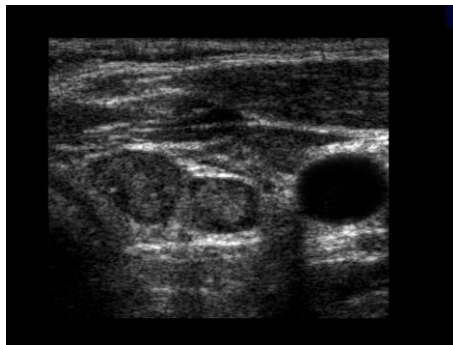
(a) 胎儿图像



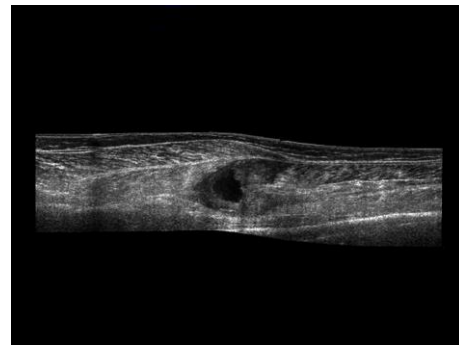
(b) 胎儿的另一幅图像



(c) 甲状腺图像



(d) 有损伤的肌肉层图像



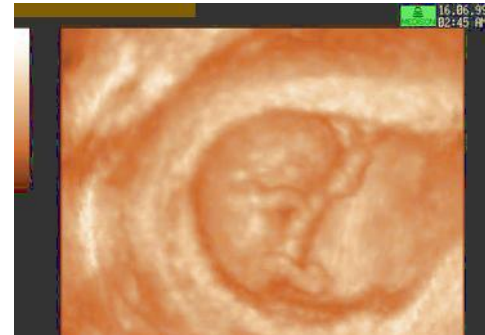
(c)

(d)



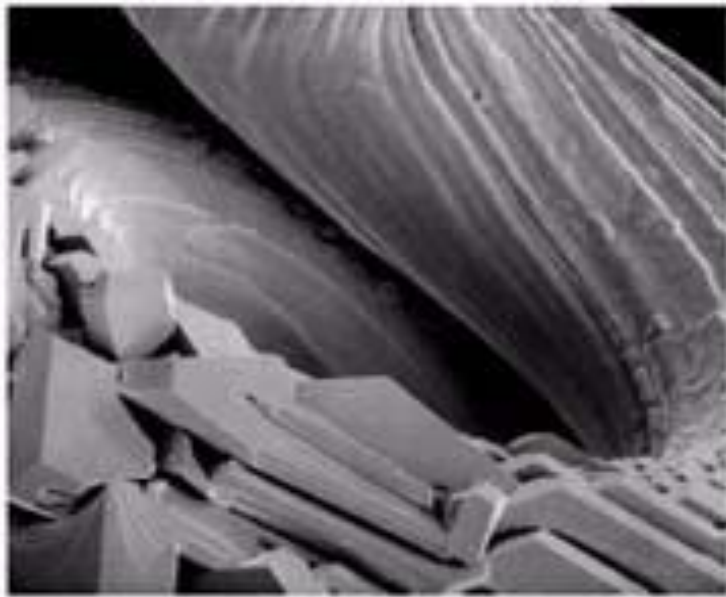
# 1.3 数字图像处理应用领域

## ◆ 使用其他成像方式的例子-超声成像

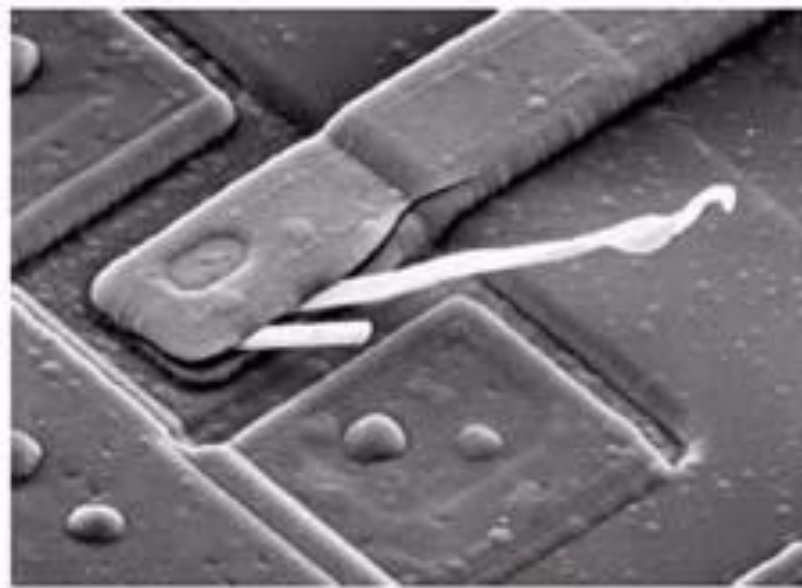


## 1.3 数字图像处理应用领域

### ◆ 使用其他成像方式的例子-电子显微镜成像



(a) 过热损坏的钨丝（250倍）

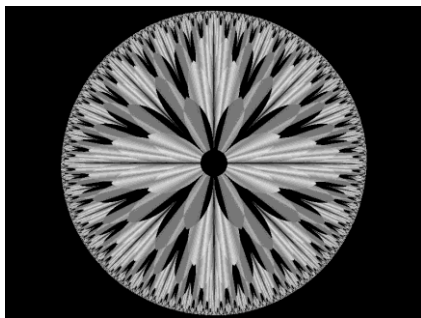


(b) 损坏的IC电路（2500倍）

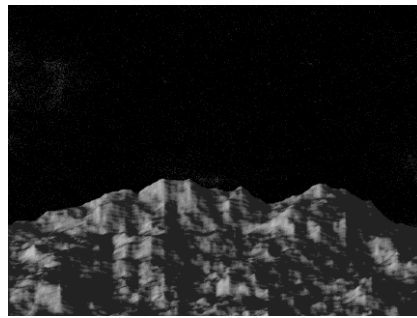
扫描式电子显微镜图像 (SEM)

# 1.3 数字图像处理应用领域

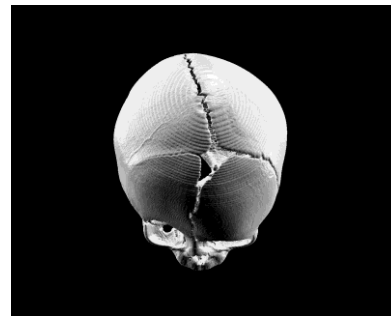
## ◆ 计算机生成的图像



(a)



(b)



(c)



(d)

(a) ~ (b) 分形图像；(c) ~ (d) 所示物体的三维计算机模型生成的图像





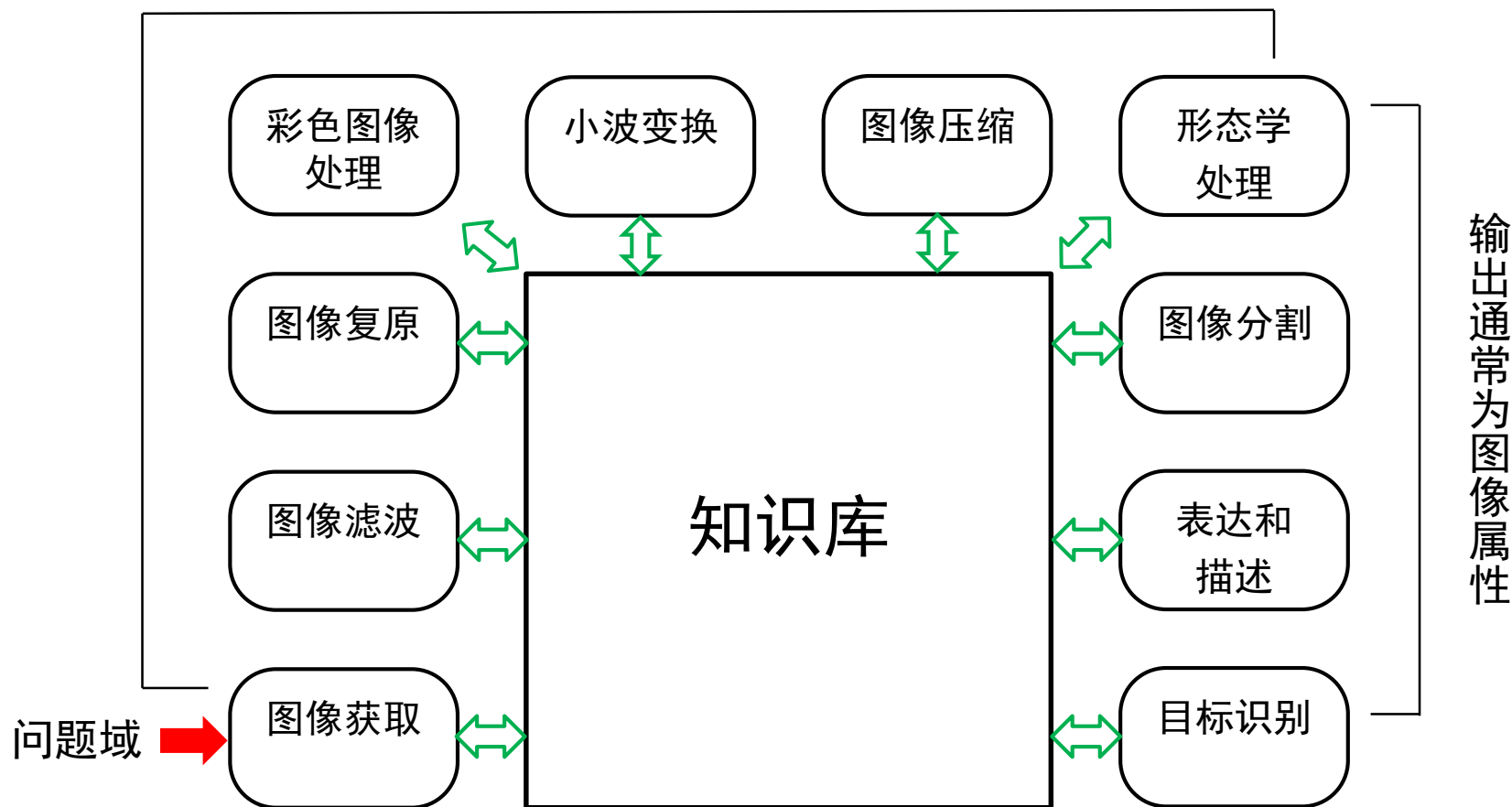
# 第1章 绪论

---

- 1.1 什么是数字图像处理
- 1.2 数字图像处理的起源
- 1.3 数字图像处理应用领域
- 1.4 **数字图像处理的基本步骤**
- 1.5 图像处理系统的组成
- 1.6 数字图像处理应用举例

# 1.4 数字图像处理的基本步骤

输出通常为图像



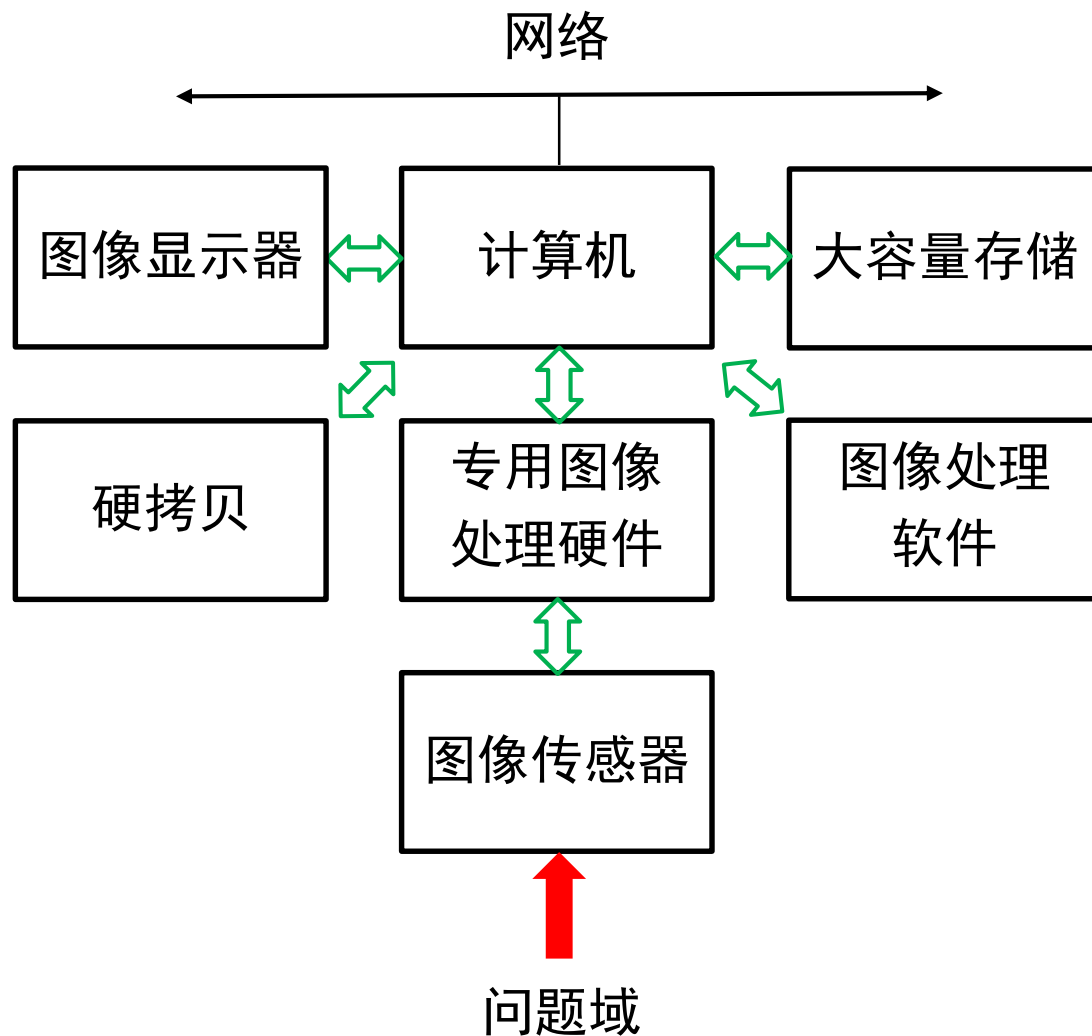


# 第1章 绪论

---

- 1.1 什么是数字图像处理
- 1.2 数字图像处理的起源
- 1.3 数字图像处理应用领域
- 1.4 数字图像处理的基本步骤
- 1.5 **图像处理系统的组成**
- 1.6 数字图像处理应用举例

## 1.5 图像处理系统的组成





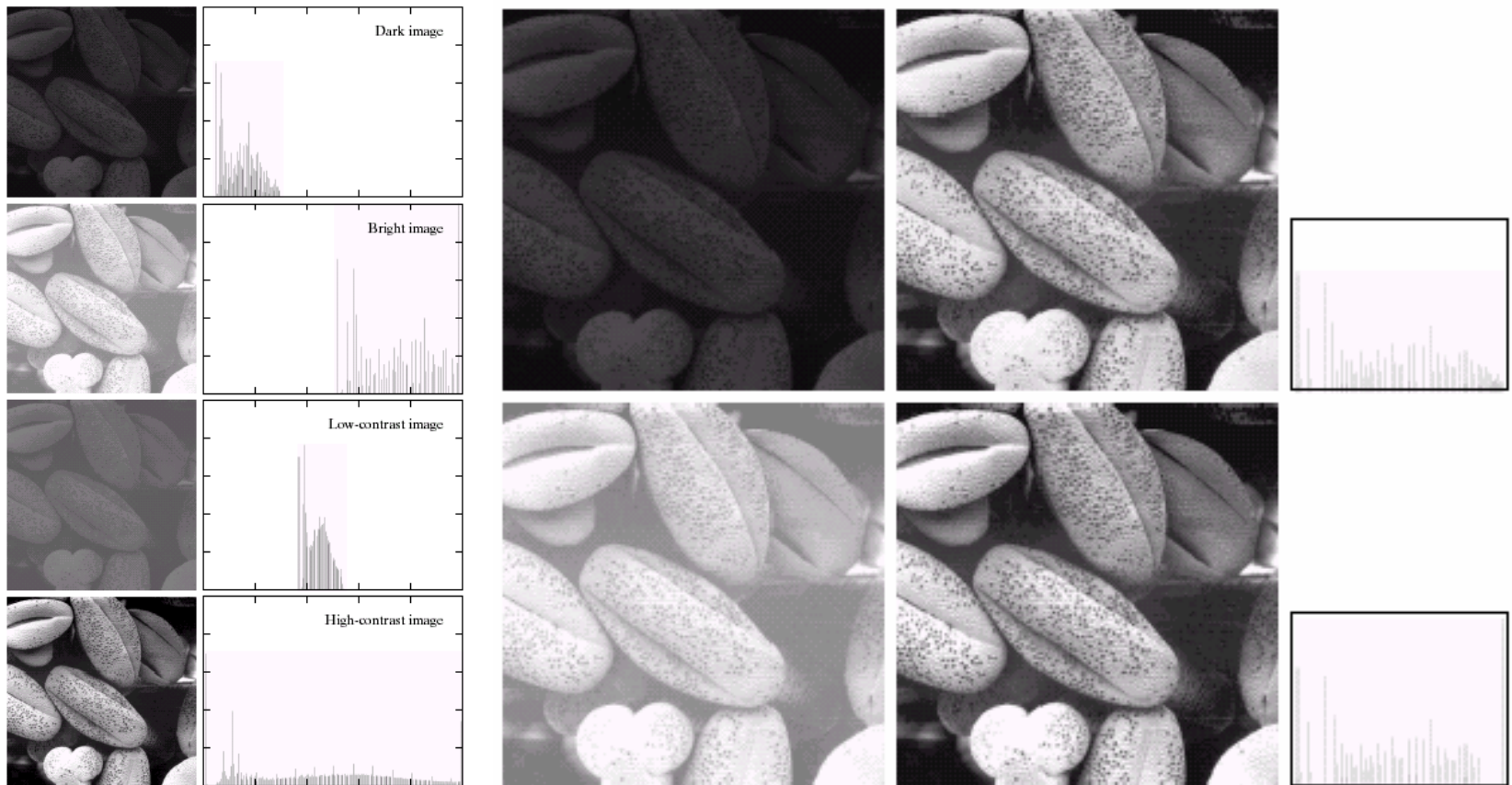
# 第1章 绪论

---

- 1.1 什么是数字图像处理
- 1.2 数字图像处理的起源
- 1.3 数字图像处理应用领域
- 1.4 数字图像处理的基本步骤
- 1.5 图像处理系统的组成
- 1.6 **数字图像处理应用举例**

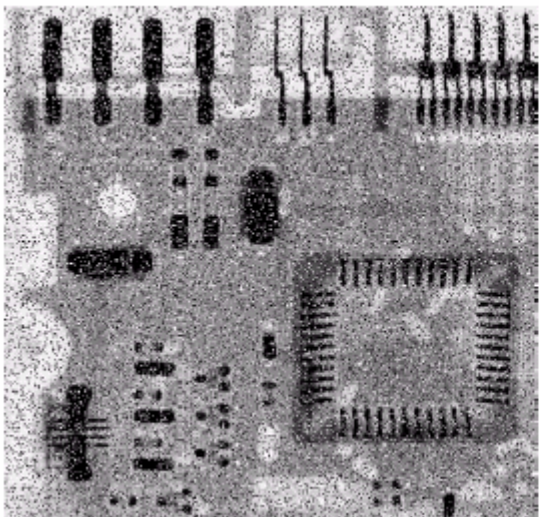
# 1.6 数字图像处理应用举例

## ➤ 直方图均衡

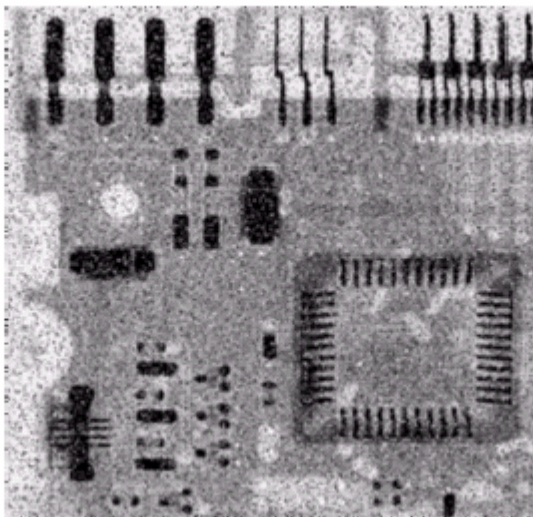


# 1.6 数字图像处理应用举例

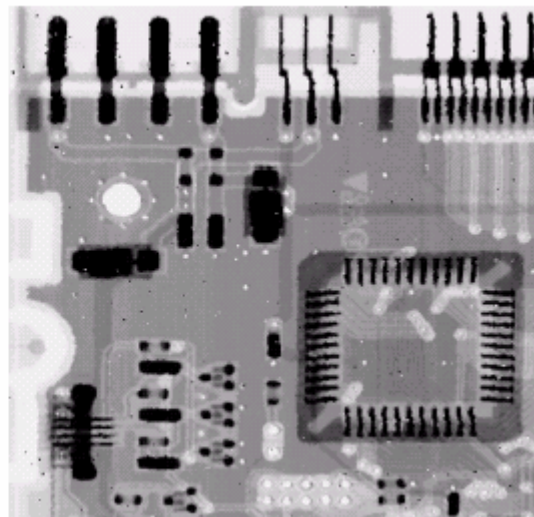
## ➤ 空域滤波



(a) 椒盐噪声图像



(b) 均值滤波

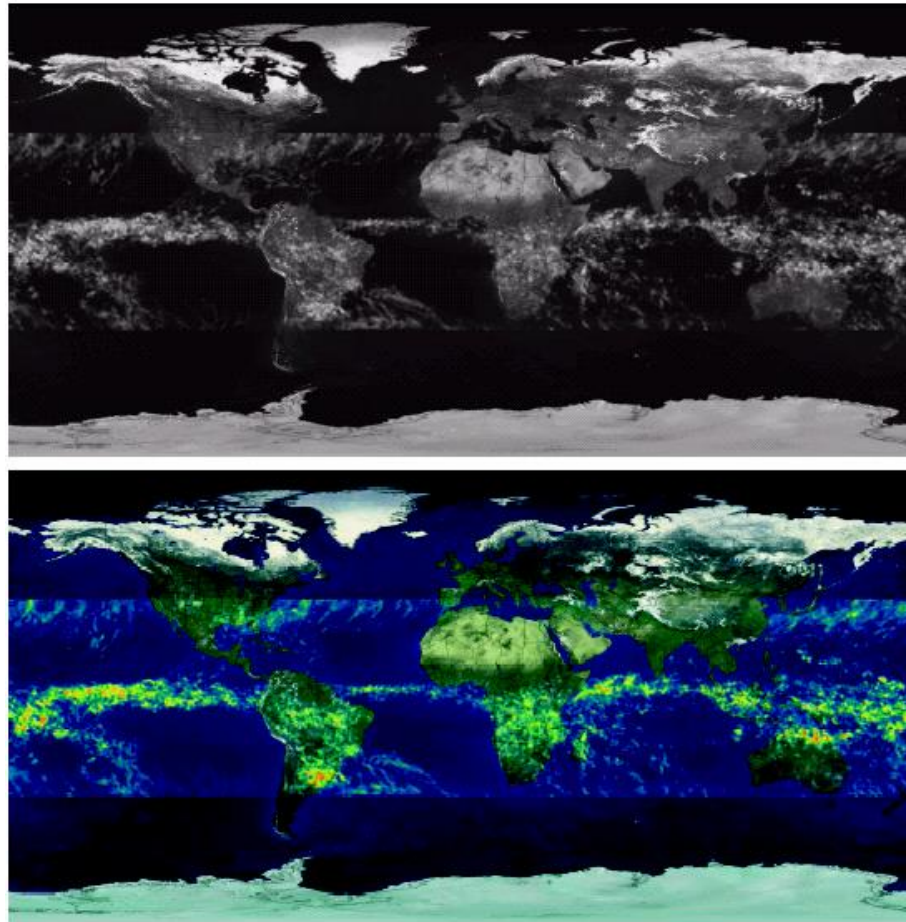


(c) 中值滤波



# 1.6 数字图像处理应用举例

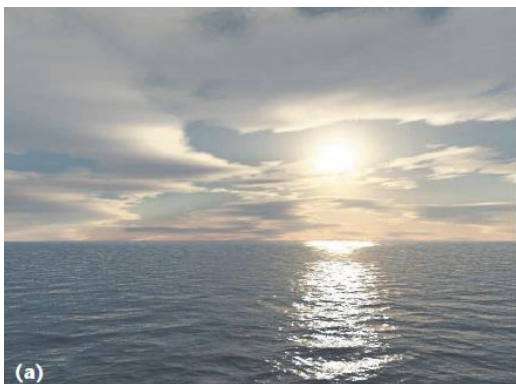
## ➤ 伪彩色变换



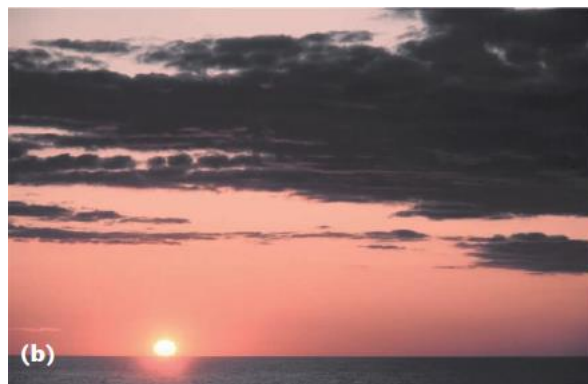


# 1.6 数字图像处理应用举例

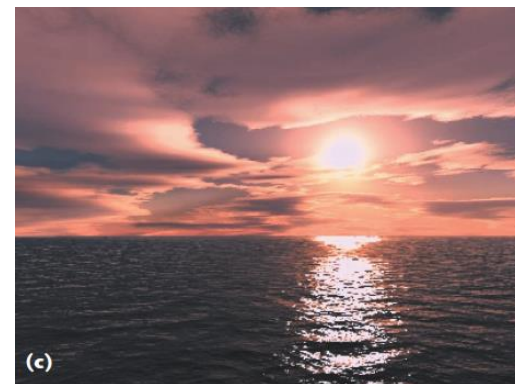
## ➤ 颜色迁移 (Color Transfer)



(a) 目标图像



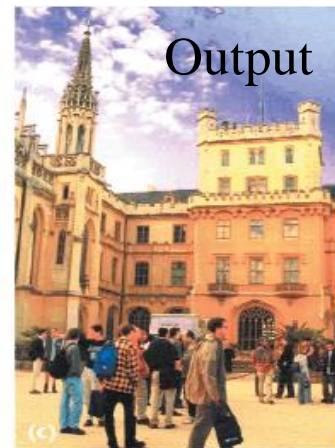
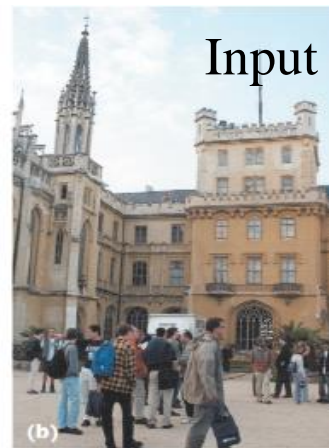
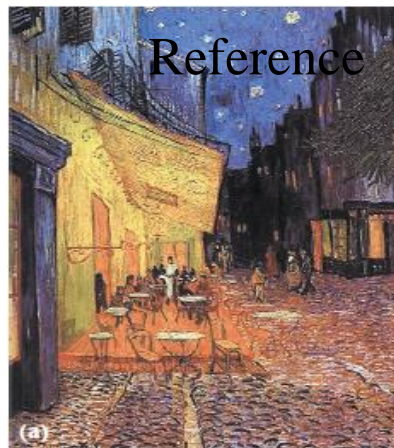
(b) 参考图像



(c) 迁移结果

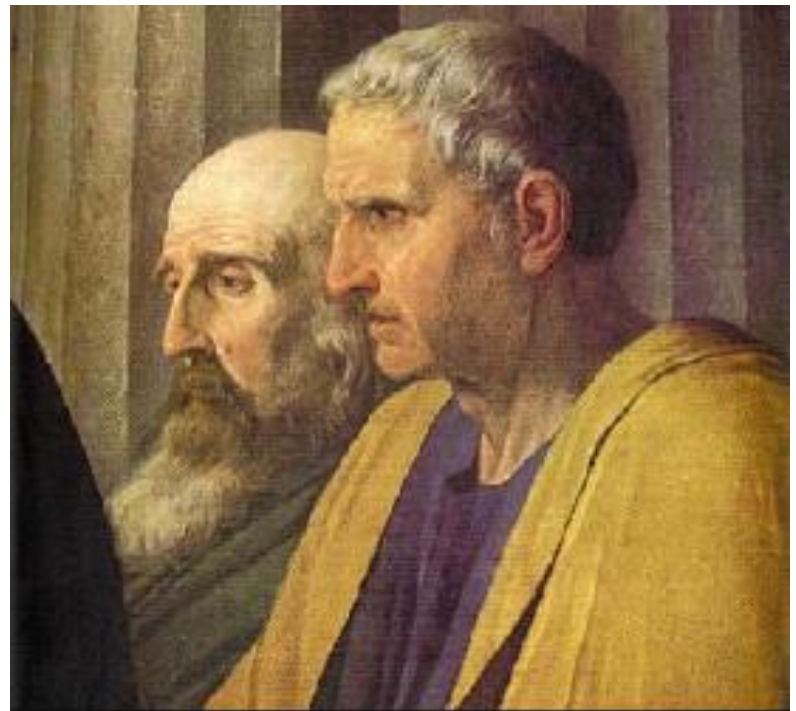
# 1.6 数字图像处理应用举例

## ➤ 颜色迁移 (Color Transfer)



# 1.6 数字图像处理应用举例

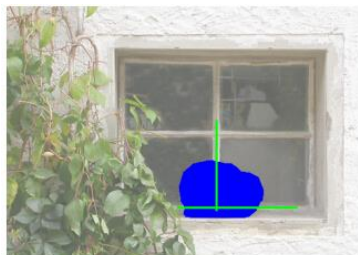
## ➤ 图像修复





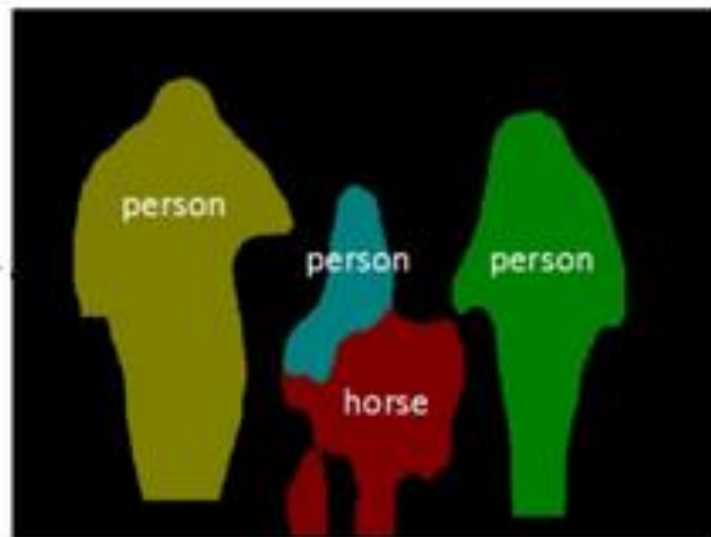
# 1.6 数字图像处理应用举例

## ➤ 图像修复



## 1.6 数字图像处理应用举例

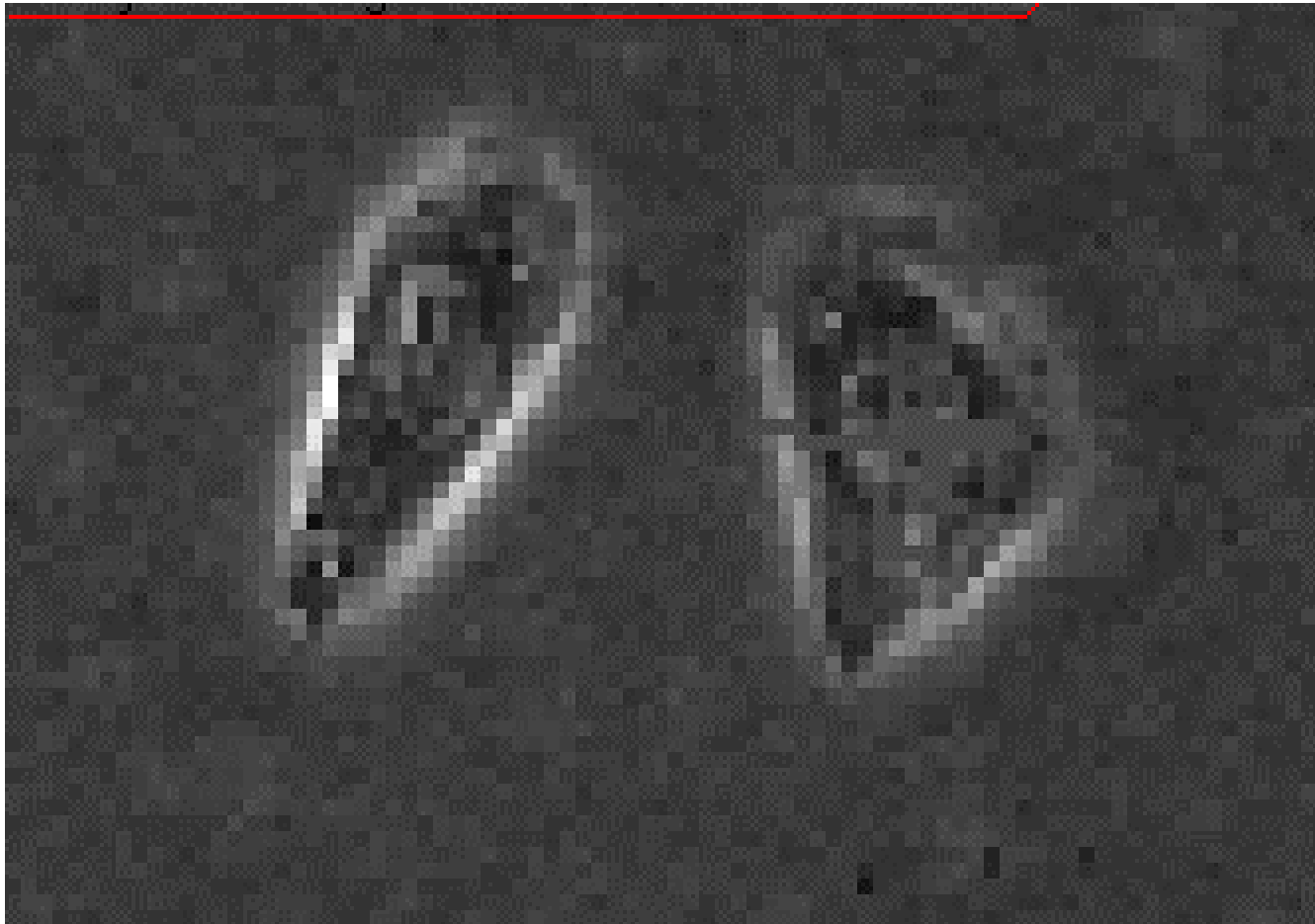
### ➤ 图像分割



# 1.6 数字图像处理应用举例

---

## ➤ 图像分割





# 1.6 数字图像处理应用举例

## ➤ 航空遥感图像分析



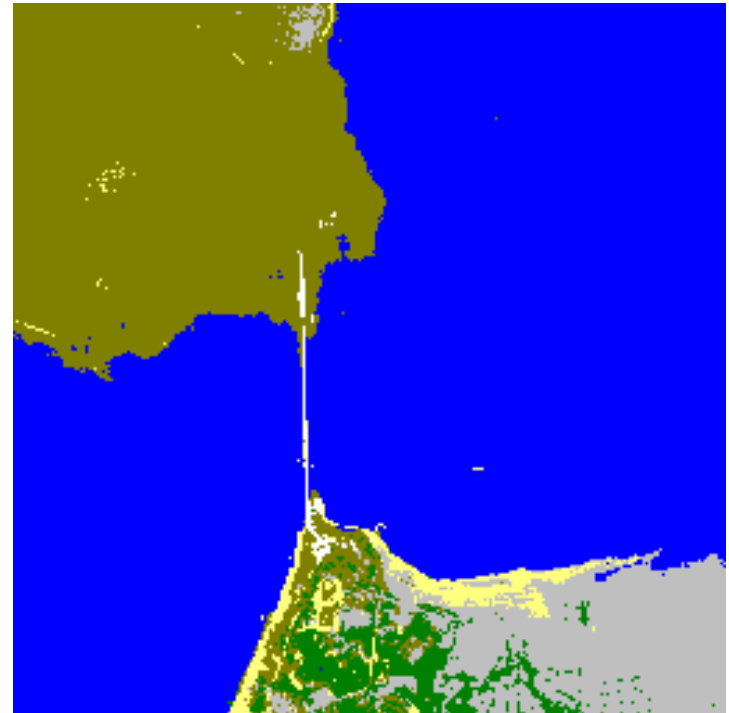
# 1.6 数字图像处理应用举例

## ➤ 卫星遥感图像分析



# 1.6 数字图像处理应用举例

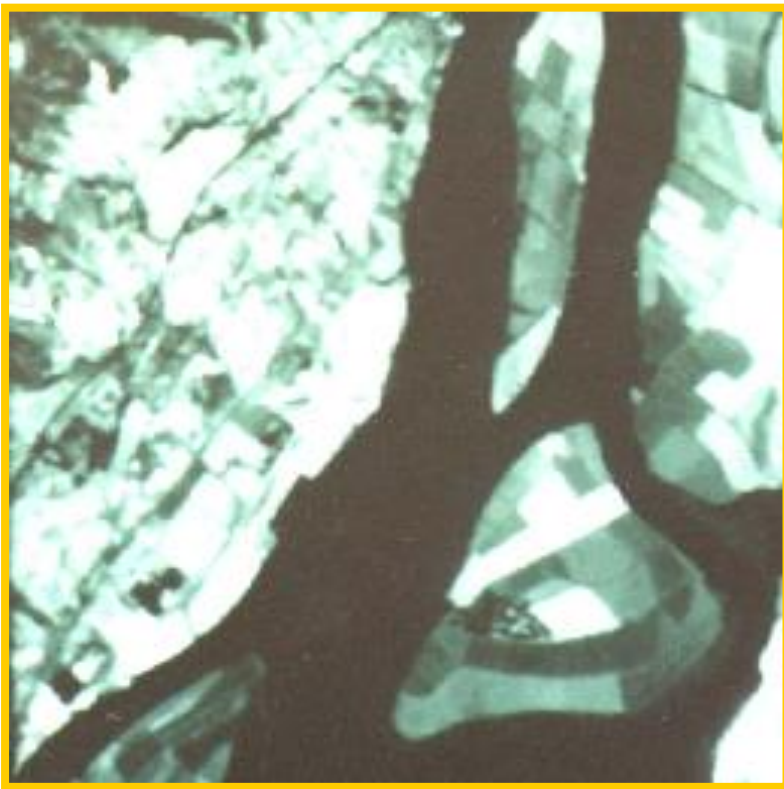
## ➤ 遥感分类



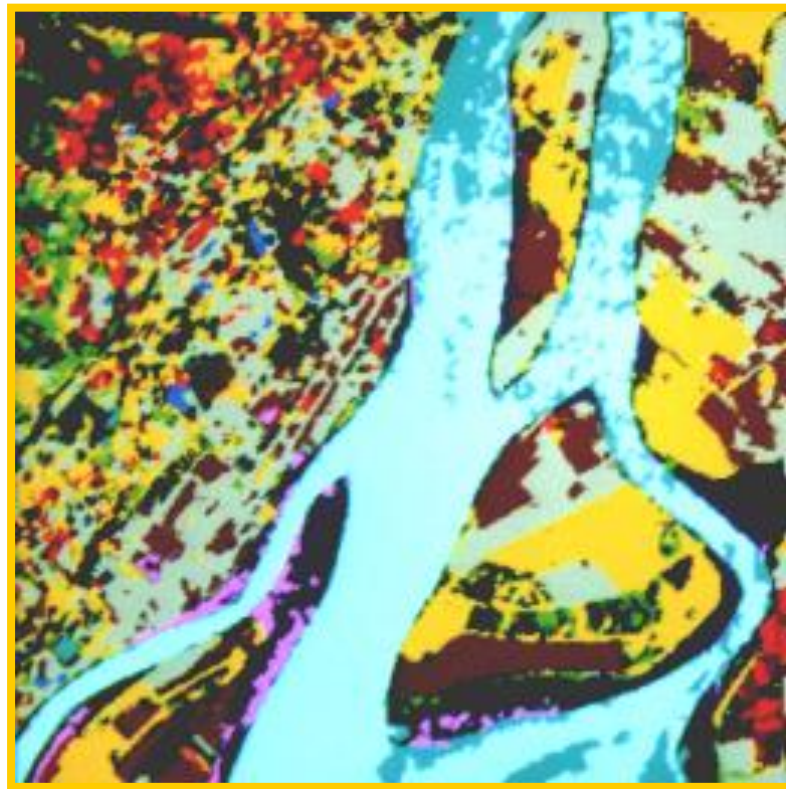


## 1.6 数字图像处理应用举例

### ► 遥感分类



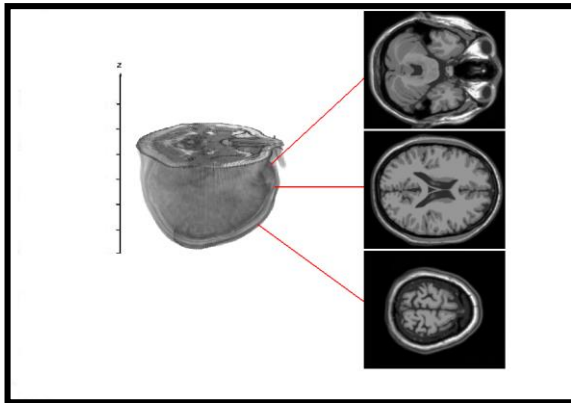
(a) 里斯本地区TM遥感图像（第六波段）



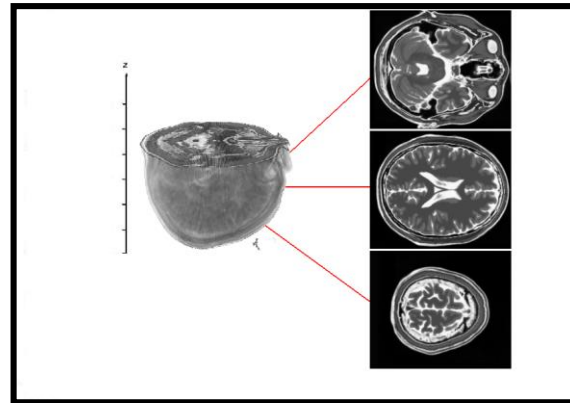
(b) 采用有监督分类的十五大类分类结果

# 1.6 数字图像处理应用举例

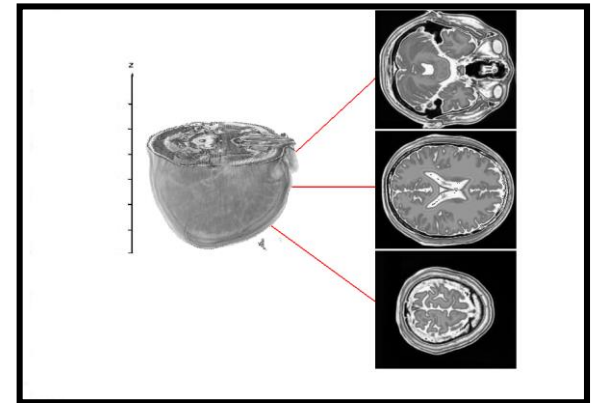
## ➤ 图像融合



(a) MR Image T1 Band



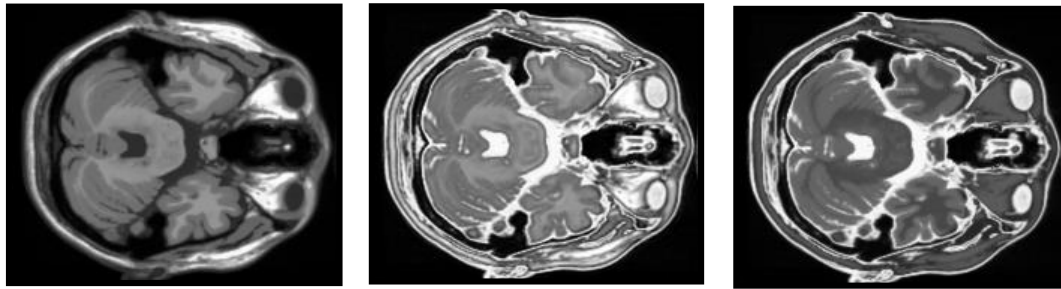
(b) MR Image T2 Band



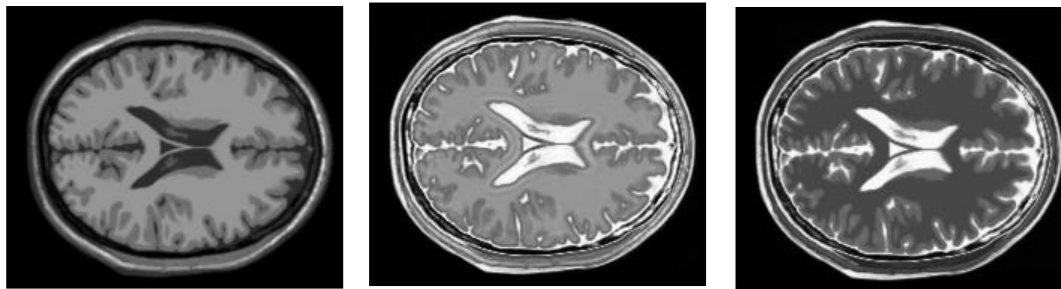
(c) Fused Image

# 1.6 数字图像处理应用举例

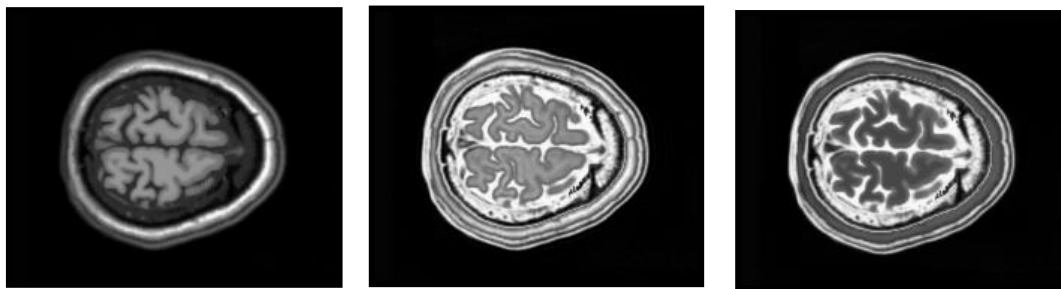
## ➤ 图像融合



(a) Result 1



(b) Result 2

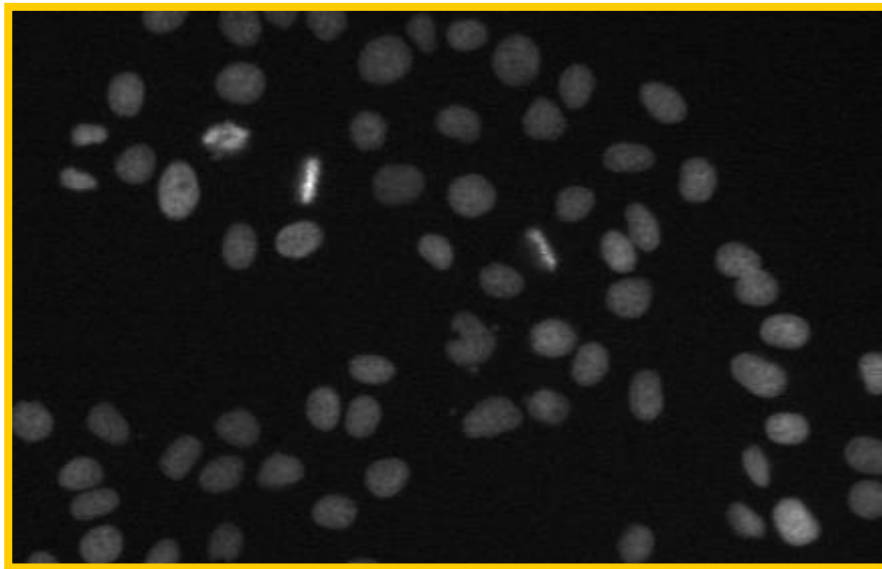


(c) Result 3

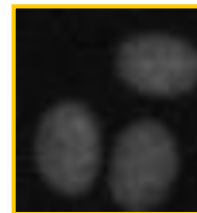


# 1.6 数字图像处理应用举例

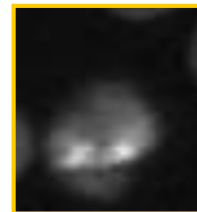
## ➤ 辅助制药



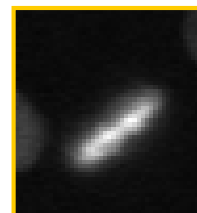
(a) 细胞显微荧光图像



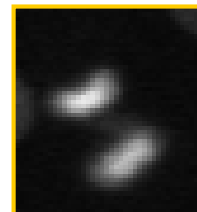
(a) 分裂间期



(b) 分裂前期



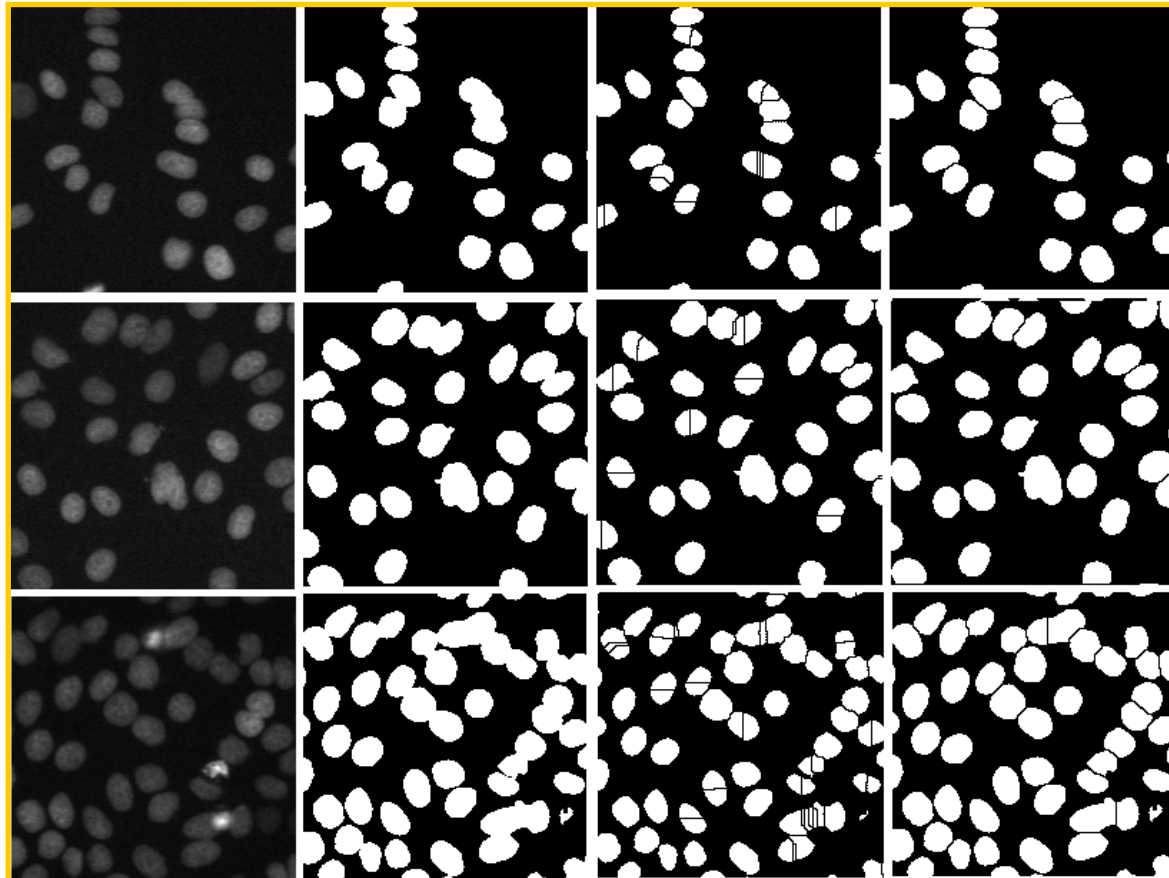
(c) 分裂中期



(d) 分裂后期

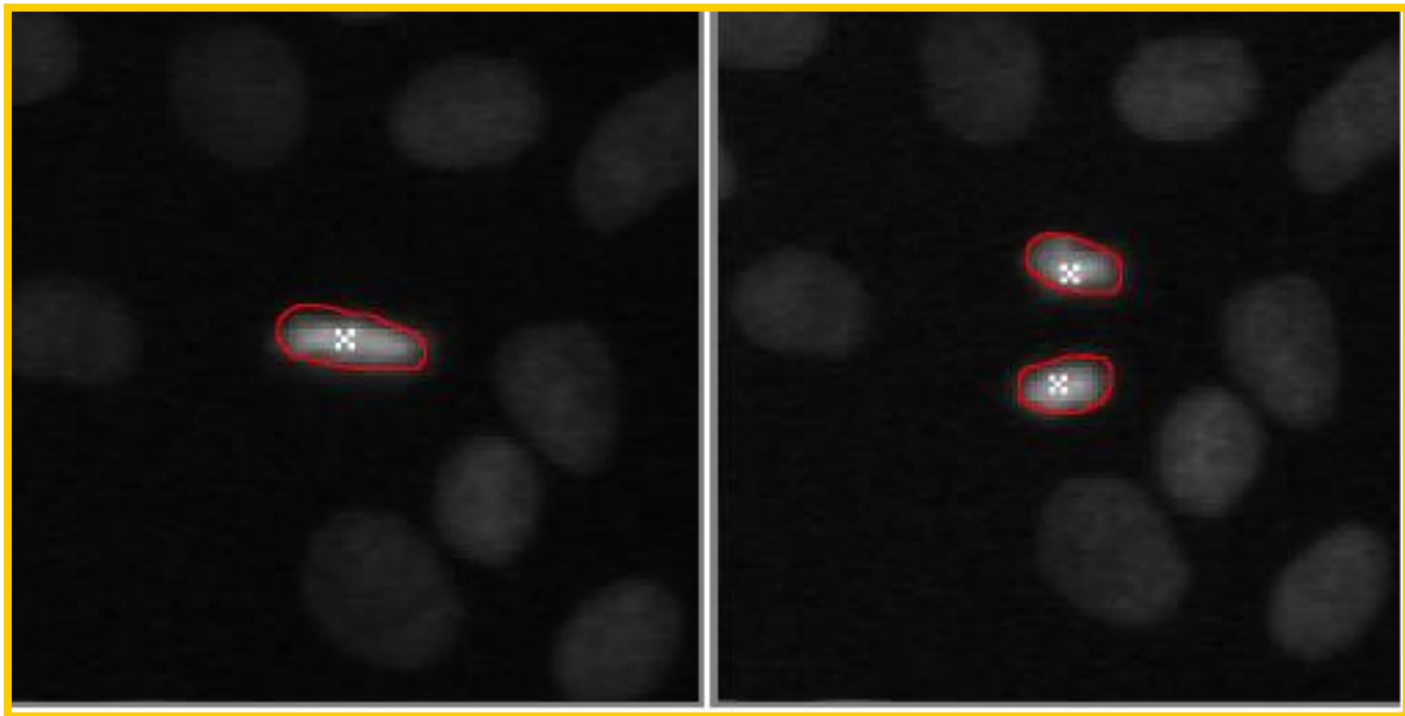
## 1.6 数字图像处理应用举例

### ➤ 辅助制药



## 1.6 数字图像处理应用举例

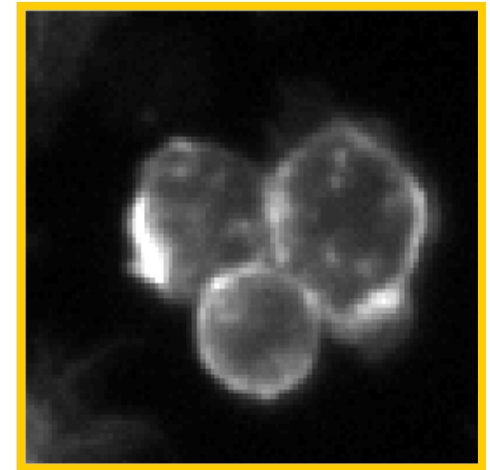
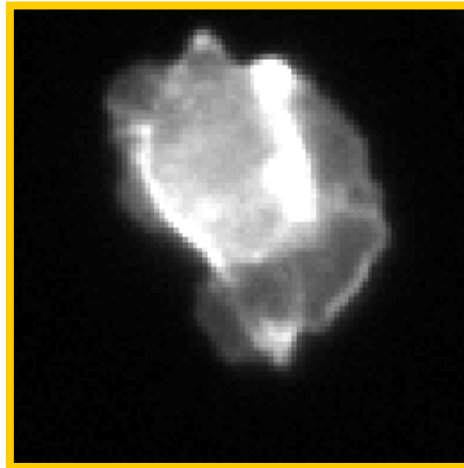
### ➤ 辅助制药



跟踪

# 1.6 数字图像处理应用举例

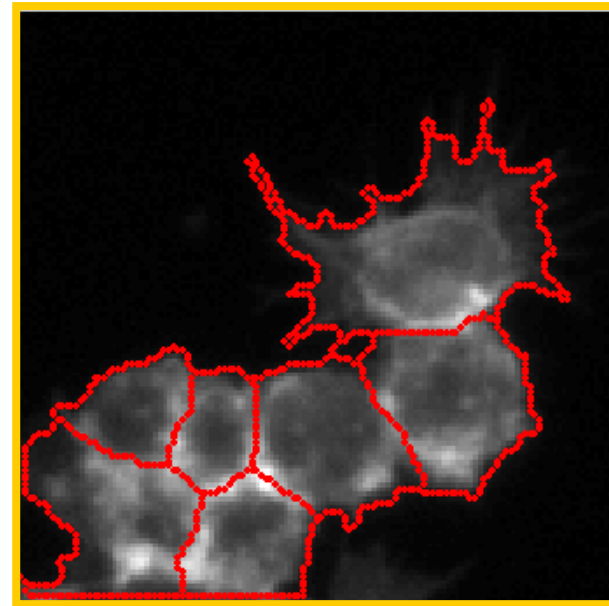
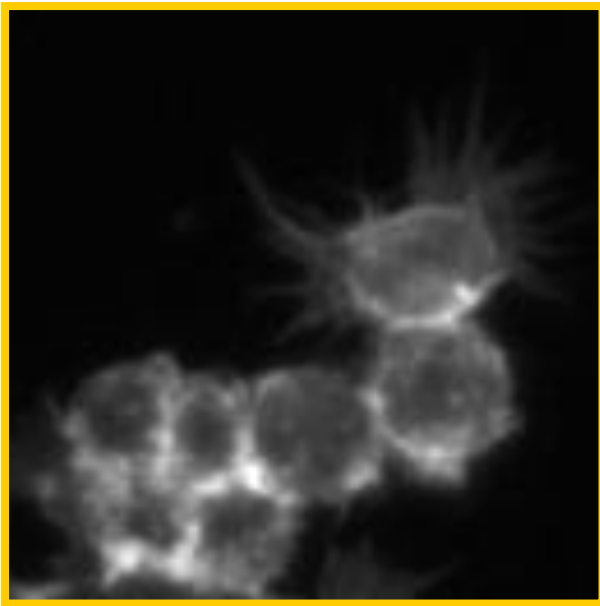
## ➤ 基于图像分析的生物信息学



RNAi Cell Image分割

## 1.6 数字图像处理应用举例

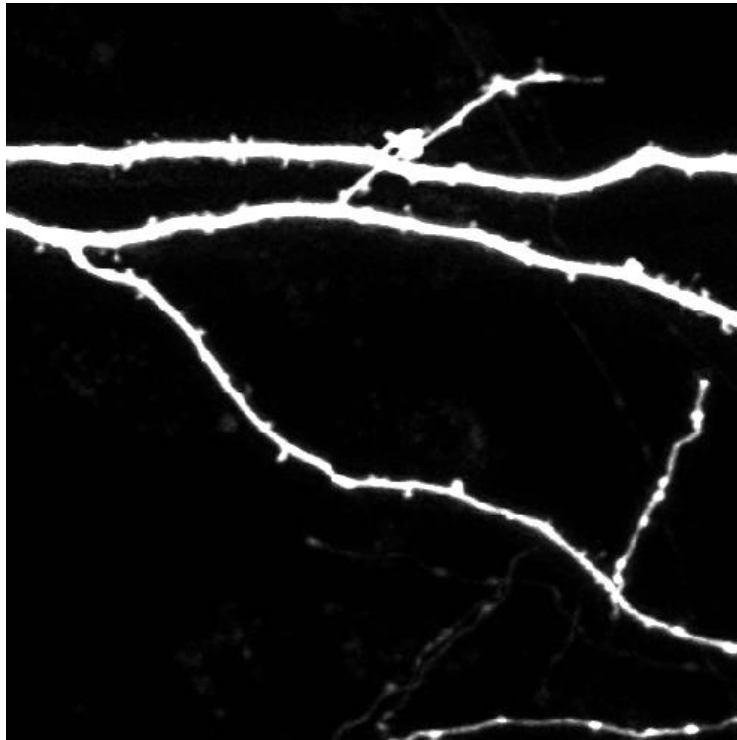
### ➤ 基于图像分析的生物信息学



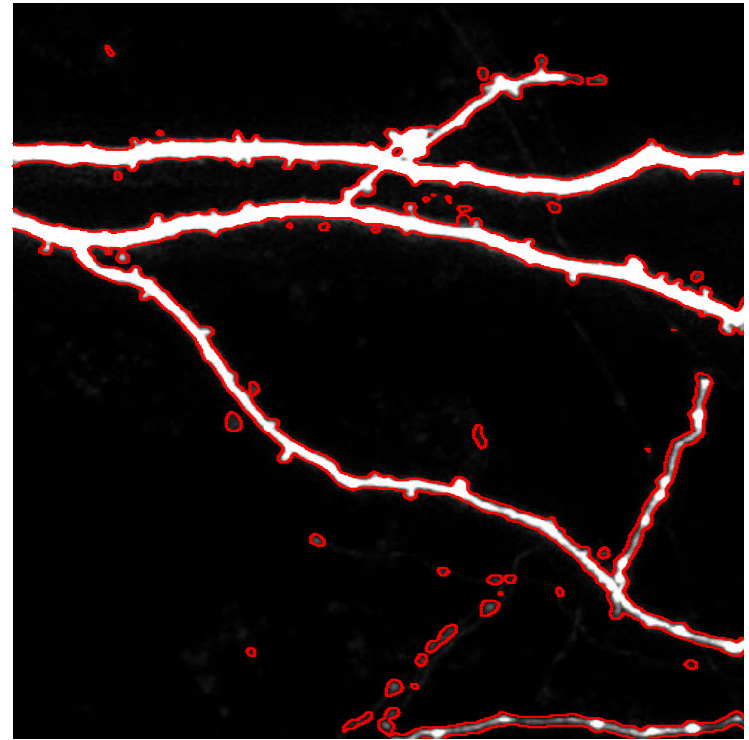
RNAi Cell Image分割

# 1.6 数字图像处理应用举例

## ➤ 神经细胞图像处理与分析



(a). Original image



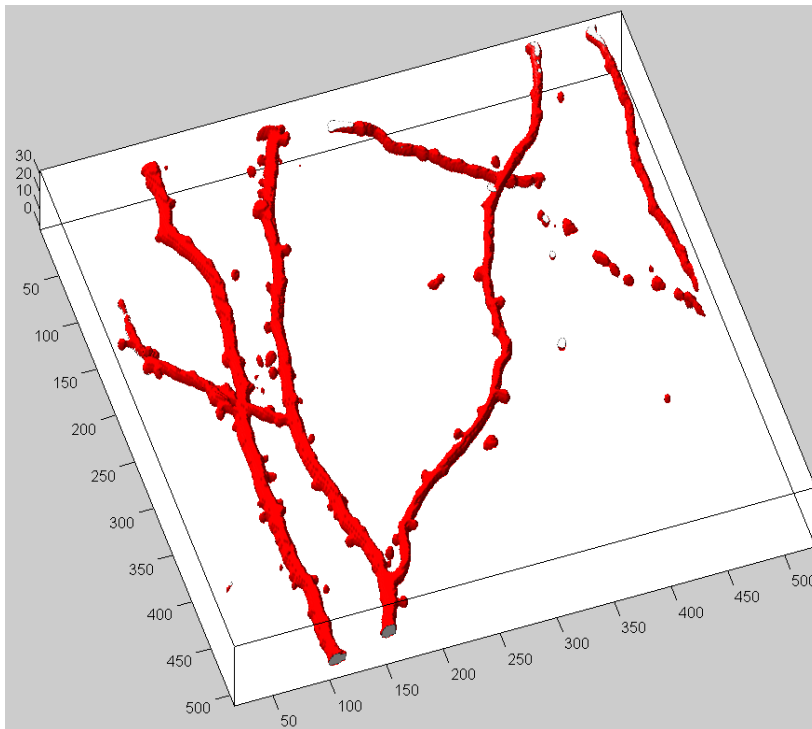
(b). Segmentation result

**Denrite Image分割**

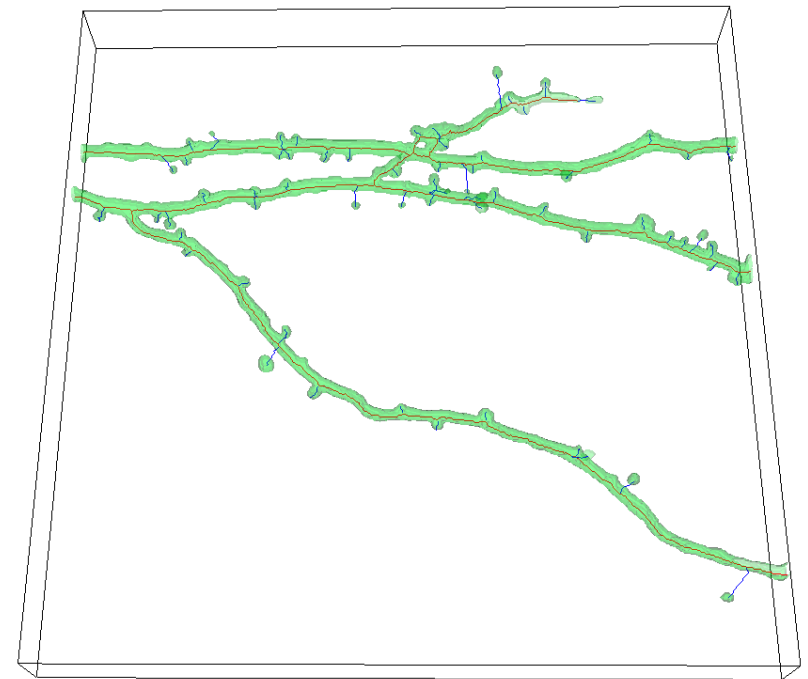


# 1.6 数字图像处理应用举例

## ➤ 神经细胞图像处理与分析



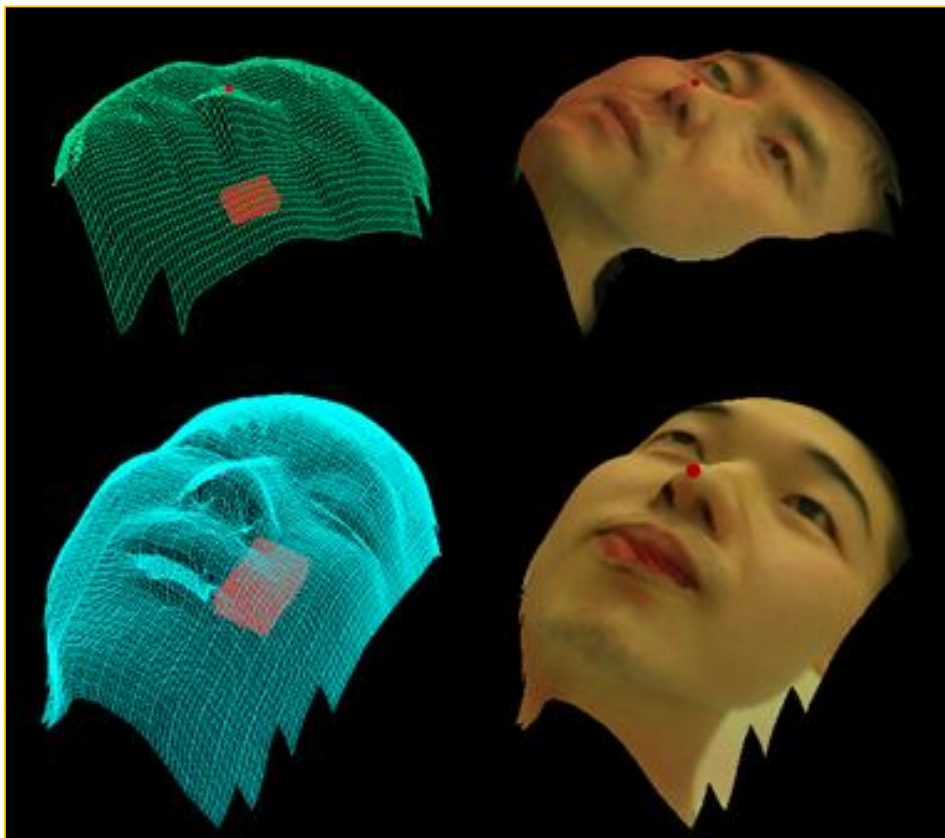
(c). 3D view of segmentation result



(d). Surface rendering and skeleton, each branch in the skeleton corresponds to a spine

## 1.6 数字图像处理应用举例

### ➤ 人脸整容



# 1.6 数字图像处理应用举例

## ➤ 人脸整容



# 1.6 数字图像处理应用举例

## ➤ 图像检索

Database: thousands -> millions -> billions

- Retrieve identical images (✓)
- Retrieve nearly duplicated images: cropped, edited, resized (✓)



- Retrieve images containing similar objects (✓)



- Retrieve similar semantics (X)



# 1.6 数字图像处理应用举例

## □ Problem definition

- Goal: Search images with partial-duplicated patches in a large corpus of web image dataset.



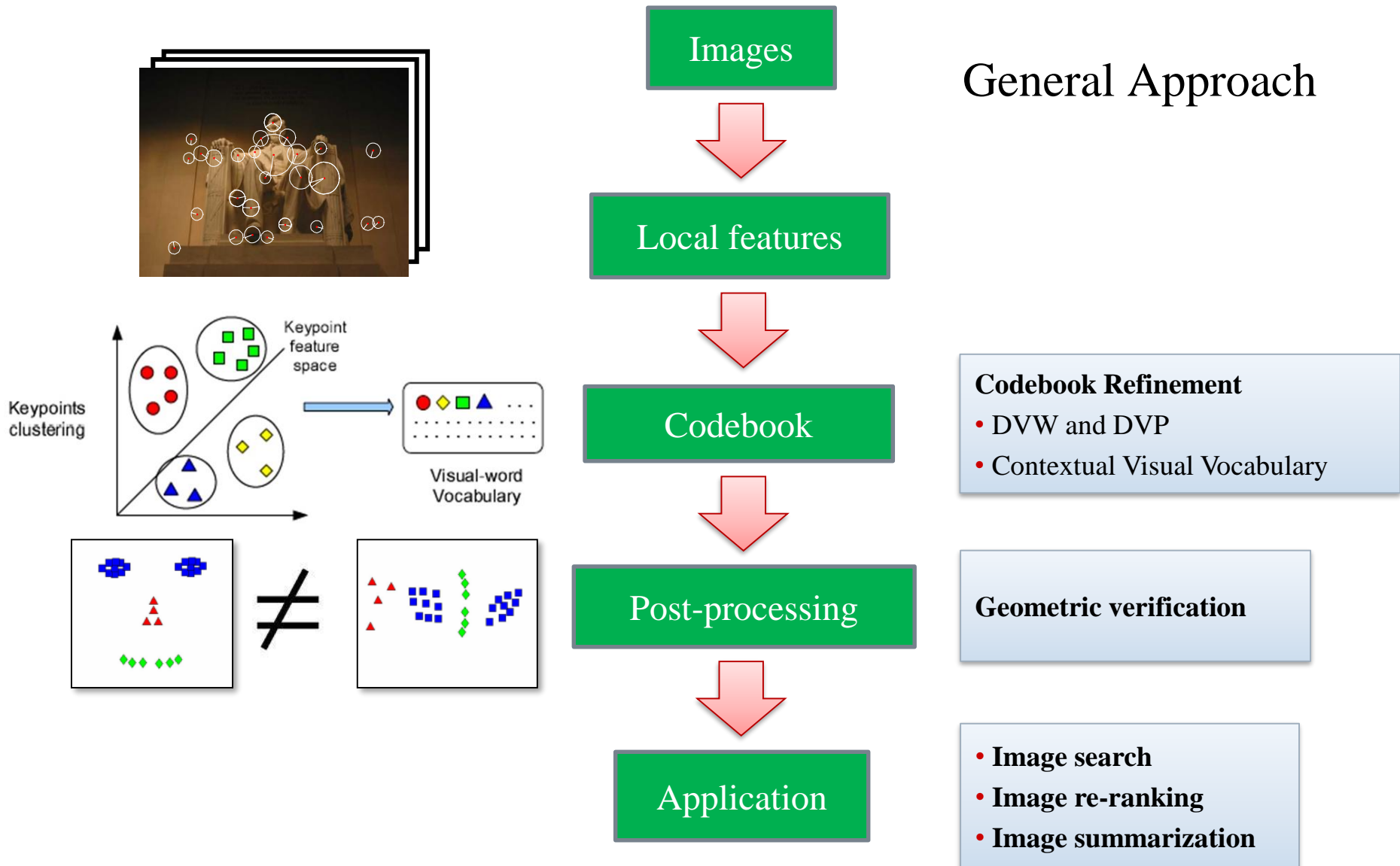
## □ Partially duplicated target image

- Edit the original image with changes in scale, cropping, and partial occlusion, *etc.*

## □ Different from image-based object retrieval

- Variations due to 3D view-point change, object-class variability, *etc.*

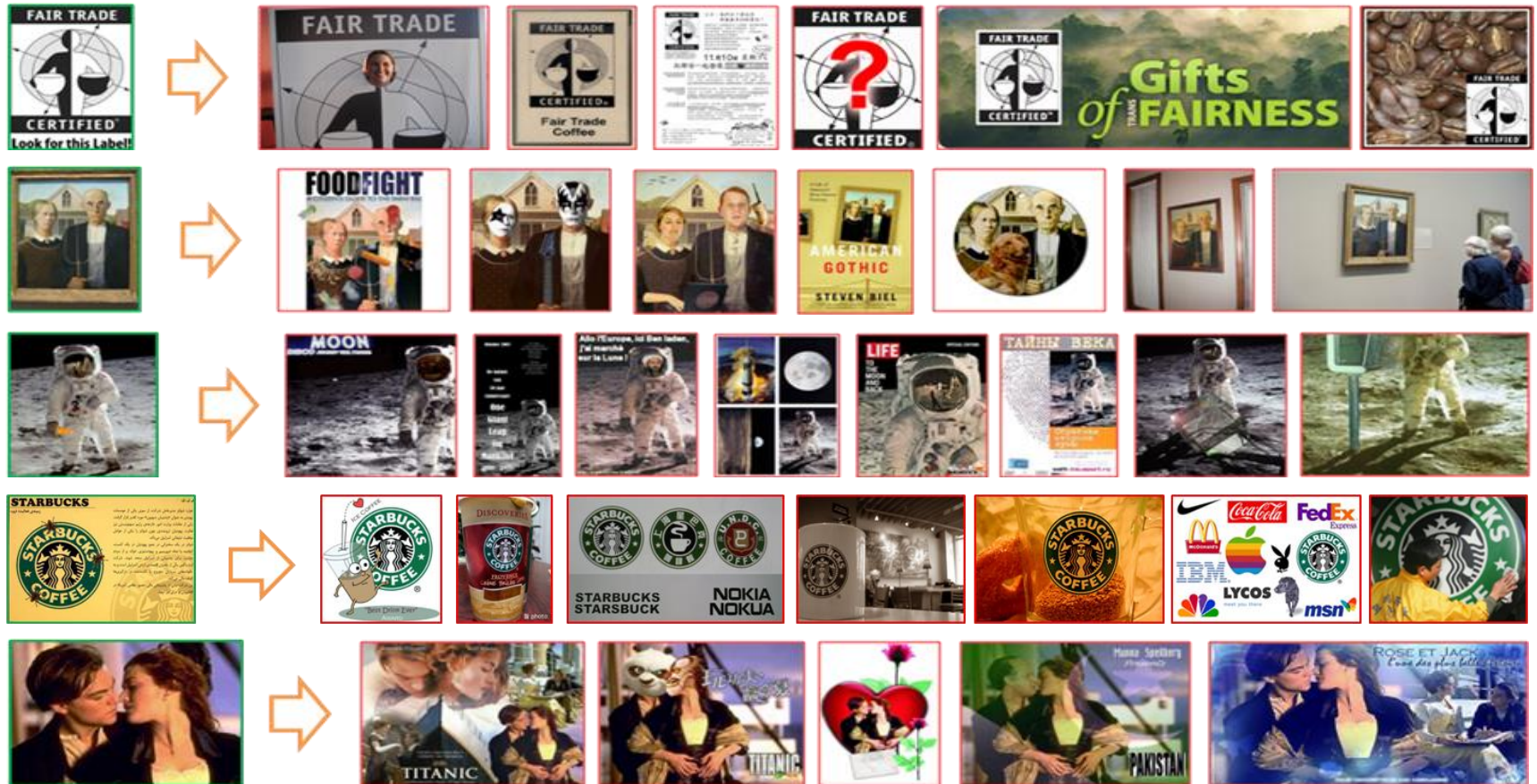
# 1.6 数字图像处理应用举例





# 1.6 数字图像处理应用举例

## Sample Results

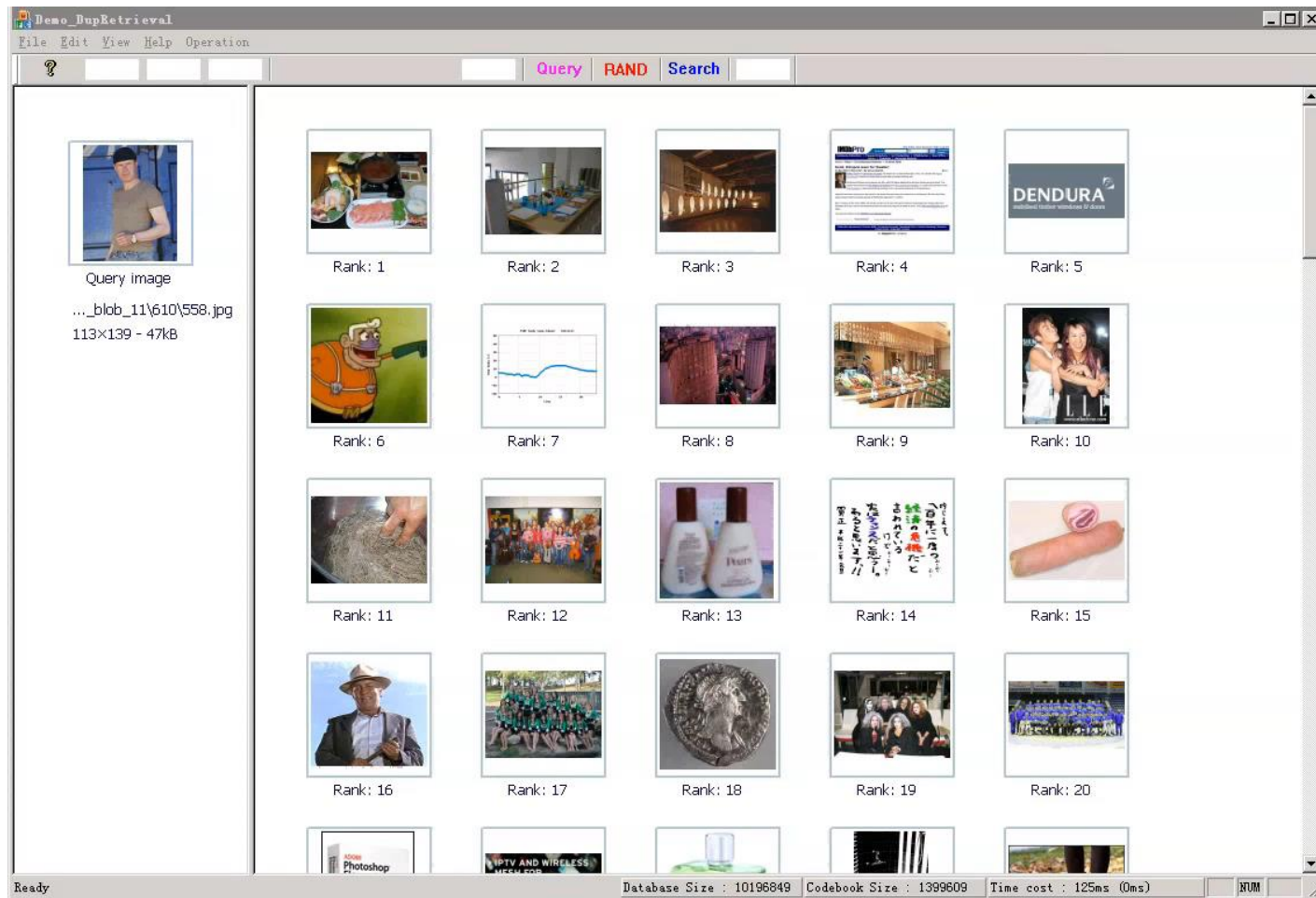


Queries

(selected from those before the first false positive)

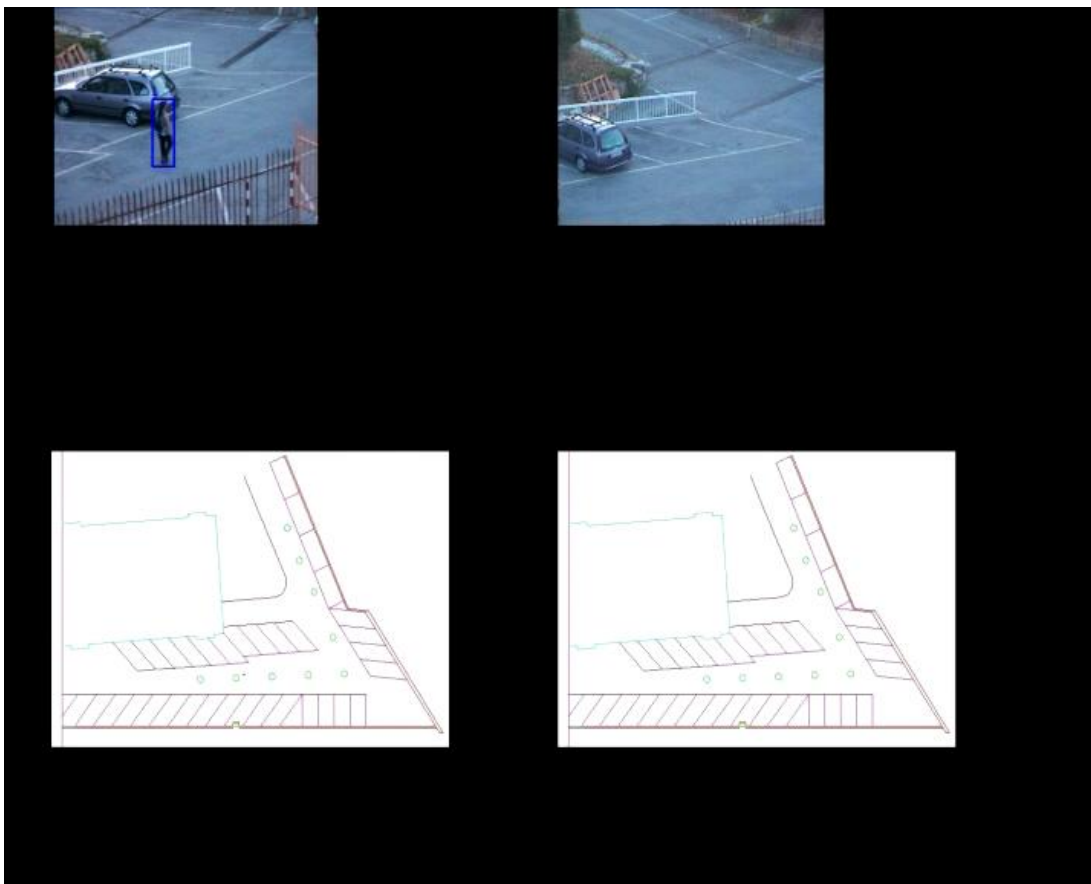
## 1.6 数字图像处理应用举例

# Demo



# 1.6 数字图像处理应用举例

## ➤ 视频分析：运动目标跟踪



## 1.6 数字图像处理应用举例

### ➤ 视频分析：Video Inpainting





# 1.6 数字图像处理应用举例

## ➤ 视频分析：Video Summary



(a) Original Video



(b) Video Summary

# 1.6 数字图像处理应用举例

## ➤ 视频分析: Video Analysis Coding



(a) Sample



(b) Sample



(c) Ours





# 课程安排

---

- Chapter. 1 绪论
- Chapter. 2 数字图像基础
- Chapter. 3 图像增强
- Chapter. 4 恢复与重建
- Chapter. 5 彩色图像处理
- Chapter. 6 小波变换\*
- Chapter. 7 图像压缩\*
- Chapter. 8 形态学处理
- Chapter. 9 图像分割



# 参考书目

---

教材：

[美] Rafael C. Gonzalez著；阮秋琦 等 译. 《数字图像处理》  
(第三版)，2017.

参考书：

1. 章毓晋. 《图像工程》（上册）：图像处理（第3版），2012.
2. [美] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, Steven L. Eddins著；  
阮秋琦 译. 国外电子与通信教材系列：《数字图像处理》  
**（MATLAB版）（本科教学版），电子工业出版社，第2版，2014.**
3. Russ J C, The Image Processing Handbook, 4th Ed. CRC Press, 2002.
4. Kenneth. R. Casteman, Digital Image Processing, Printice Hall Inc. 1996
5. W. K. PRATT, Digital Image Processing, 3rd ed., John Wiley and Sons, 2001