



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)

李 礼 (lil1@ustc.edu.cn)

助 教：刘为顺 (liuws@mail.ustc.edu.cn)

景卓然 (j1810188947@mail.ustc.edu.cn)

课程主页： <https://ustc-dip.github.io/>



课程说明

□ 教材

- 《数字图像处理》(第四版), 2020
 - ✓ [美] Rafael C. Gonzalez 著; 阮秋琦 等 译.

□ 作业

- 整个学期有7次作业
- 作业均为图象处理的算法编程实现

□ 总评分数

- 平时作业占50%
- 期末考试占50%



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**（传感器）以不同形式和手段观测**客观世界**（宏观、微观、介观）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）获得的信息中，有**80%以上**来自视觉系统。



1.1 什么是数字图像处理

◆ 图像表示

2-D信号 $f(x, y)$

x, y : 2-D空间X-Y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

在**数字图像**中, f 、 x 、 y 为离散值

性质 F : 可对应不同物理量

灰度图象里用灰度表示



1.1 什么是数字图像处理

◆ 图像单元

一幅数字图像是许多**图像单元**的集合体

- ✓ 2-D图象 $f(x, y)$: 像素 (picture element) 常用pixel表示
- ✓ 3-D图象 $f(x, y, z)$: 体素 (volume element) 常用voxel表示
- ✓ 视频 $f(x, y, t)$: 每一帧为一副2-D图象 $f(x, y)$

1.1 什么是数字图像处理

□ 图像显示示例

■ 一般用左图的坐标形式



(a)



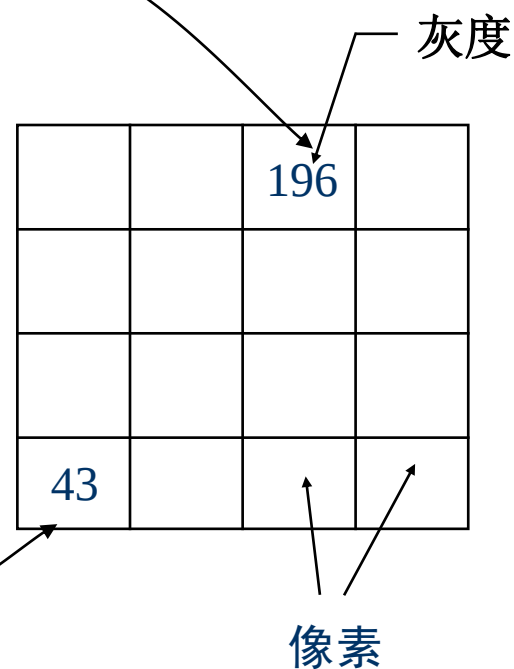
(b)

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）

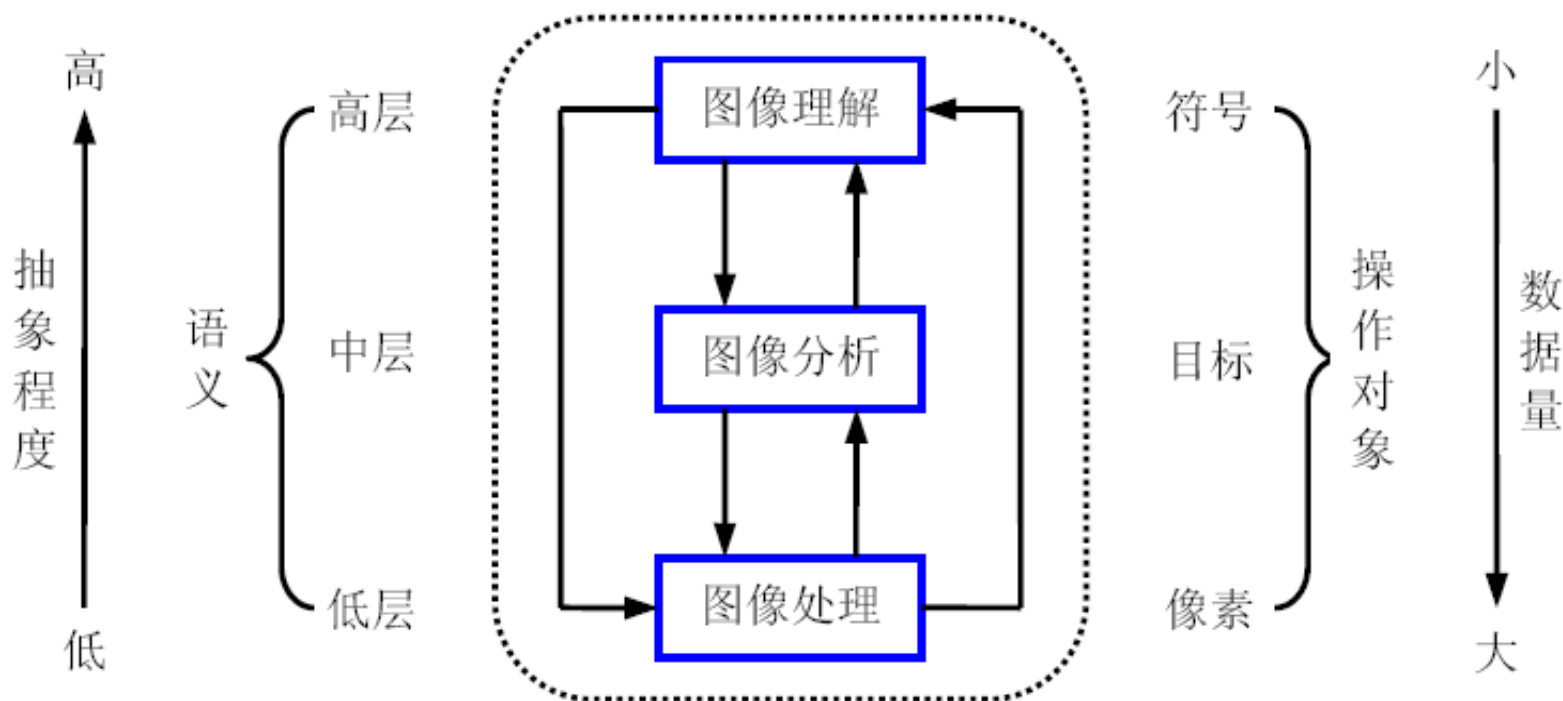
图像分析（图像  数据）

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

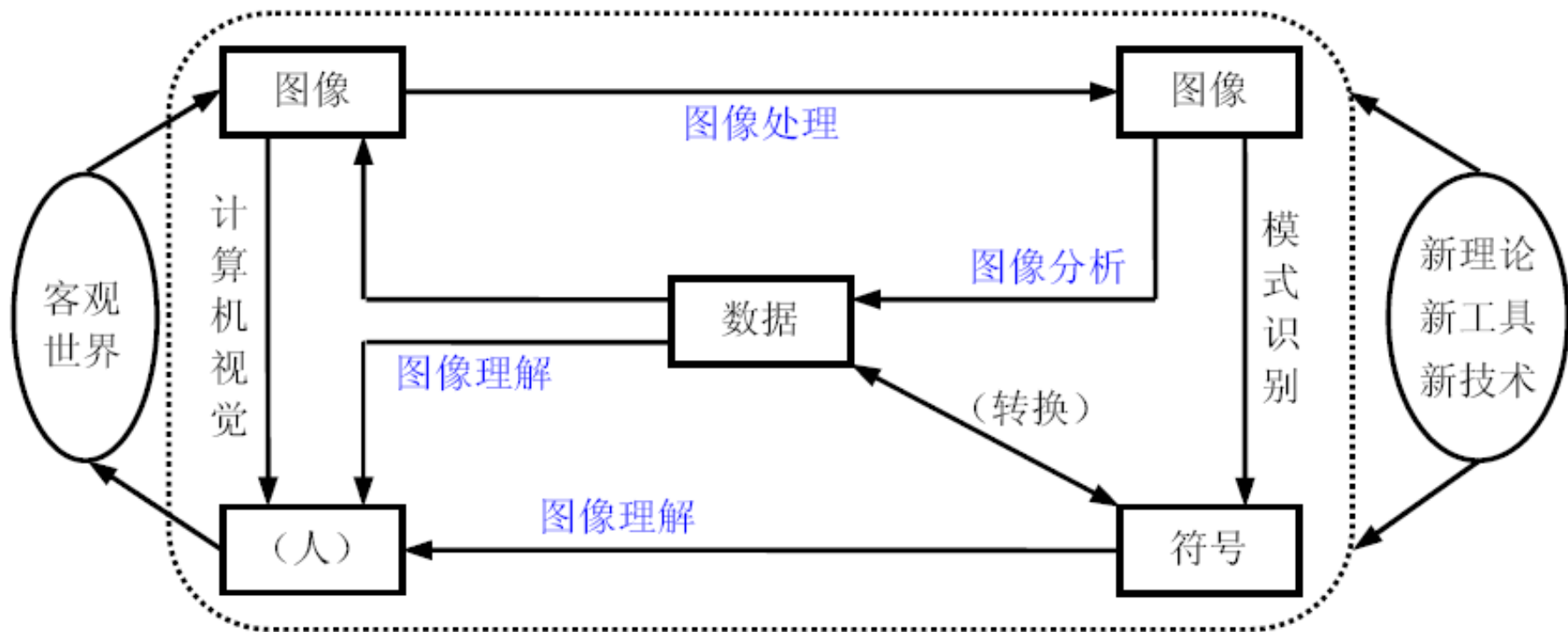
1.1 什么是数字图像处理

□ 图象处理 vs 图象分析、图象理解



1.1 什么是数字图像处理

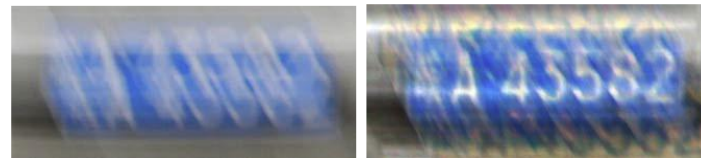
□ 图像处理 vs 计算机视觉、模式识别



1.1 为什么要做数字图像处理

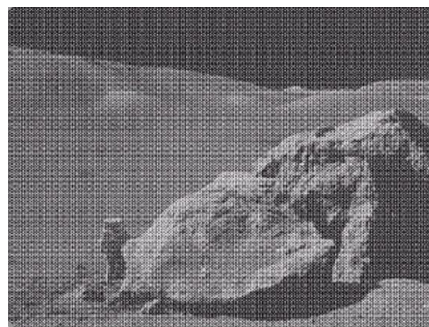
□ 数字图象处理的重要性

- 给人看：改善图示信息，提升人眼视觉体验或便于人们解译



- 给机器“看”：为存储、传输、表示而对图像数据进行处理，以便于机器自动理解

✓ 例如：图象压缩、图象分割、





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

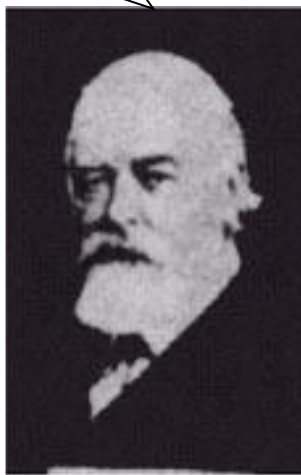
□ 数字图像最早应用之一是报纸业

- 巴特兰 (Bartlane) 电缆图片传输系统，跨大西洋传输一幅图片时间从一周减少至3小时

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，信号两次穿越大西洋，由穿孔纸得到图像照片。



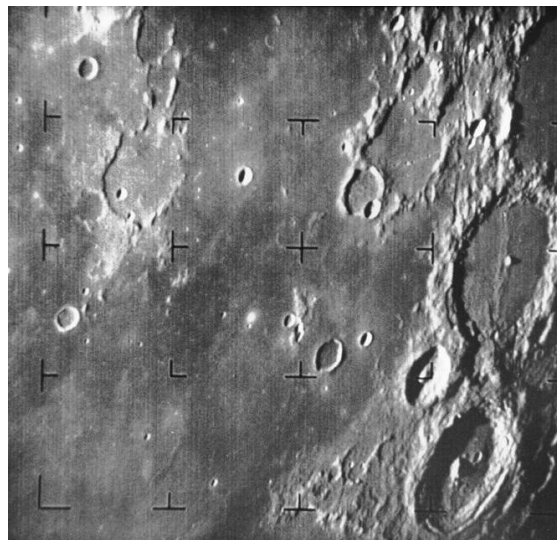
1929年 从伦敦到纽约从早期**5**个灰度到**15**个通过电缆传输



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”：NASA探月计划项目，人类历史上首次成功将月球表面高清图像传回地球的探测器

“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



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

- 最主要的图象能源：电磁波谱
 - 其他：声波、超声波、电子
 - 使用计算机生成用于建模和可视化的合成图象
- 电磁波：以某种波长传播的正弦波，或无质量的粒子流

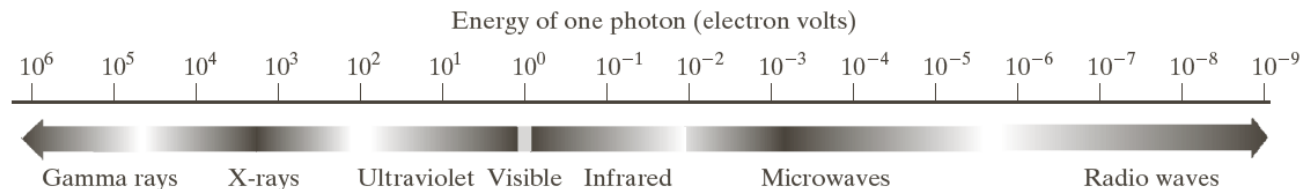
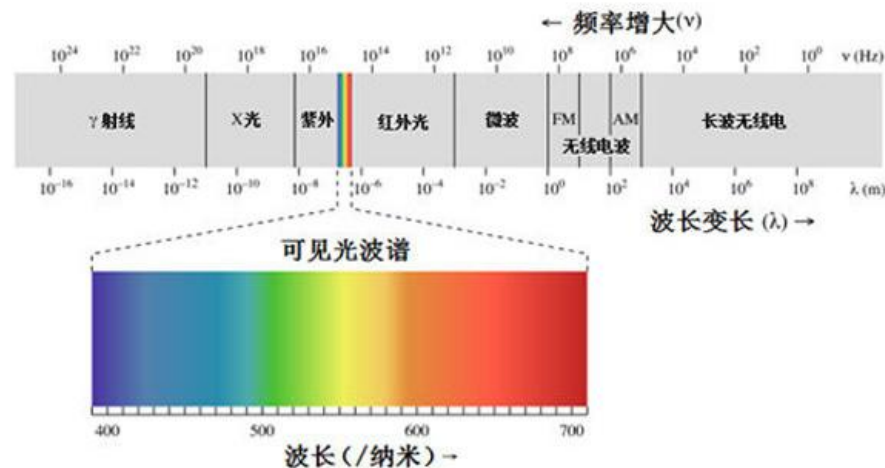


FIGURE 1.5 The electromagnetic spectrum arranged according to energy per photon.

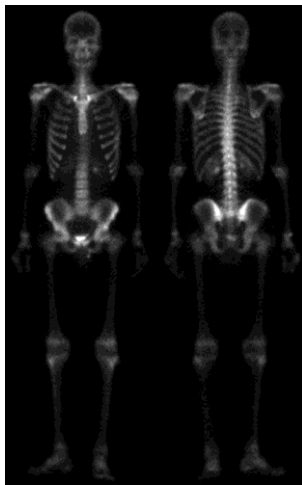


1.3 数字图像处理应用领域

□ 伽马射线成像

- 主要用途：核医学、天文观测
- 核医学：将放射性同位素注射到人体内，当这种物质衰变时会放射出伽马射线，然后用检测仪收集放射线，从而生成图像。
- 通过控制剂量，可使辐射水平处于“尽可能低”的安全范围内

(a) 骨骼扫描图像



(a)

(b) PET(正电子放射断层)图像



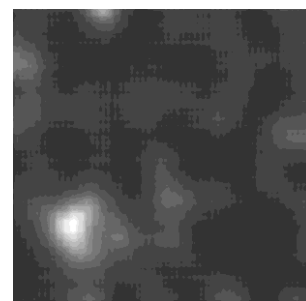
(b)

(c) 天鹅星座环图像



(c)

(d) 来自反应堆真空管的伽马辐射（亮点）

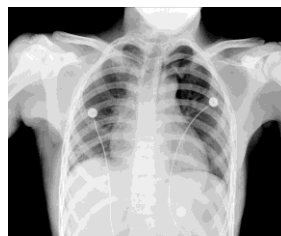


(d)

1.3 数字图像处理应用领域

□ X射线成像

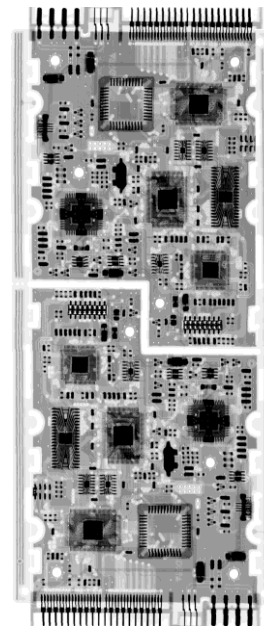
- X射线是最早用于成像的电磁辐射源之一
- 应用：医学诊断，天文学
 - ✓ 由**X射线管**产生的，X射线管带有阴极和阳极的真空管
 - ✓ 阴极加热释放自由电子，电子撞击一个原子核时，能量被释放并形成X射线辐射
 - ✓ X射线的能量由阳极电压控制，而X射线的数量由阴极灯丝电流控制



(a)



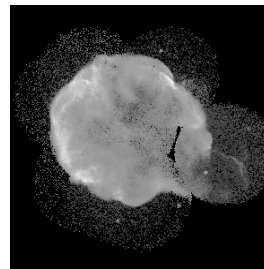
(b)



(d)



(c)



(e)

(a) 胸部X射线图像

(b) 主动脉造影图像

(c) 头部CT图像

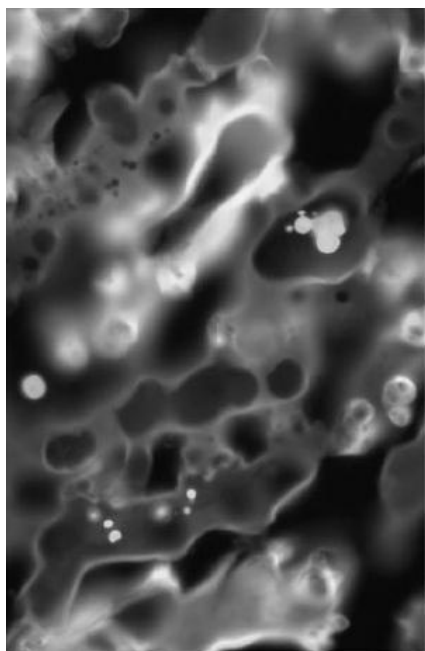
(d) 电路板图像

(e) 天鹅星座环图像

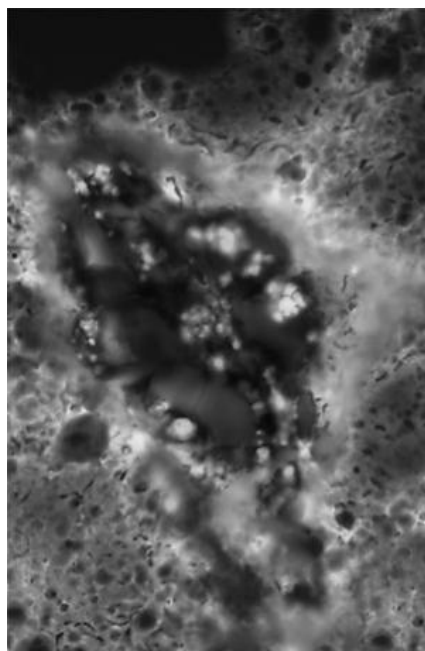
1.3 数字图像处理应用领域

□ 紫外波段成像

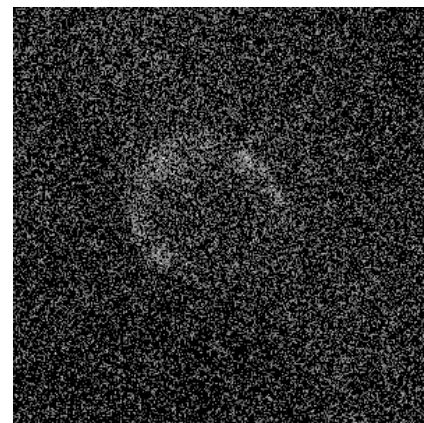
■ 紫外光用于荧光显微成像



(a)



(b)



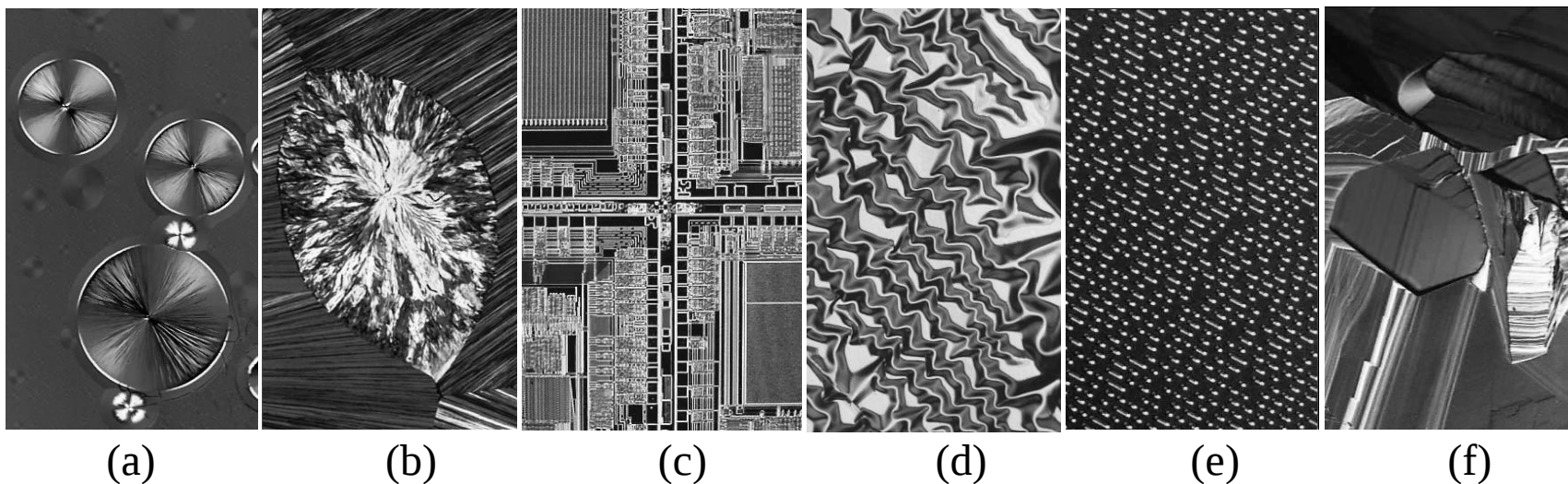
(c)

(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

■ 可见光显微镜图像

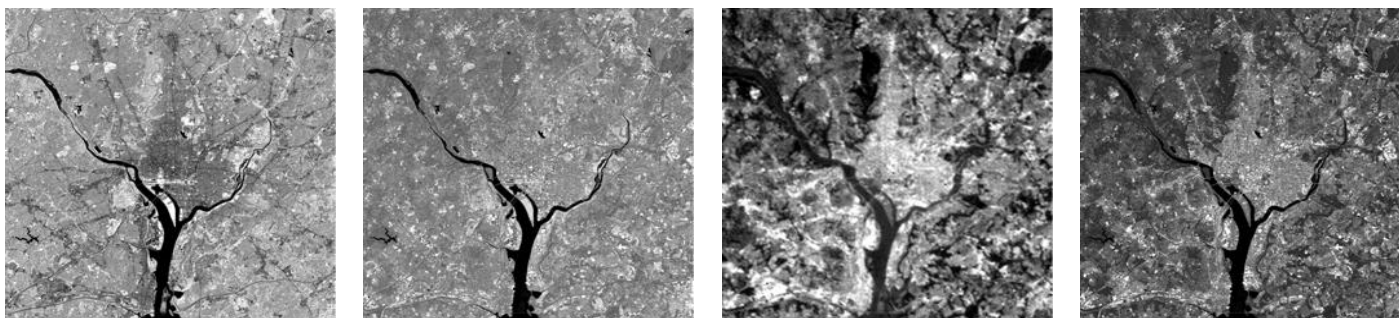
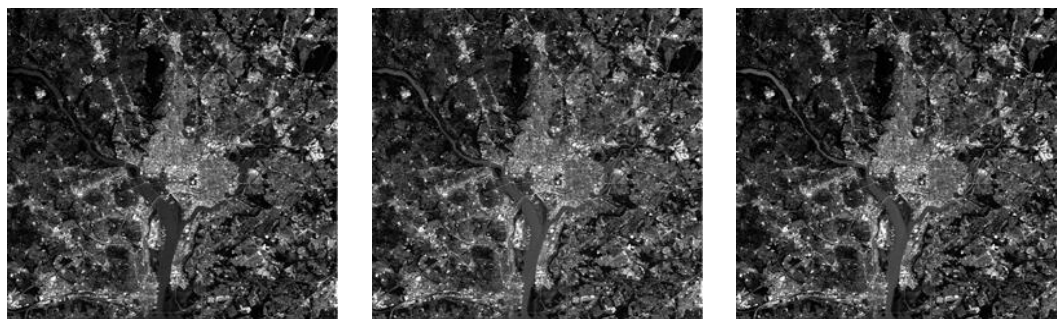


(a) 放大250倍的紫衫酚（抗癌剂）；(b) 放大40倍的胆固醇；(c) 已放大60倍微处理器；(d) 已放大600倍的镍氧化物胶片；(e) 已放大1750倍的音频CD表面；(f) 已放大450倍的有机超导体

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

美国华盛顿特区
LANDSAT卫星图像

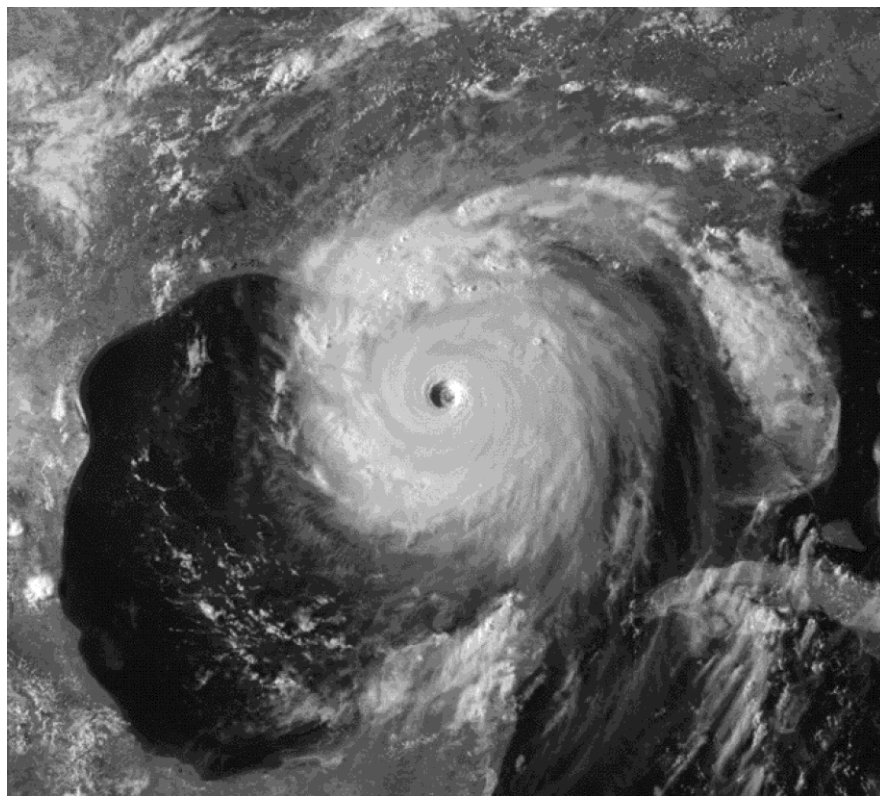


波段号	名称	波长(μm)	特征和用途
1	可见蓝光	0.45~0.52	对水体有最大的穿透性
2	可见绿光	0.52~0.60	适用于度量植物活力
3	可见红光	0.63~0.69	植被辨别
4	近红外光	0.76~0.90	生物团和海岸线测绘
5	中红外光	1.55~1.75	土壤和植被含水量
6	热红外光	10.4~12.5	土壤温度, 热量测绘
7	中红外光	2.08~2.35	矿物测绘

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

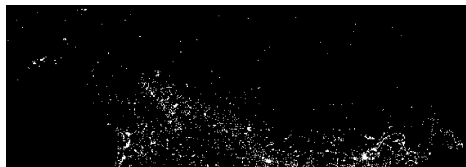
2005年8月29日拍摄的
“卡特琳娜” 飓
风的卫星图像



(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

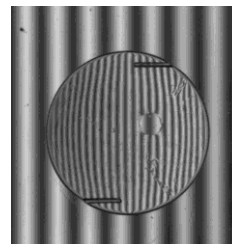
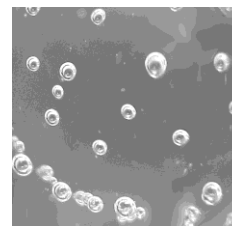
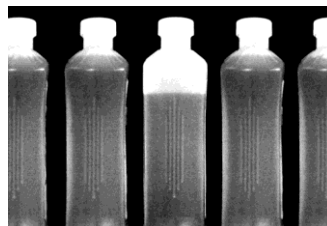
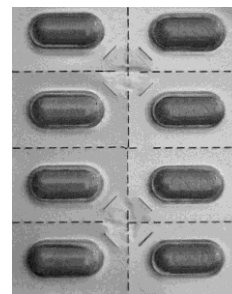
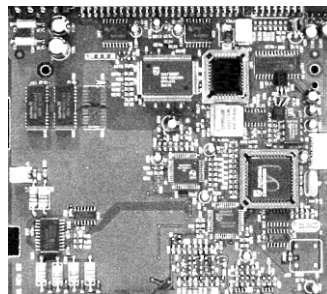


左：美洲红外卫星图像
右：实际地形参考图像

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)



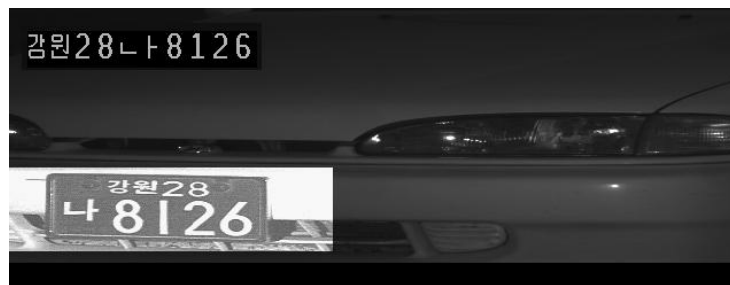
(b)



(a) 拇指指纹图像

(b) 纸币图像

(c) ~ (d) 车牌图像识别



(c)



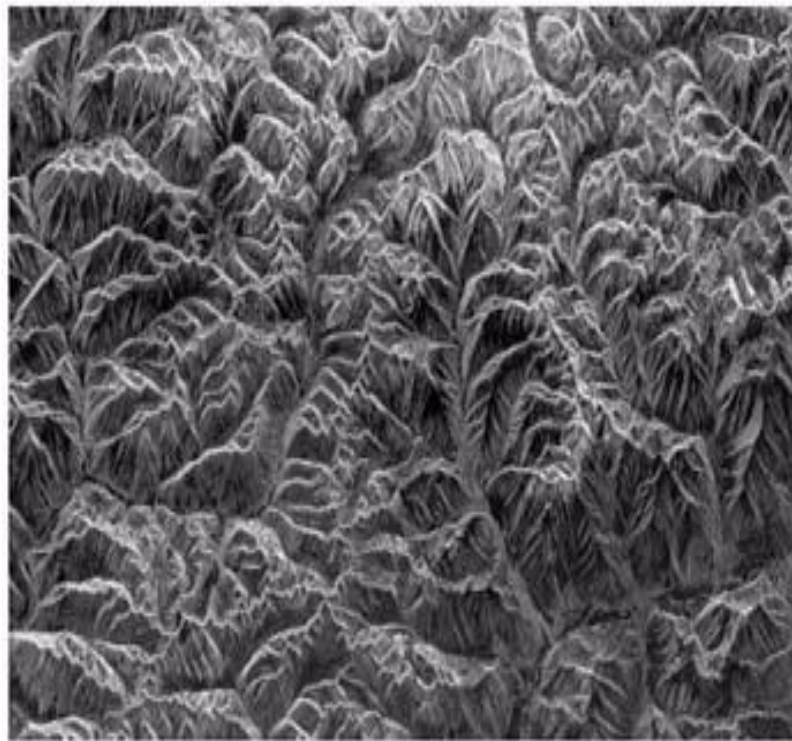
(d)

1.3 数字图像处理应用领域

□ 微波波段成像

- 典型应用：雷达，使用天线和数字计算机记录图像
- 在任何范围、时间内收集数据，对气候、周围光照条件不敏感
- 在许多情况下，雷达是探测地球表面不可接近地区的唯一方法

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

- 主要用于医学、天文学
- 核磁共振成像(MRI): 把病人放在强磁场中, 并让无线电波短脉冲通过病人的身体, **每个脉冲将导致由病人的组织发射的无线电响应脉冲**, 基于其发生的位置和强度, 生成二维剖面图像



(a)

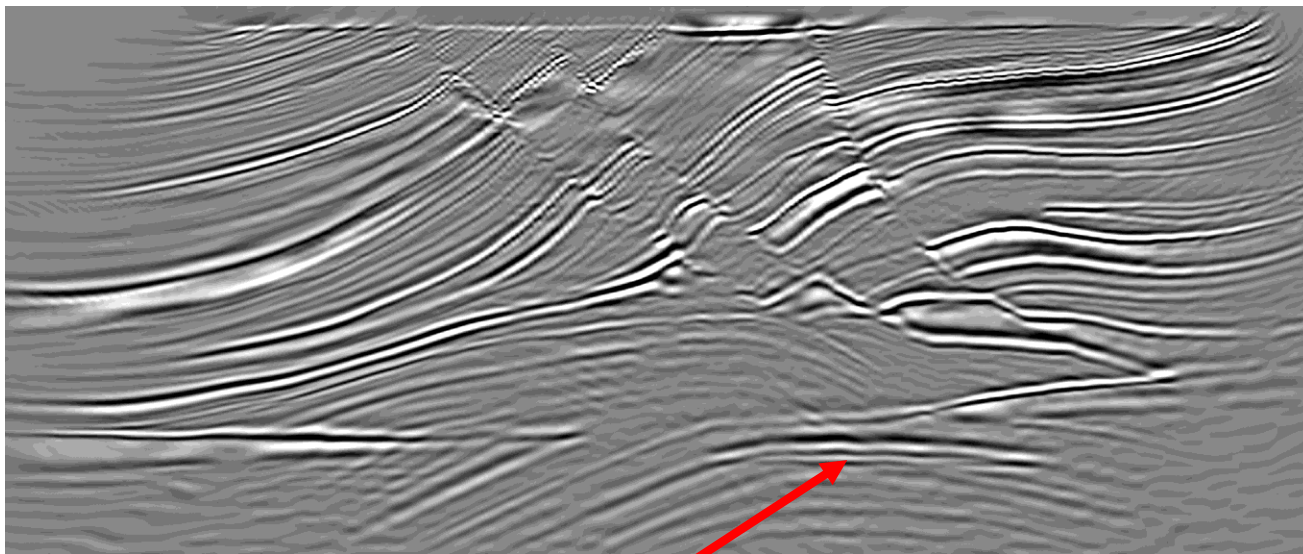


(b)

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：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



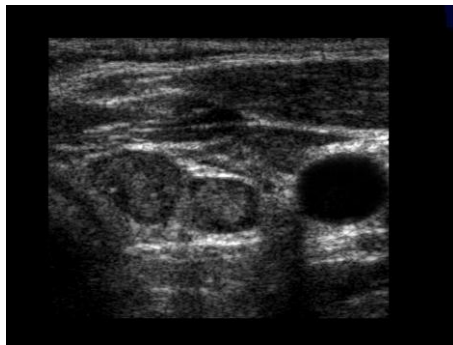
(a)

(b) 胎儿的另一幅图像



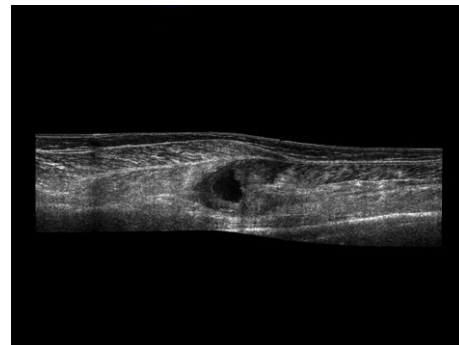
(b)

(c) 甲状腺图像



(c)

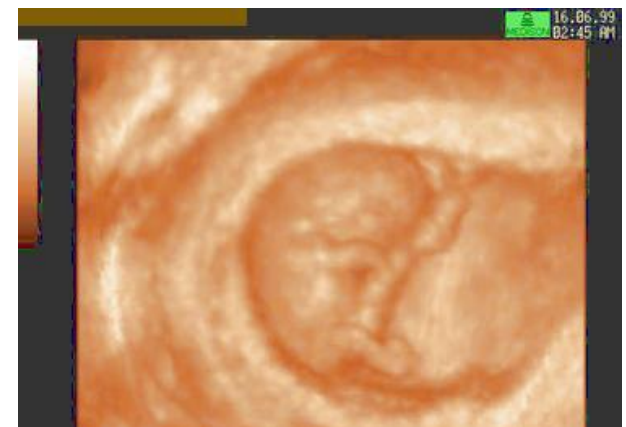
(d) 有损伤的肌肉层图像



(d)

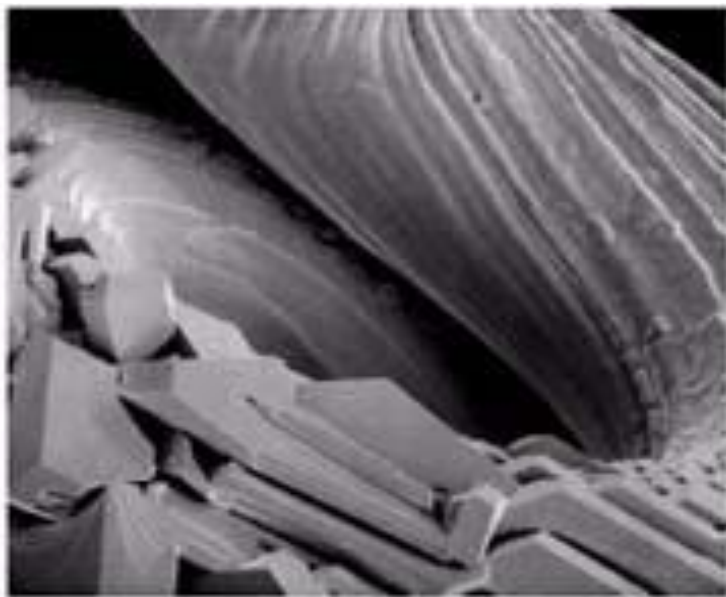
1.3 数字图像处理应用领域

□ 使用其他成像方式的例子：超声成像

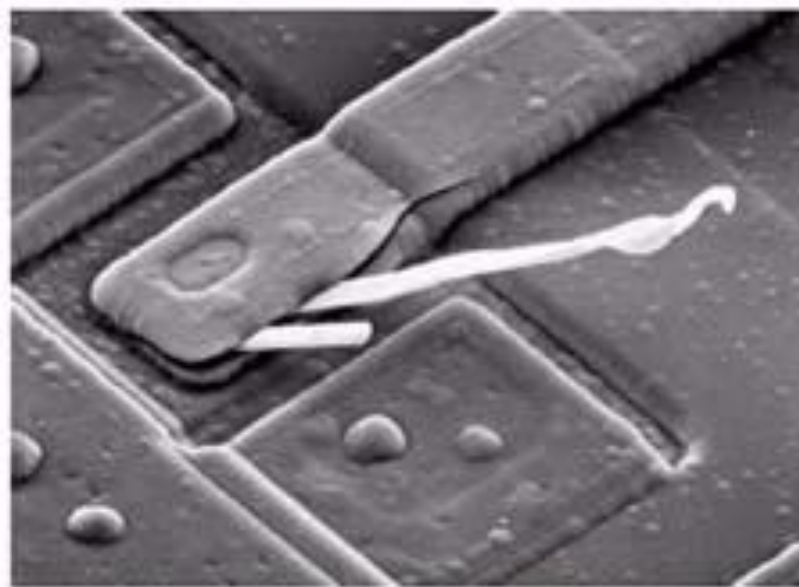


1.3 数字图像处理应用领域

□ 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)

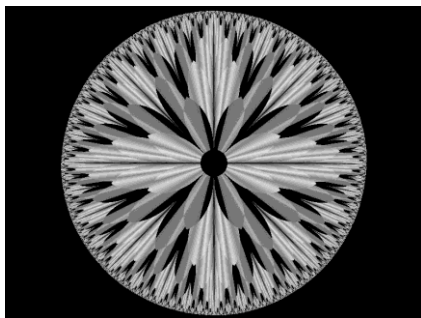


(b) 损坏的IC电路 (2500倍)

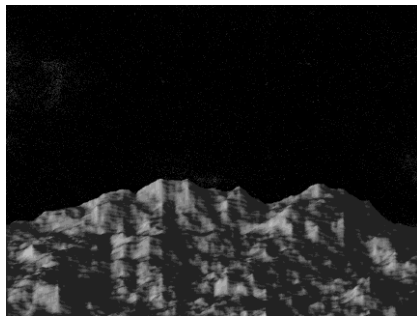
扫描式电子显微镜图像 (SEM)

1.3 数字图像处理应用领域

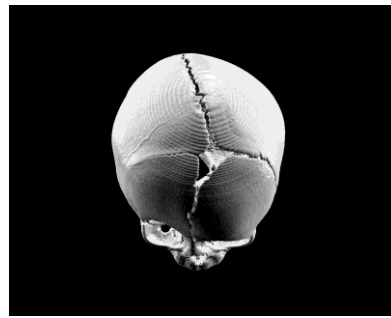
□ 计算机生成的图像



(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

1.3 数字图像处理应用领域

□ 计算机生成的图像：AIGC

- 基于生成对抗网络(GAN), Diffusion Model, AR Model



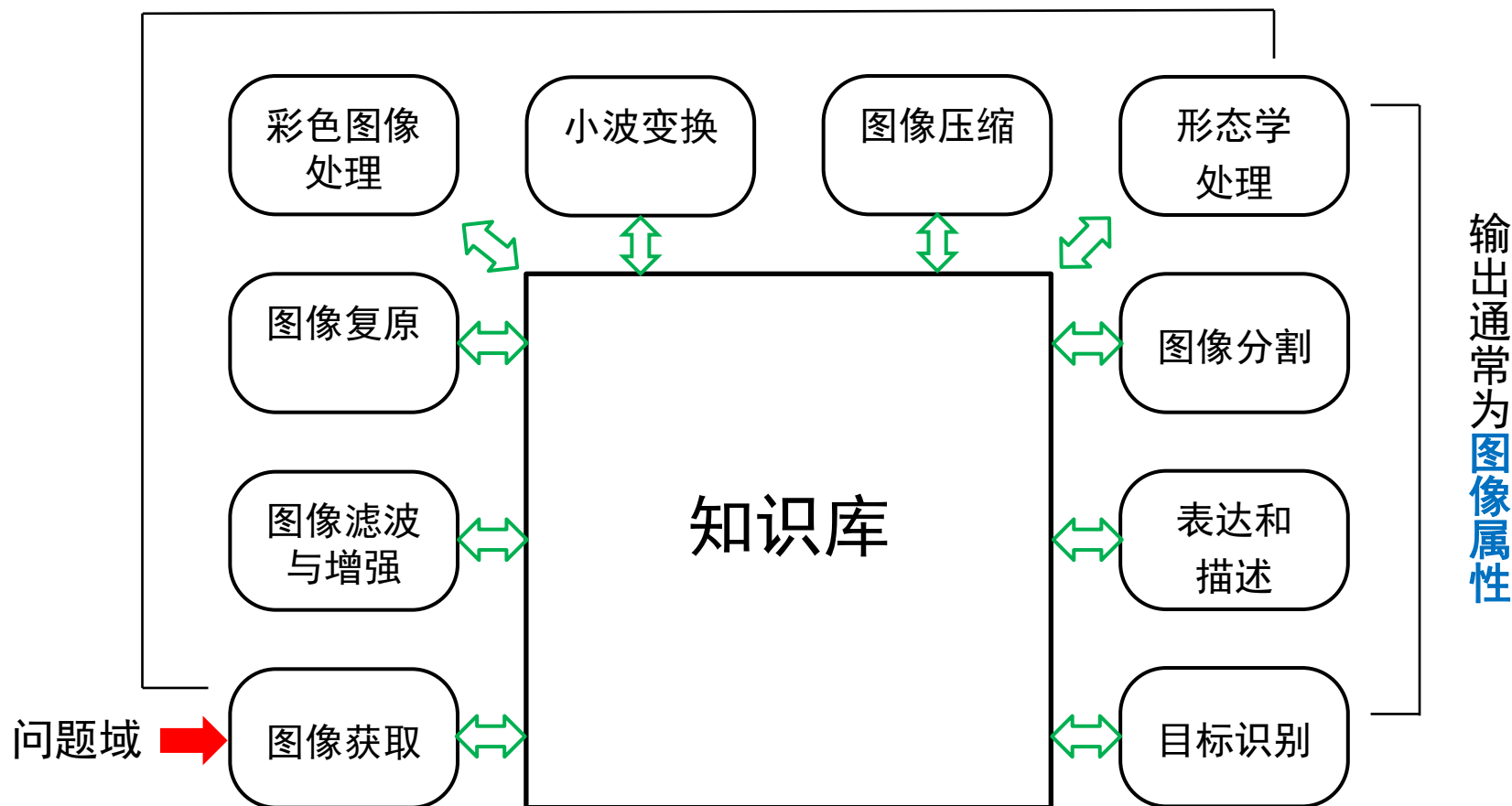


第1章 绪论

- 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

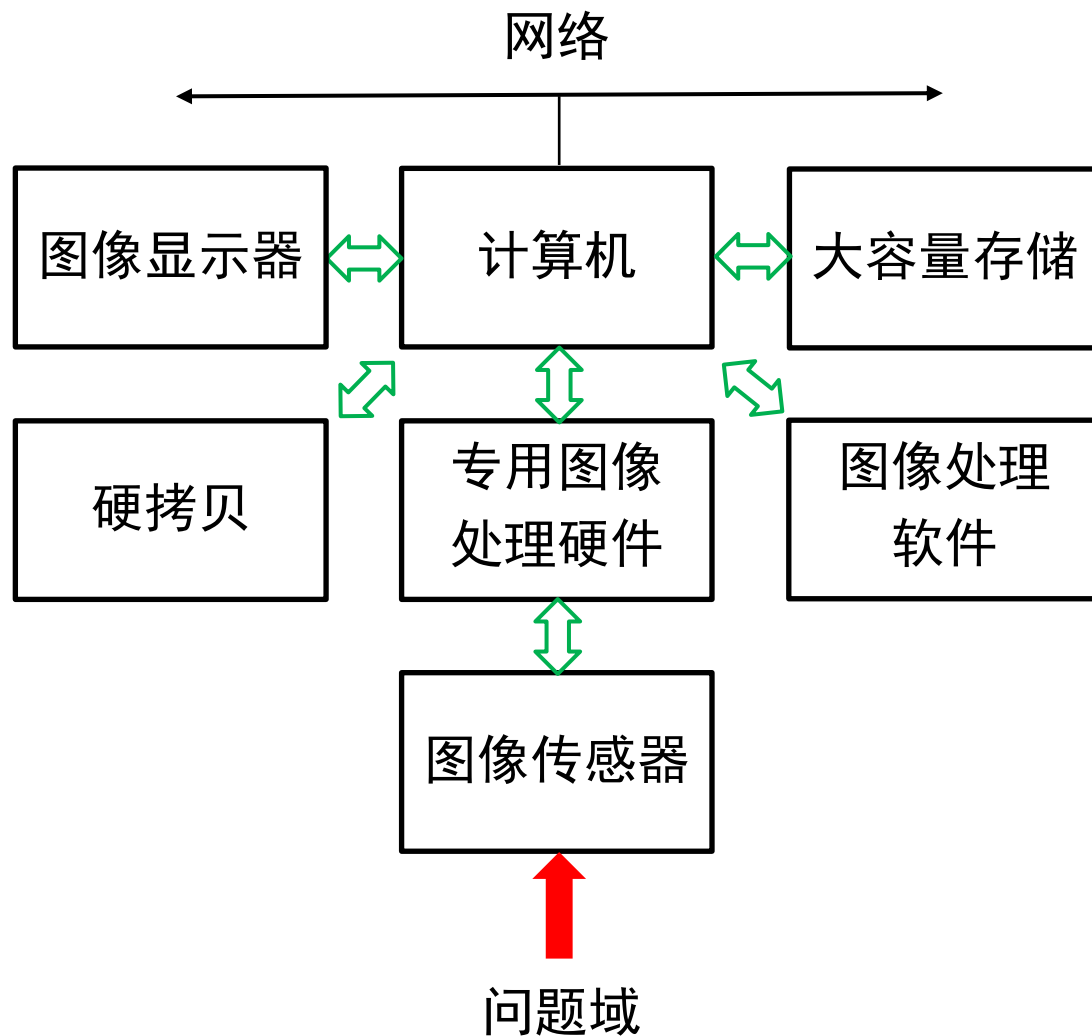




第1章 绪论

- 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



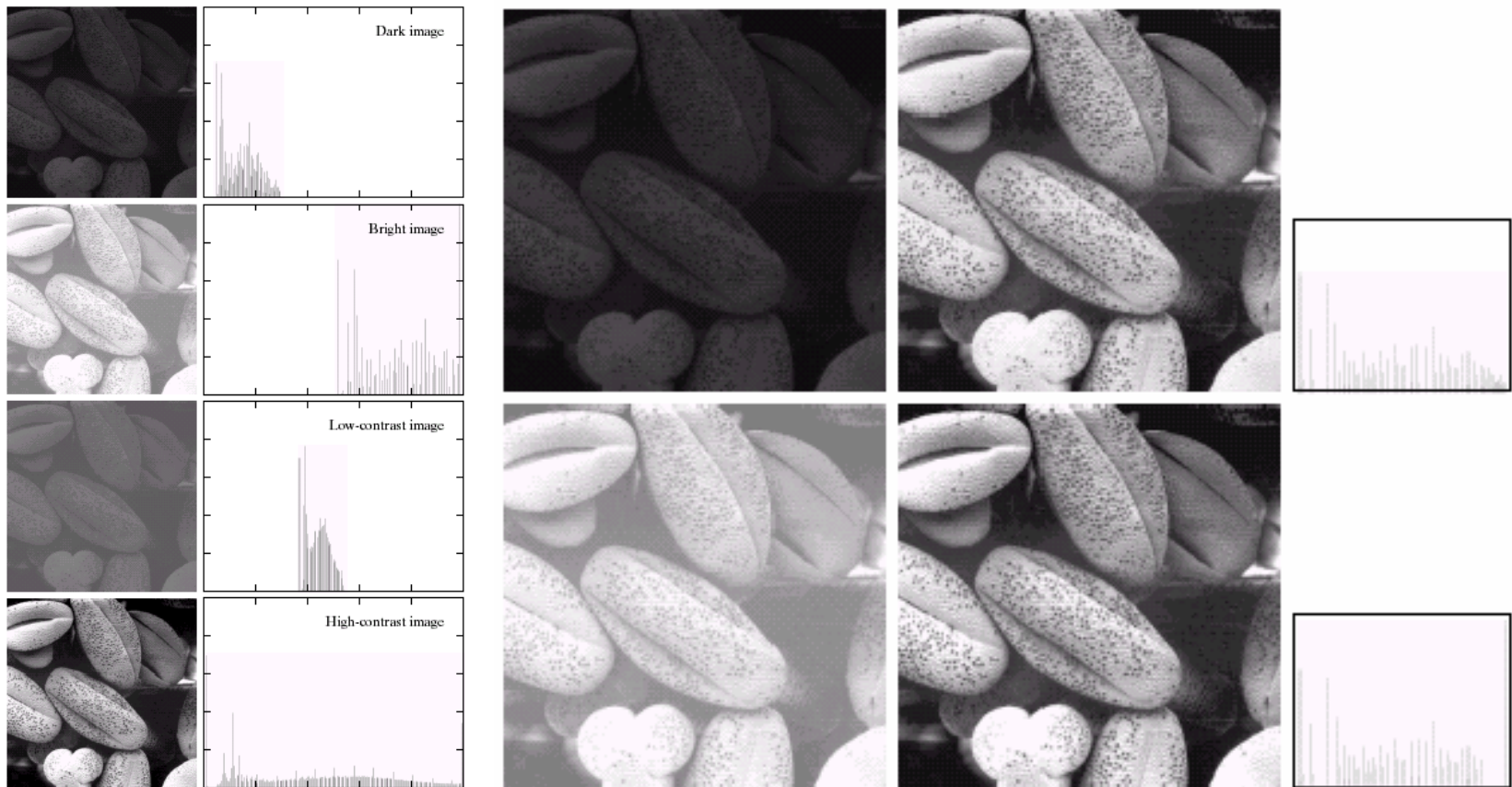


第1章 绪论

- 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**

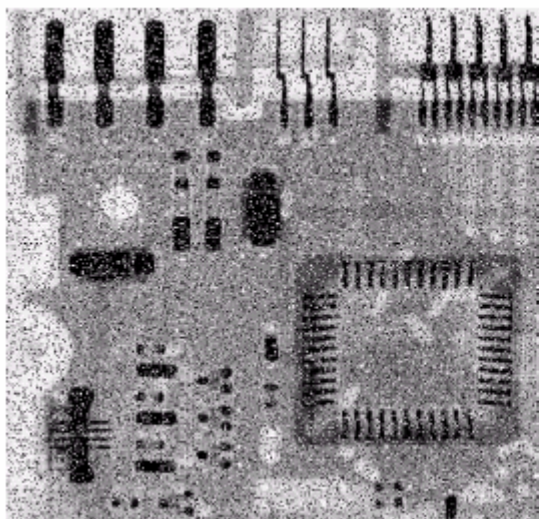
1.6 数字图像处理应用举例

➤ 直方图均衡

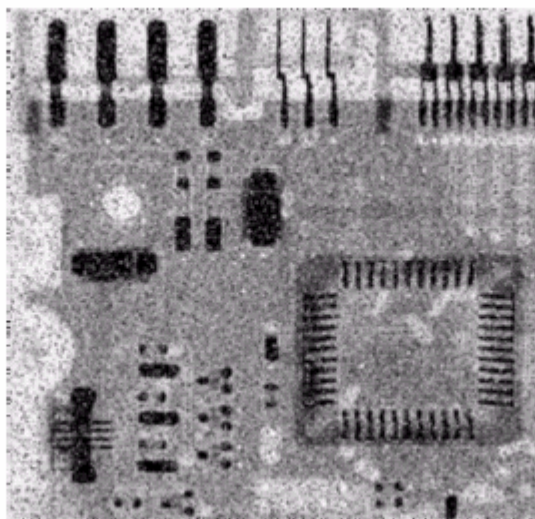


1.6 数字图像处理应用举例

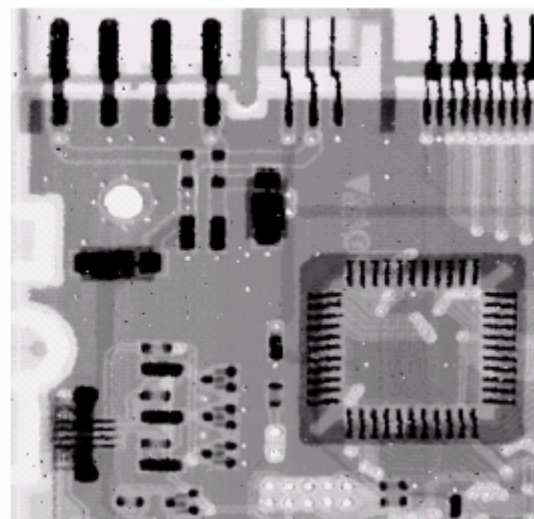
➤ 空域滤波



(a) 椒盐噪声图像



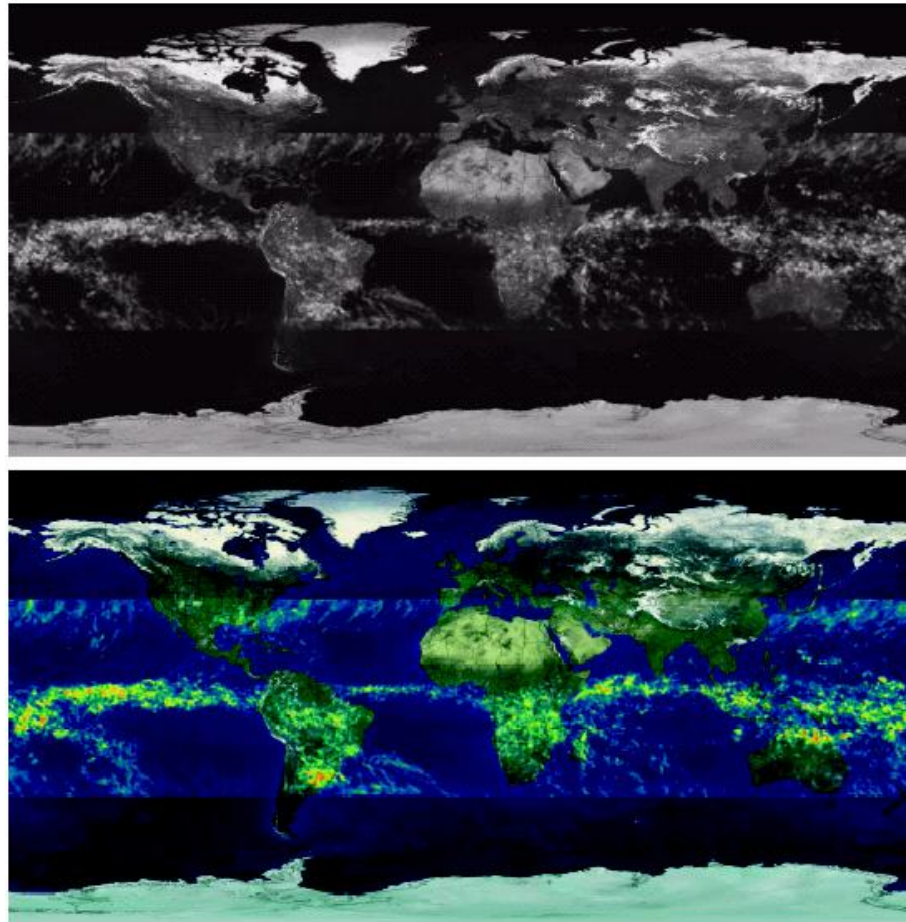
(b) 均值滤波



(c) 中值滤波

1.6 数字图像处理应用举例

➤ 伪彩色变换

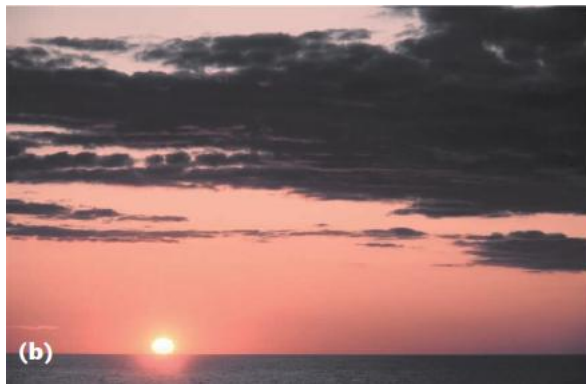


1.6 数字图像处理应用举例

- 颜色迁移 (Color Transfer)
 - 解耦图象内容与颜色分布



(a) 目标图像



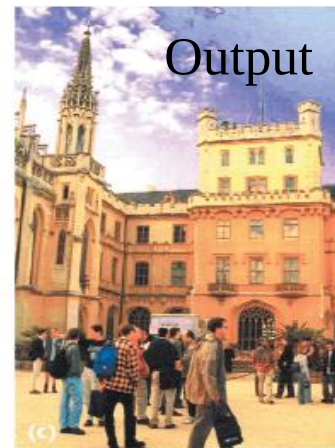
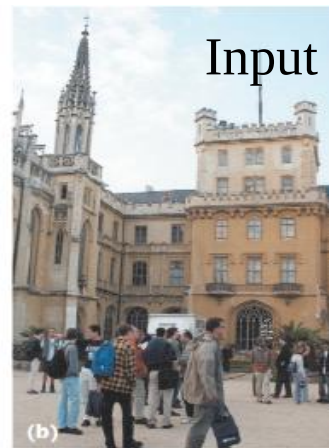
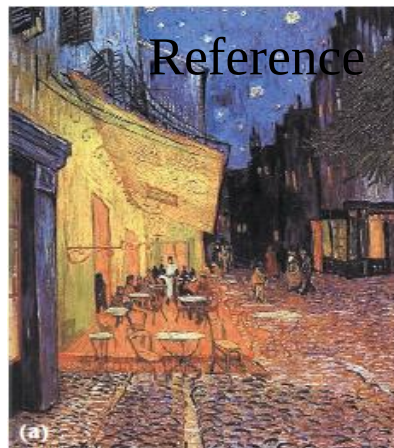
(b) 参考图像



(c) 迁移结果

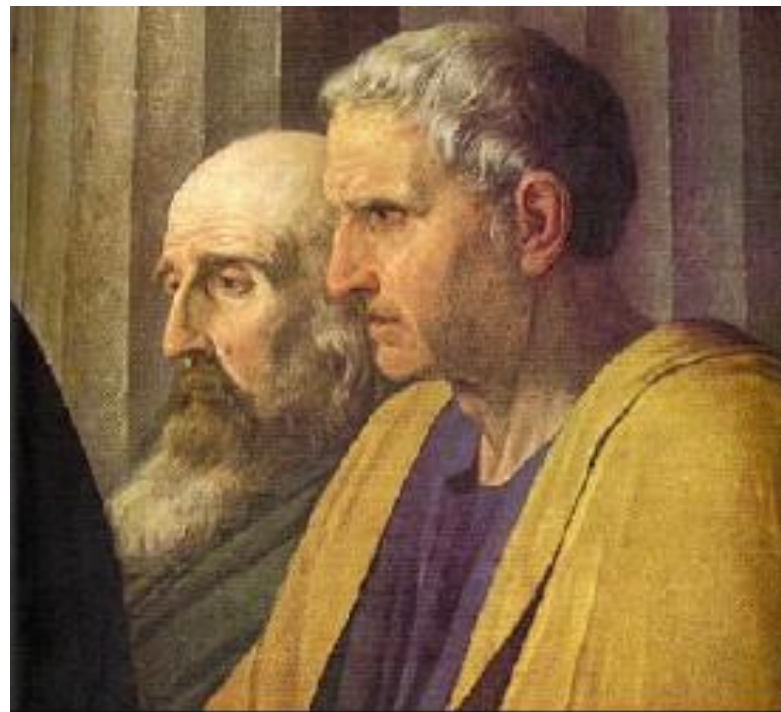
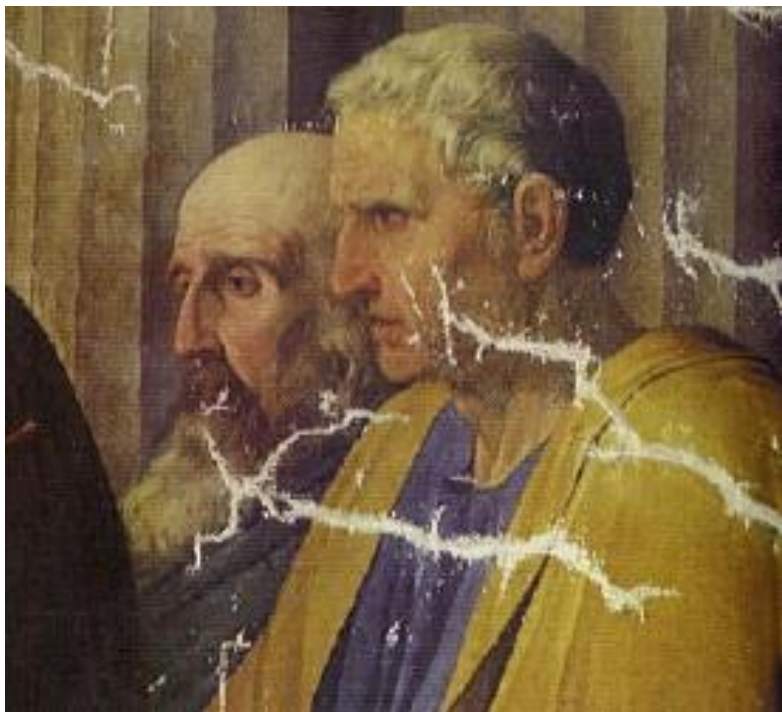
1.6 数字图像处理应用举例

➤ 颜色迁移 (Color Transfer)



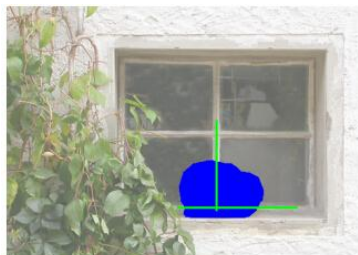
1.6 数字图像处理应用举例

➤ 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

➤ 图像修复

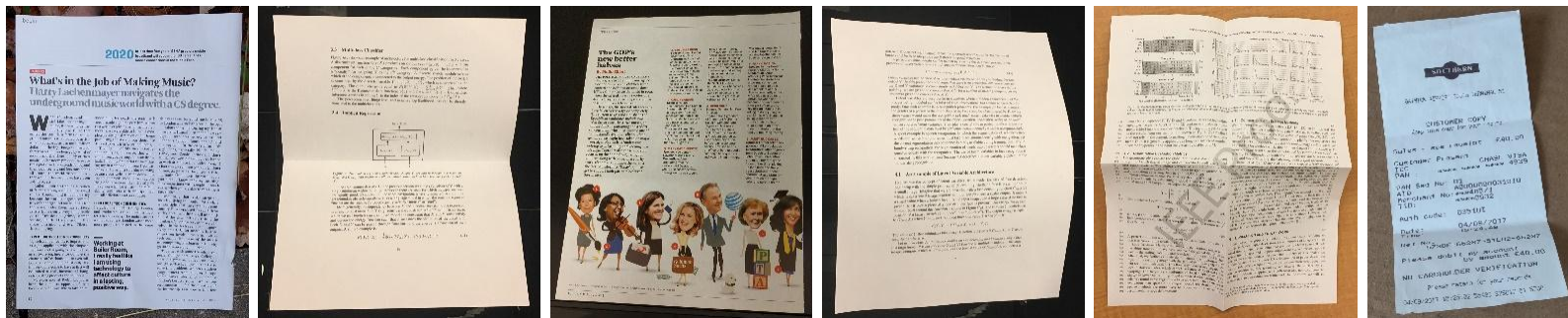


- Longtao Jiang, Zhendong Wang, Jianmin Bao, **Wengang Zhou**, et al. SmartEraser: Remove Anything from Images using Masked-Region Guidance. CVPR 2025.

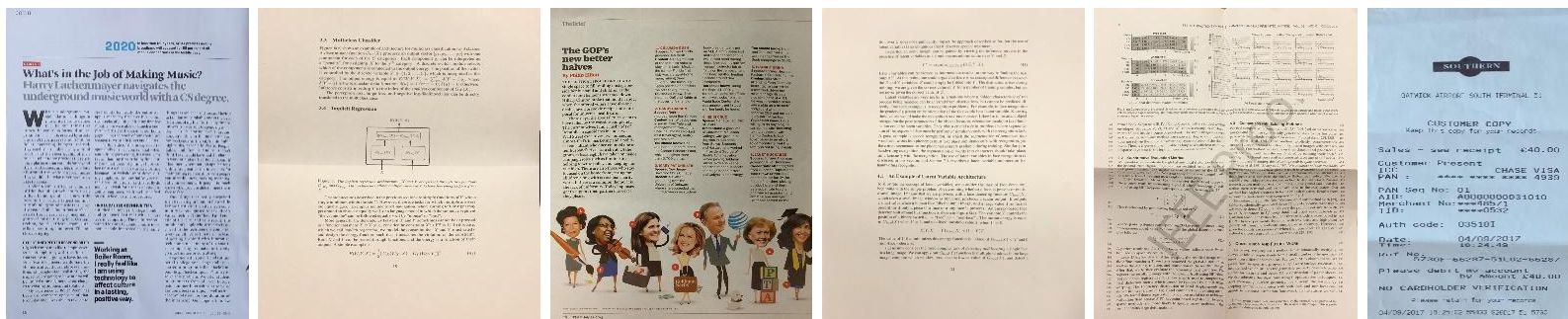
1.6 数字图像处理应用举例

► 图像校正

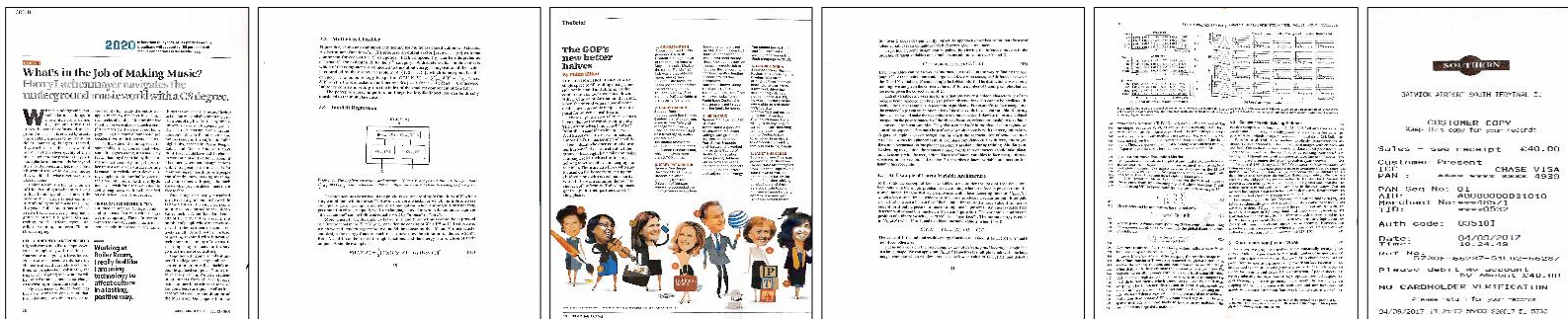
输入
图像



几何校正
结果



光照校正
结果

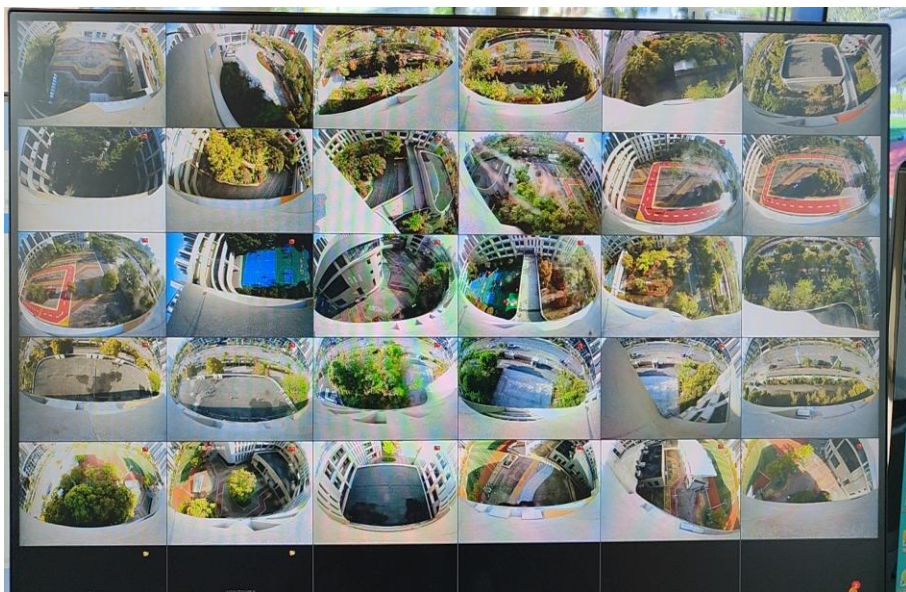


- Hao Feng, Yuechen Wang, **Wengang Zhou**, et al., “DocTr: Document Image Transformer for Geometric Unwarping and Illumination Correction,” ACM MM, Oral paper, 2021.

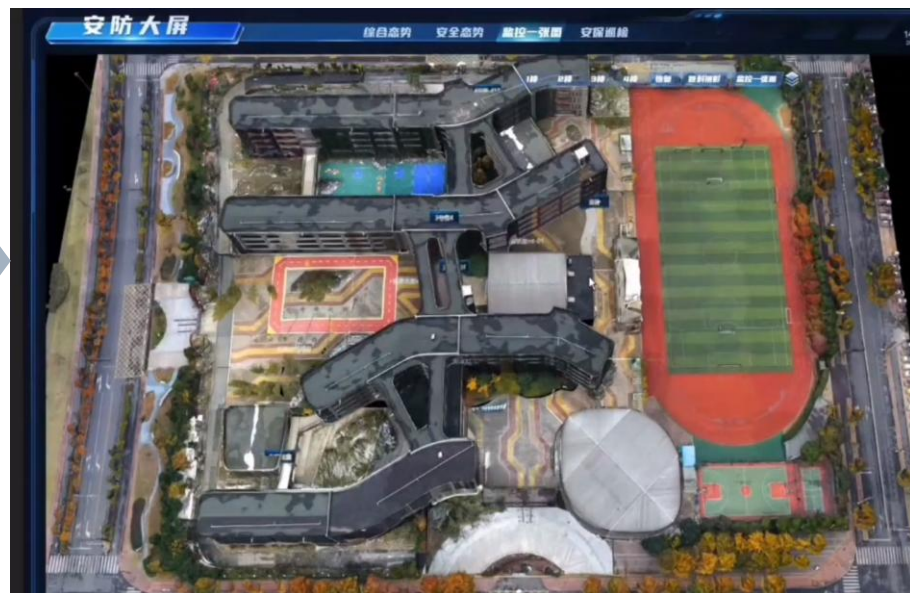
1.6 数字图像处理应用举例

➤ 视频融合

- 利用视频融合技术，将碎片化实时监控视频流无缝拼接成一张全景图

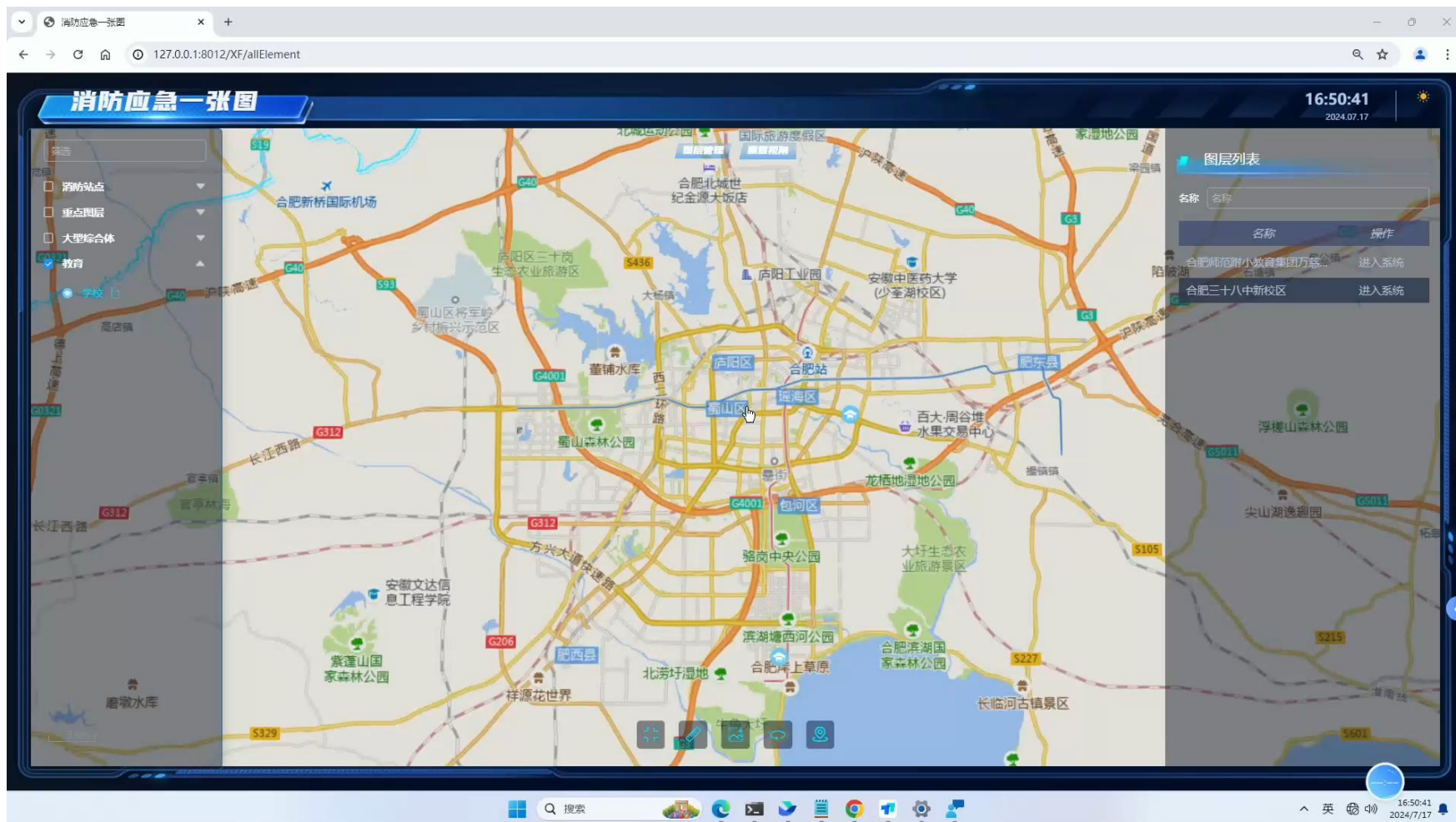


碎片化实时监控视频流



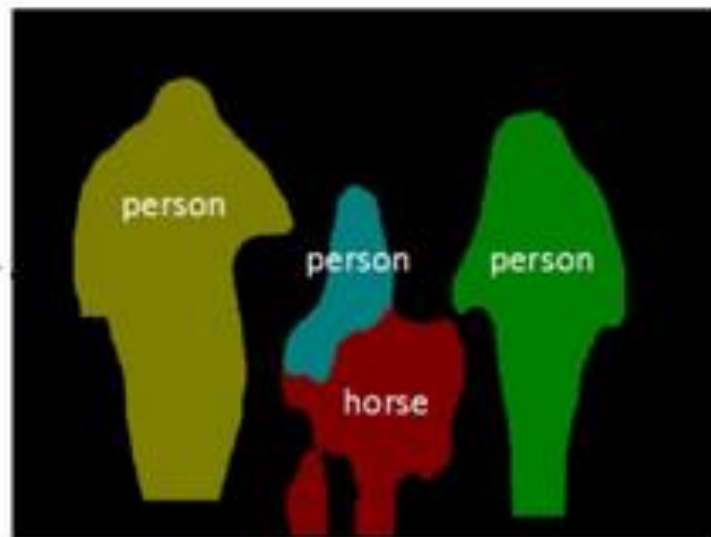
视频融合实时监控全景一张图

1.6 数字图像处理应用举例



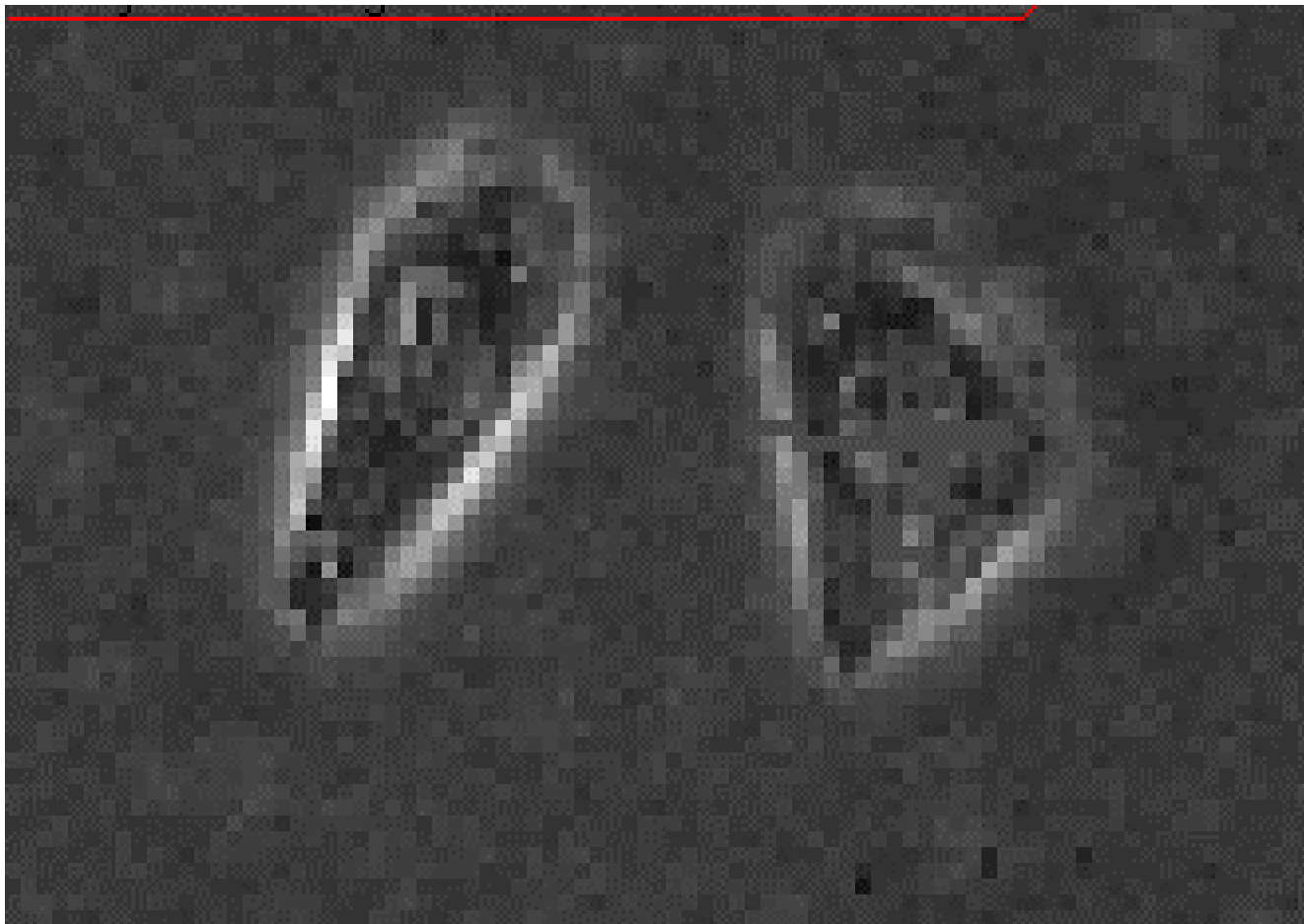
1.6 数字图像处理应用举例

➤ 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



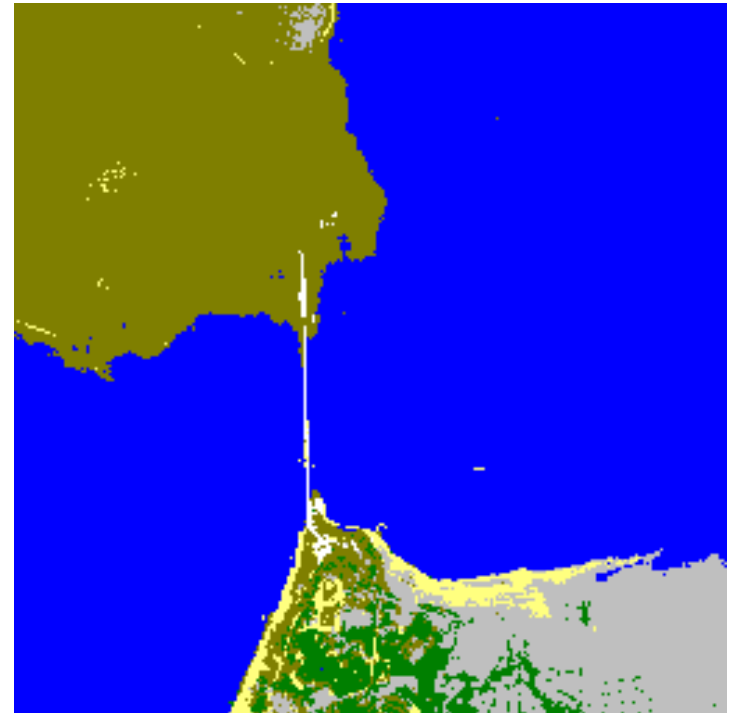
1.6 数字图像处理应用举例

➤ 卫星遥感图像分析



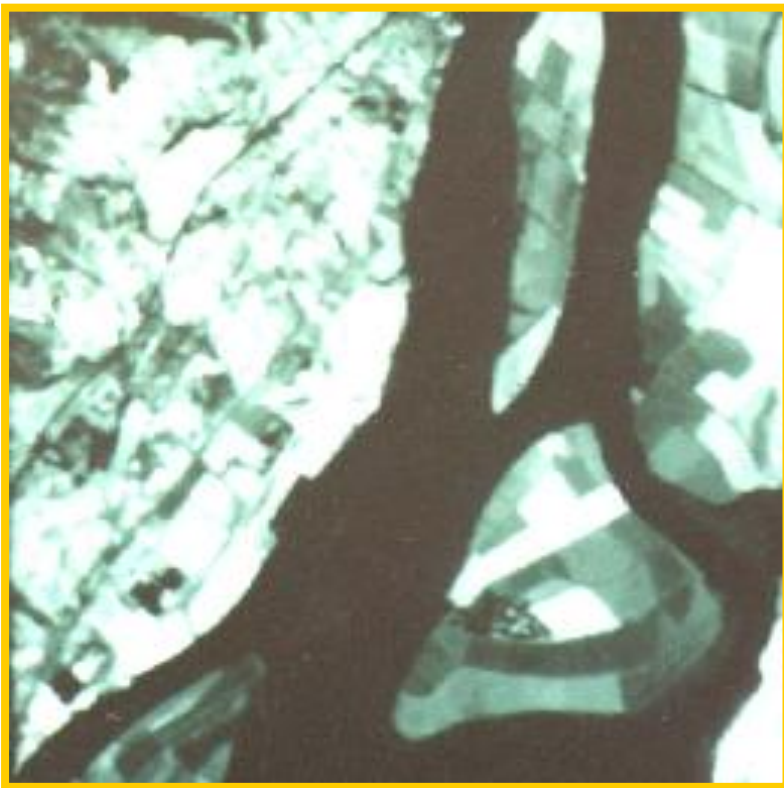
1.6 数字图像处理应用举例

➤ 遥感分类

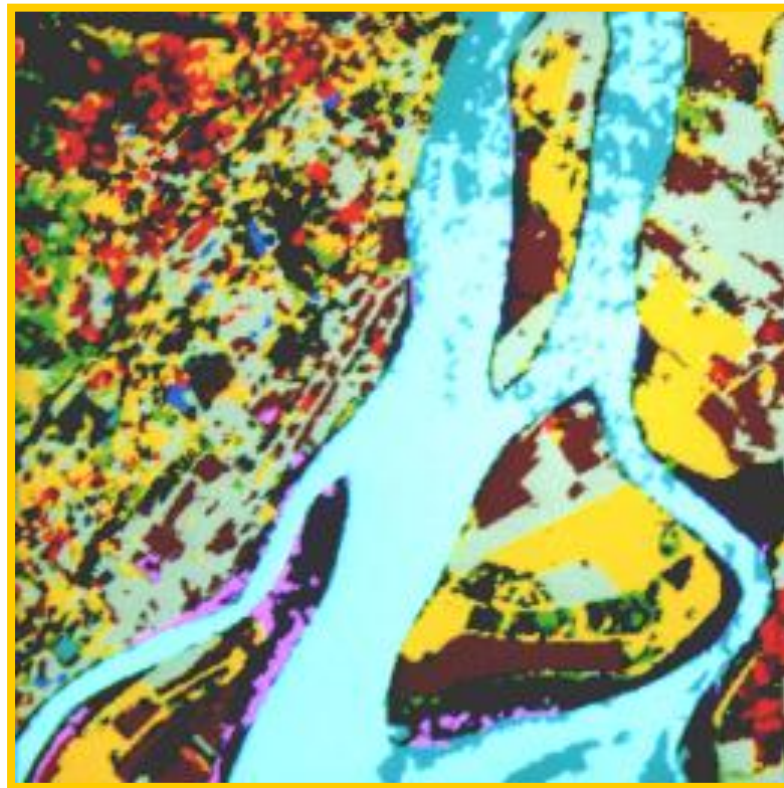


1.6 数字图像处理应用举例

► 遥感分类



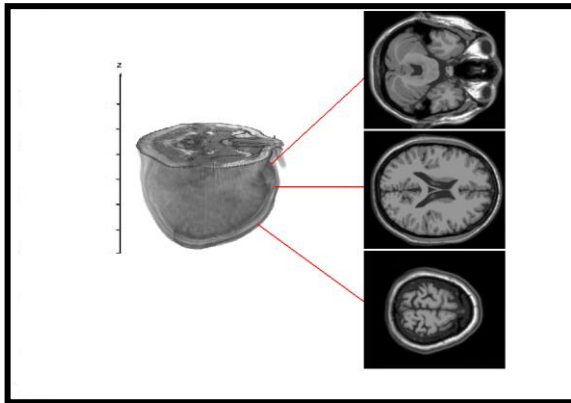
(a) 里斯本地区TM遥感图像（第六波段）



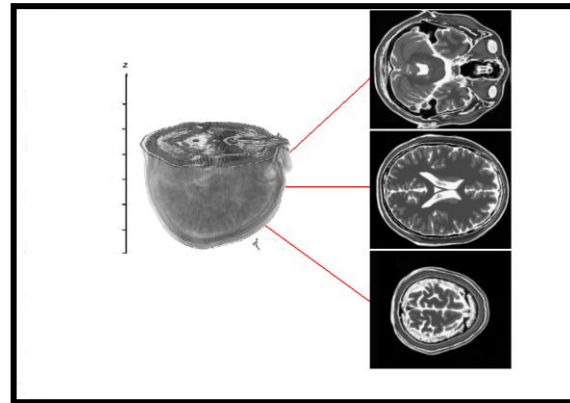
(b) 采用有监督分类的十五大类分类结果

1.6 数字图像处理应用举例

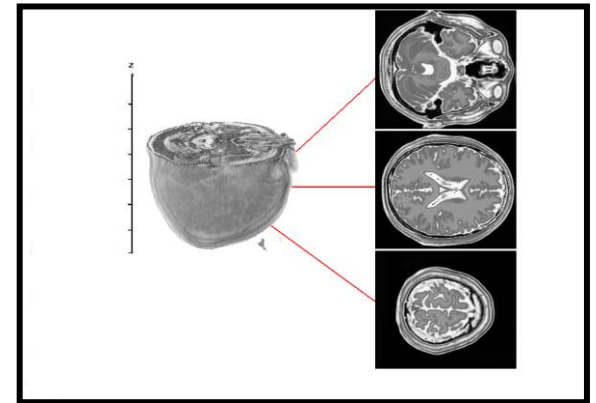
➤ 图像融合



(a) MR Image T1 Band



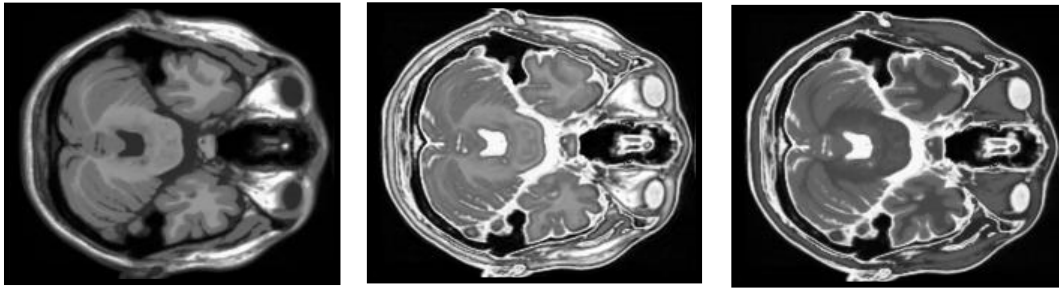
(b) MR Image T2 Band



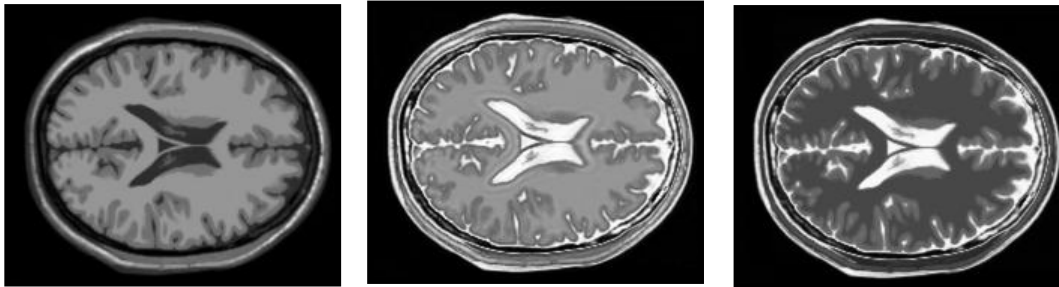
(c) Fused Image

1.6 数字图像处理应用举例

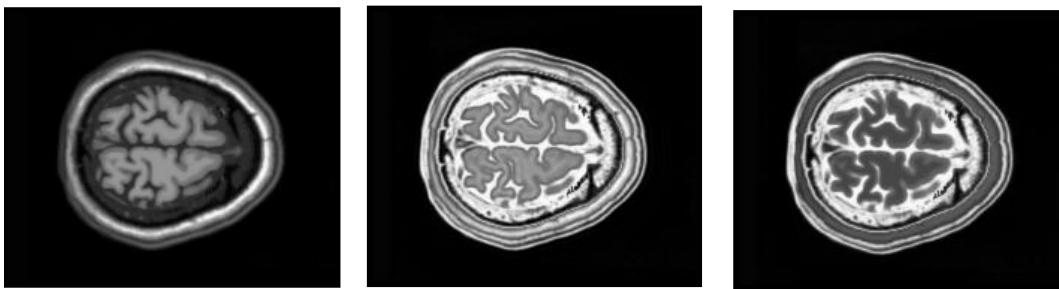
➤ 图像融合



(a) Result 1



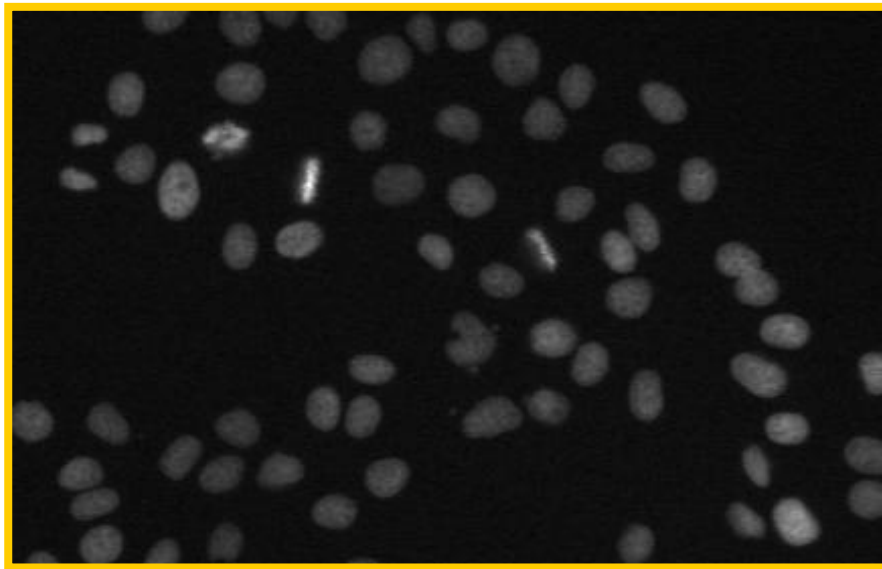
(b) Result 2



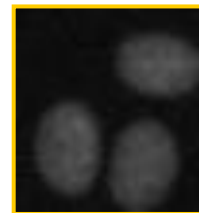
(c) Result 3

1.6 数字图像处理应用举例

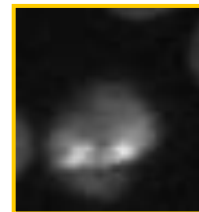
➤ 辅助制药



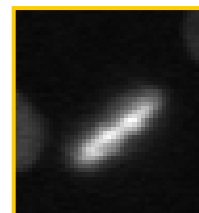
(a) 细胞显微荧光图像



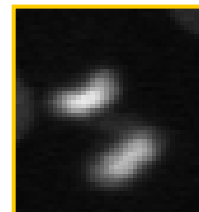
(a) 分裂间期



(b) 分裂前期



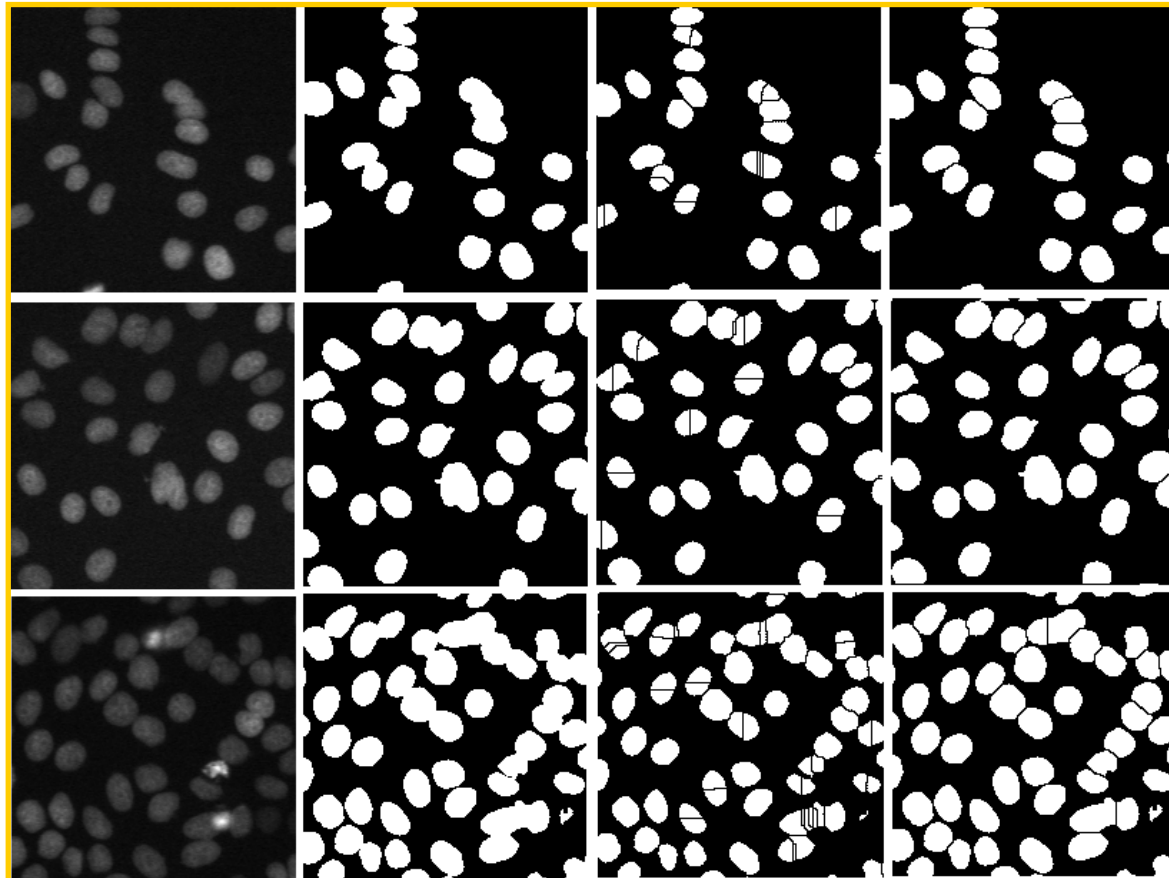
(c) 分裂中期



(d) 分裂后期

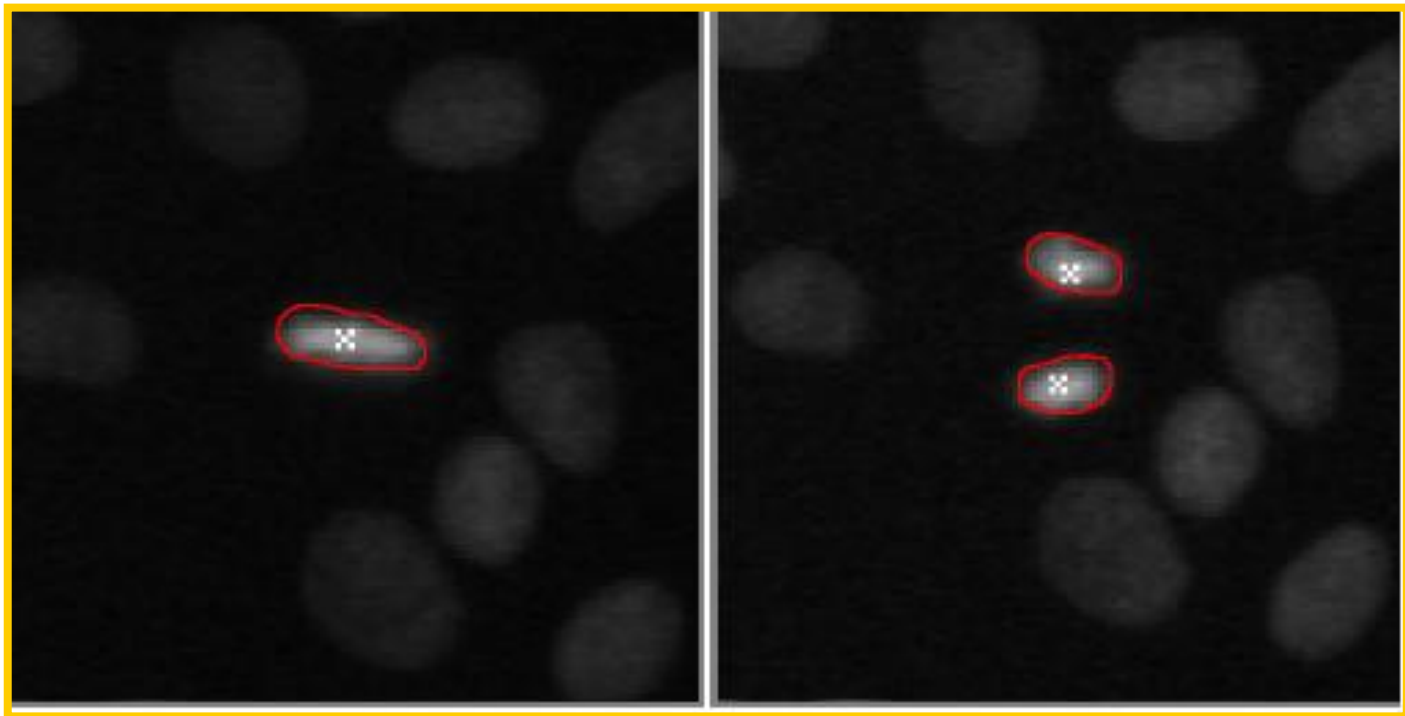
1.6 数字图像处理应用举例

➤ 辅助制药



1.6 数字图像处理应用举例

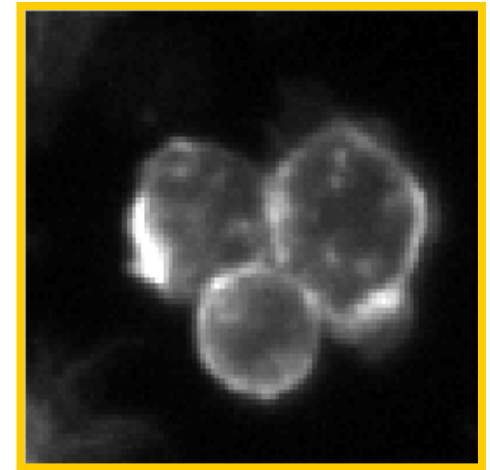
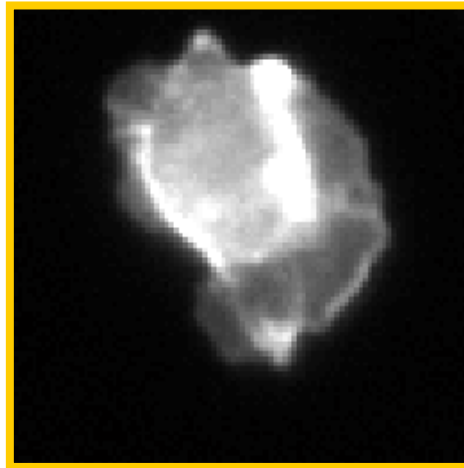
➤ 辅助制药



跟踪

1.6 数字图像处理应用举例

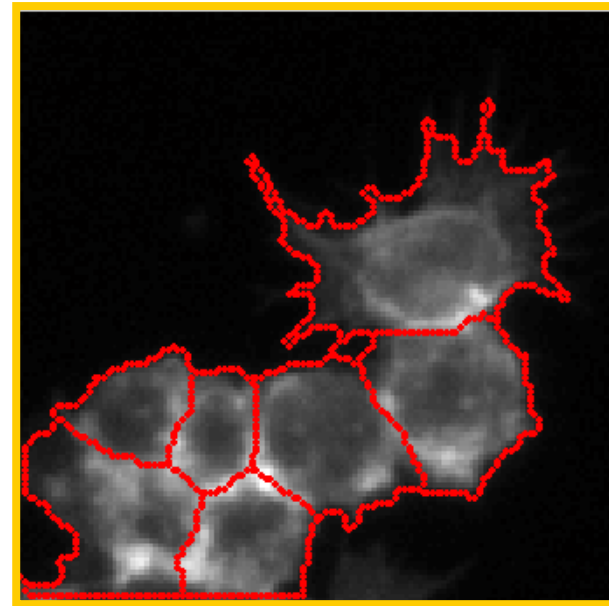
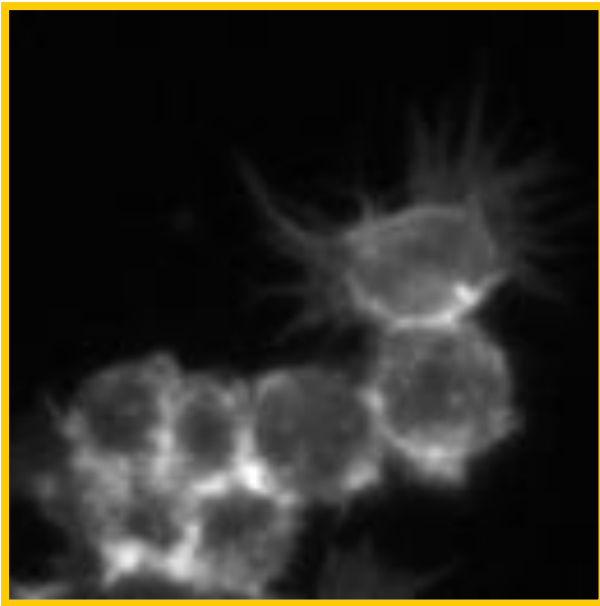
➤ 基于图像分析的生物学信息学



RNAi Cell Image分割

1.6 数字图像处理应用举例

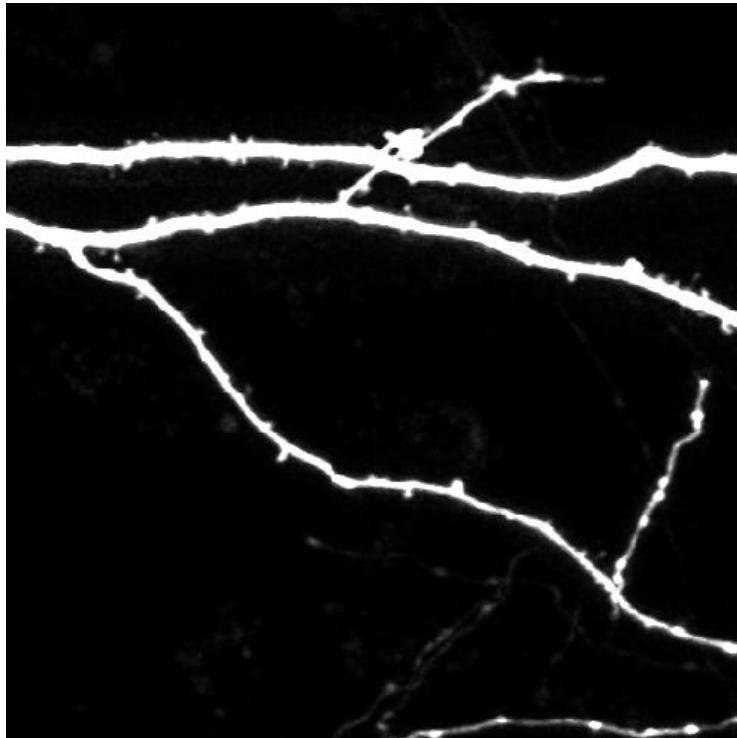
➤ 基于图像分析的生物信息学



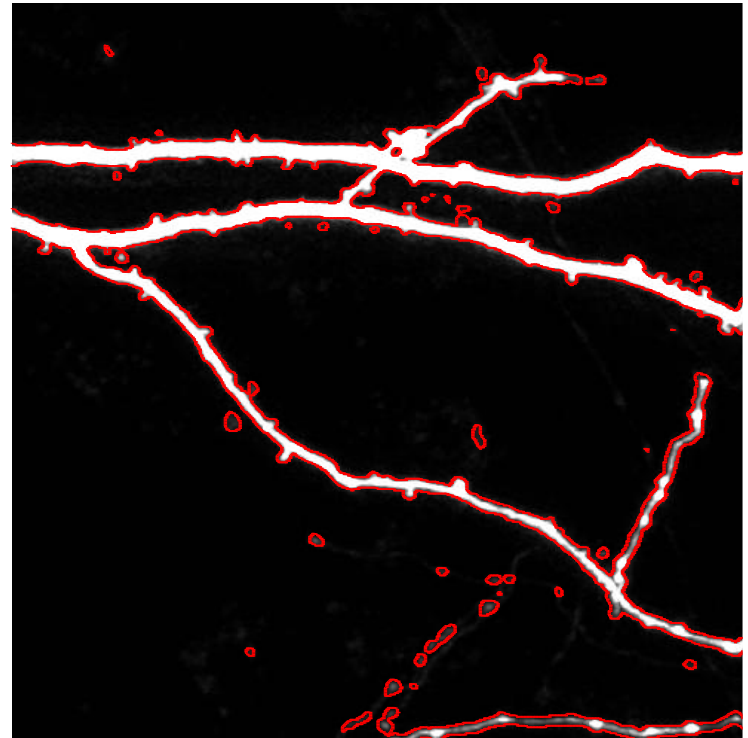
RNAi Cell Image分割

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

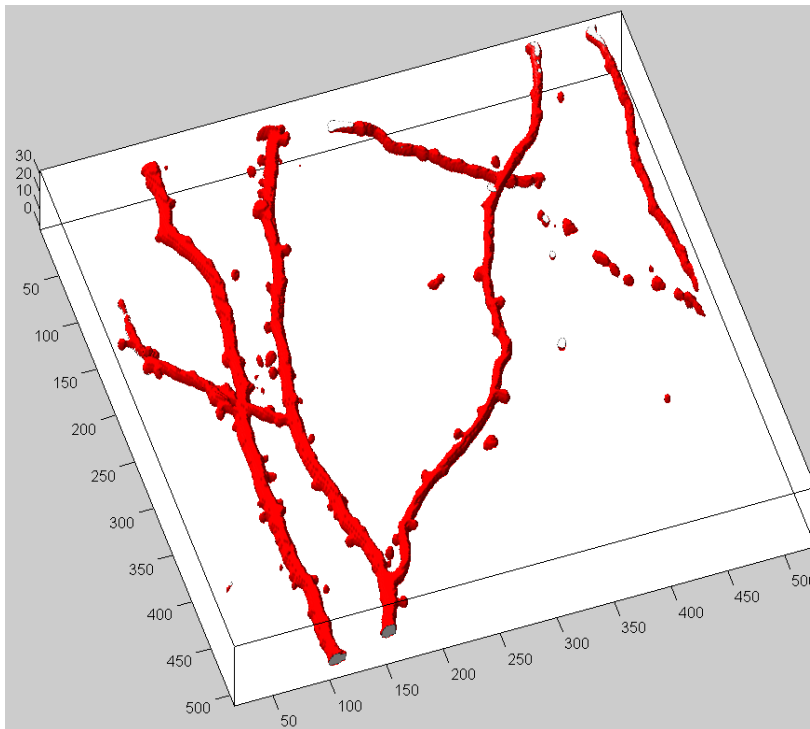


(b). Segmentation result

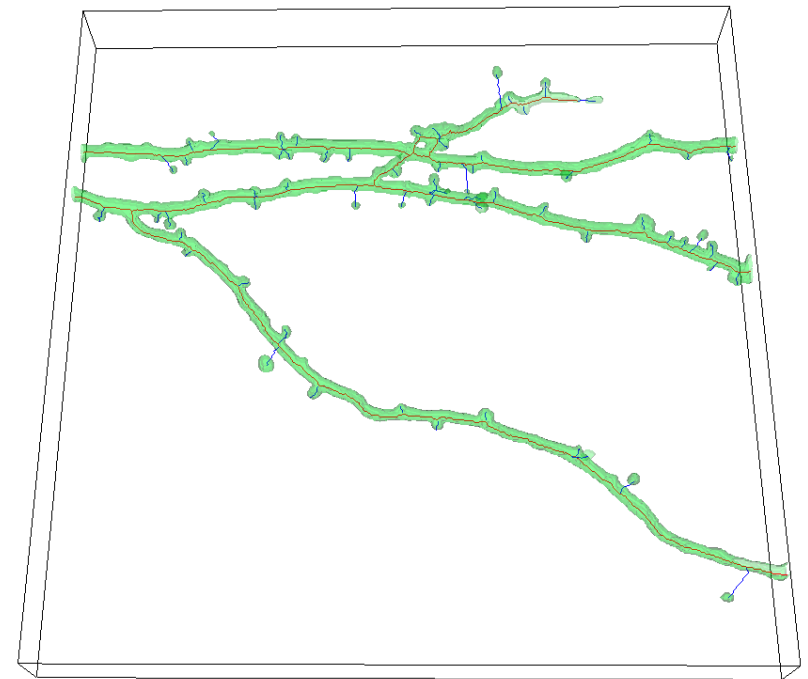
Dendrite Image分割

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

□ 图象检索

- 目标：从一个大图象库中找到与查询图相似的图片

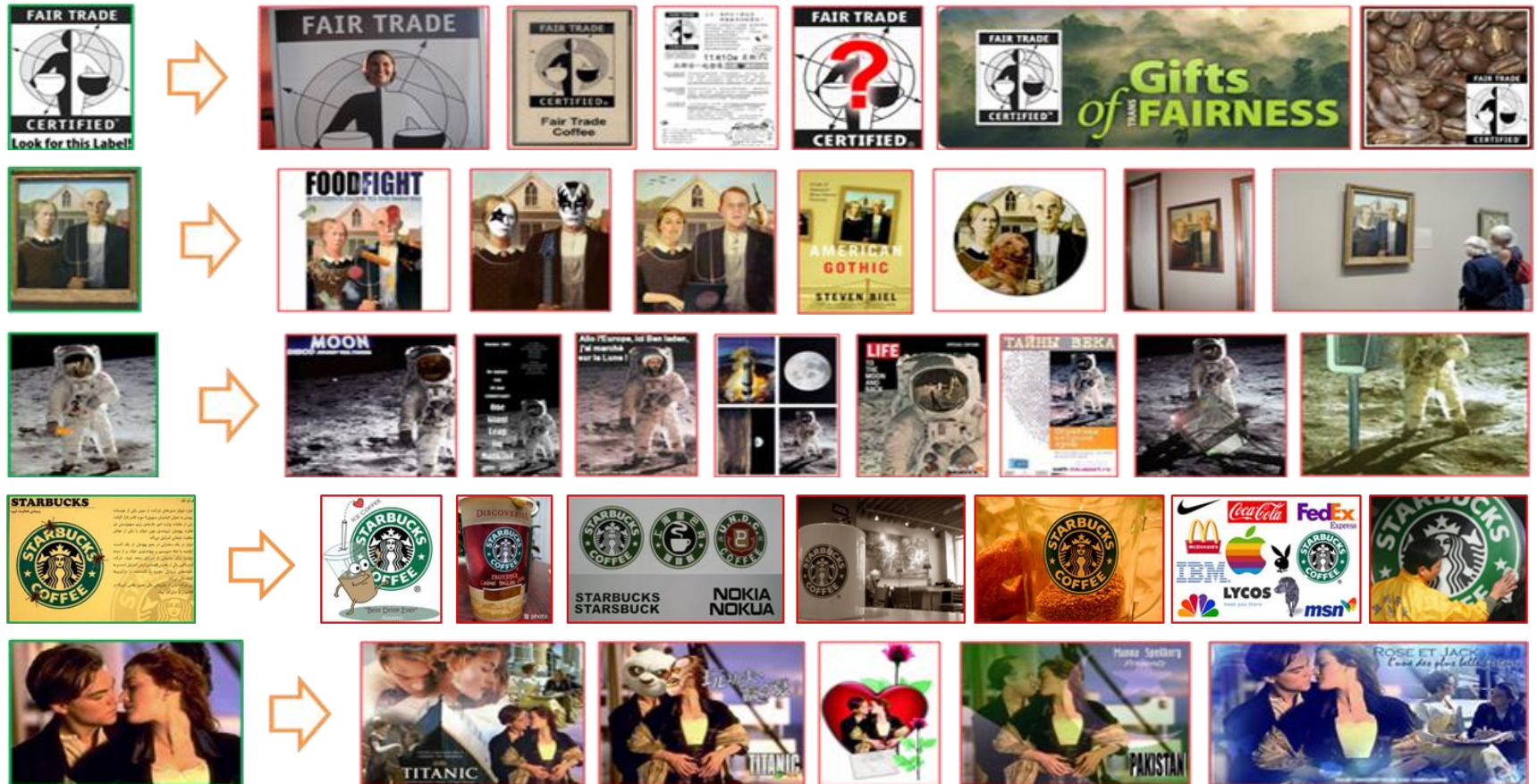


□ 近复制图象检索

- 对原图进行缩放、裁剪、旋转、部分遮挡、翻拍等处理

1.6 数字图像处理应用举例

□ 近复制图象检索实例结果

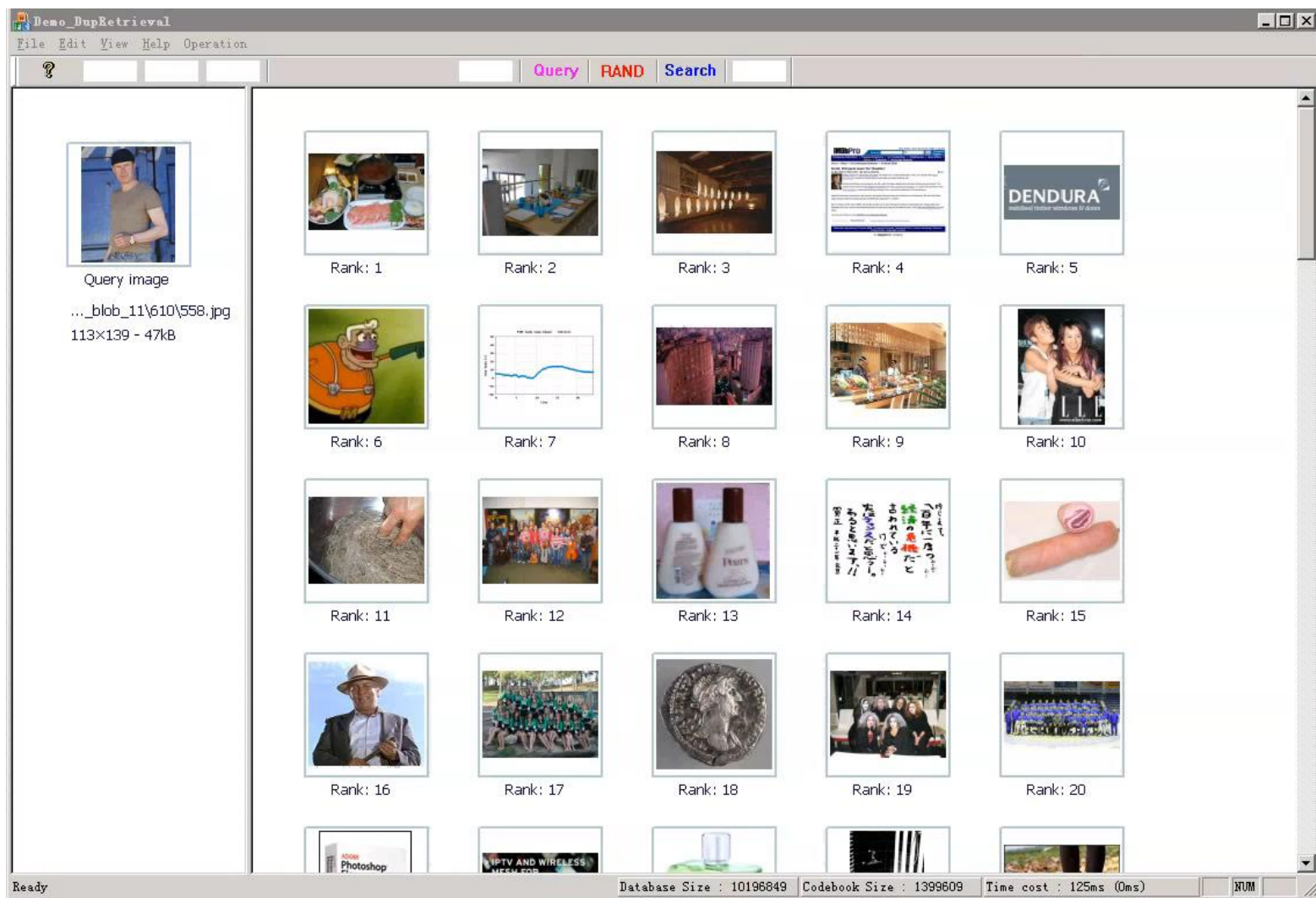


Queries

(selected from those before the first false positive)

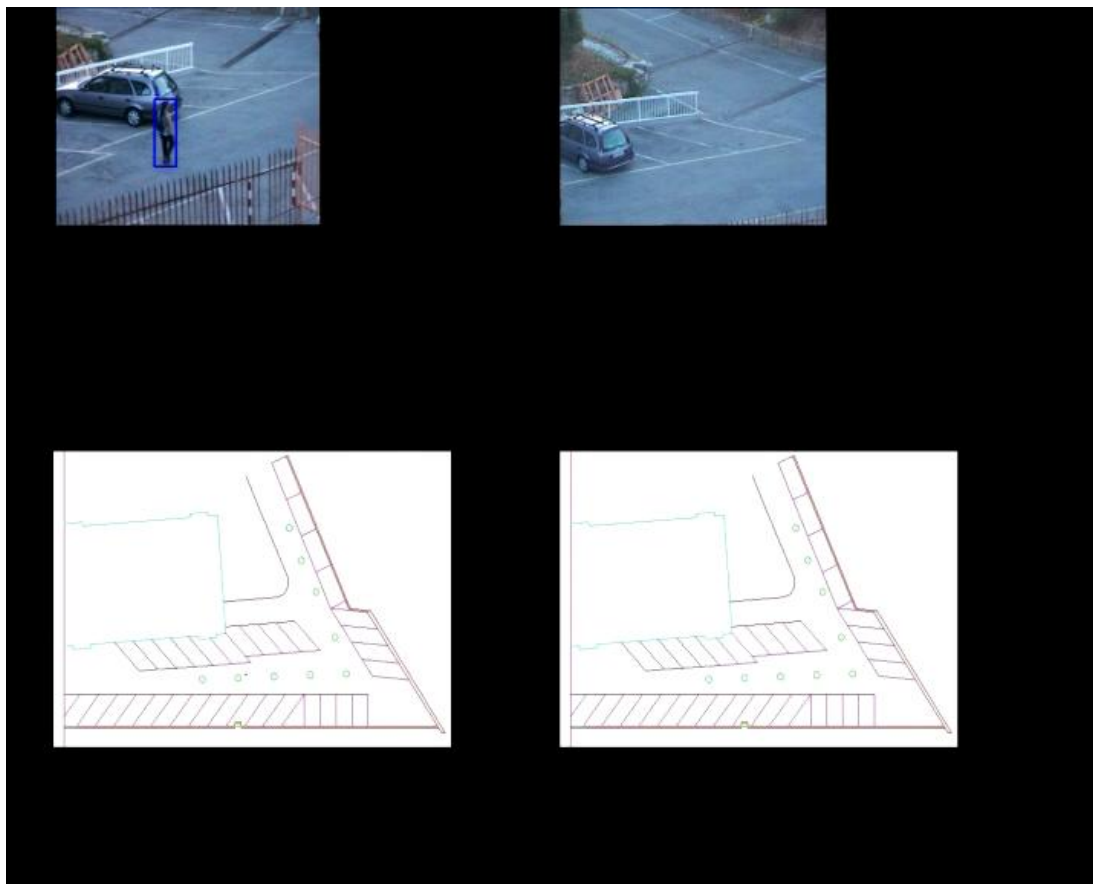
1.6 数字图像处理应用举例

□ 演示系统



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) Origin



(c) Ours



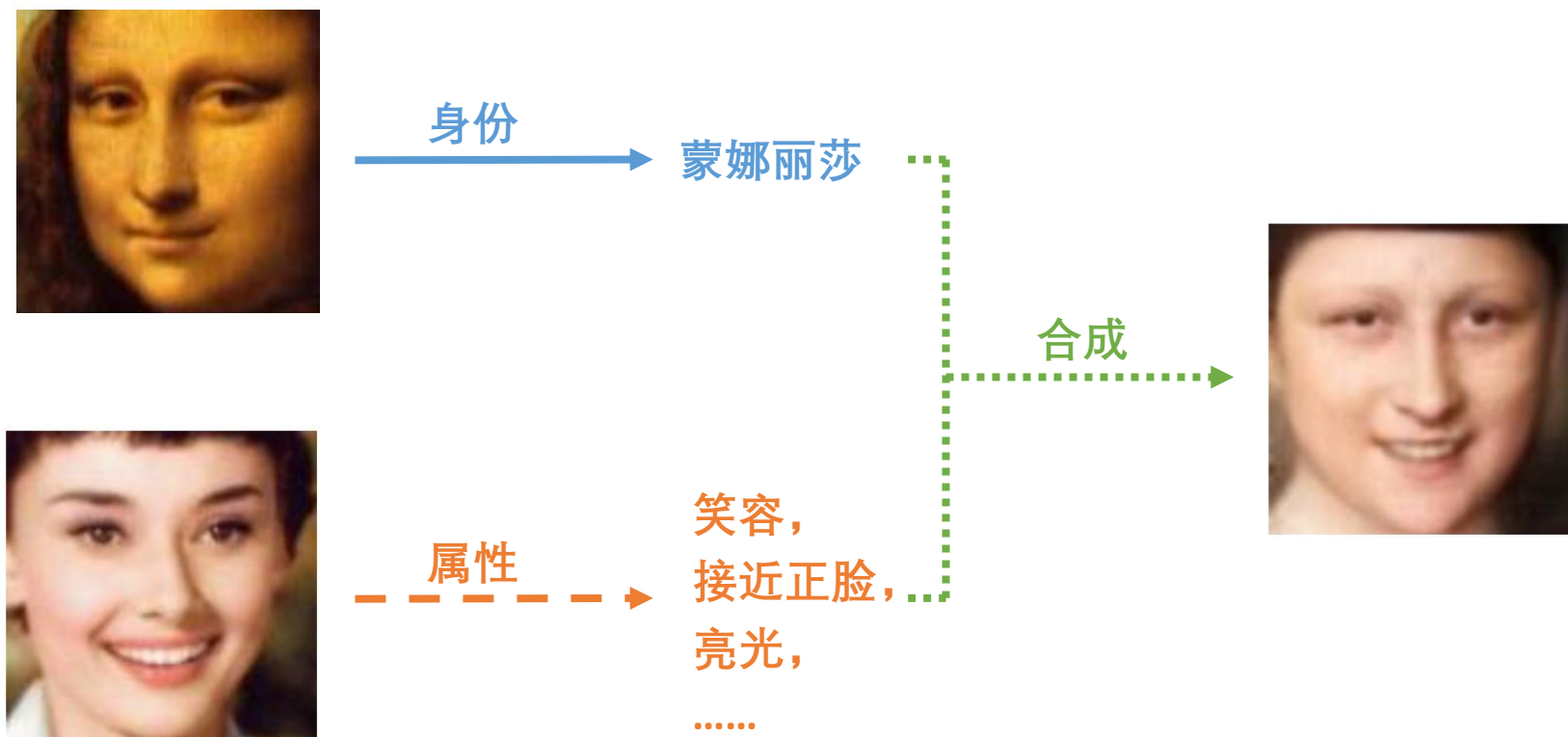
1.6 数字图像处理应用举例

□ CVAE-GAN的应用-人脸图片属性编辑

Pose Morphing

1.6 数字图像处理应用举例

- IP-GAN: 将来自不同人脸的身份信息与属性信息融合, 合成新的图片



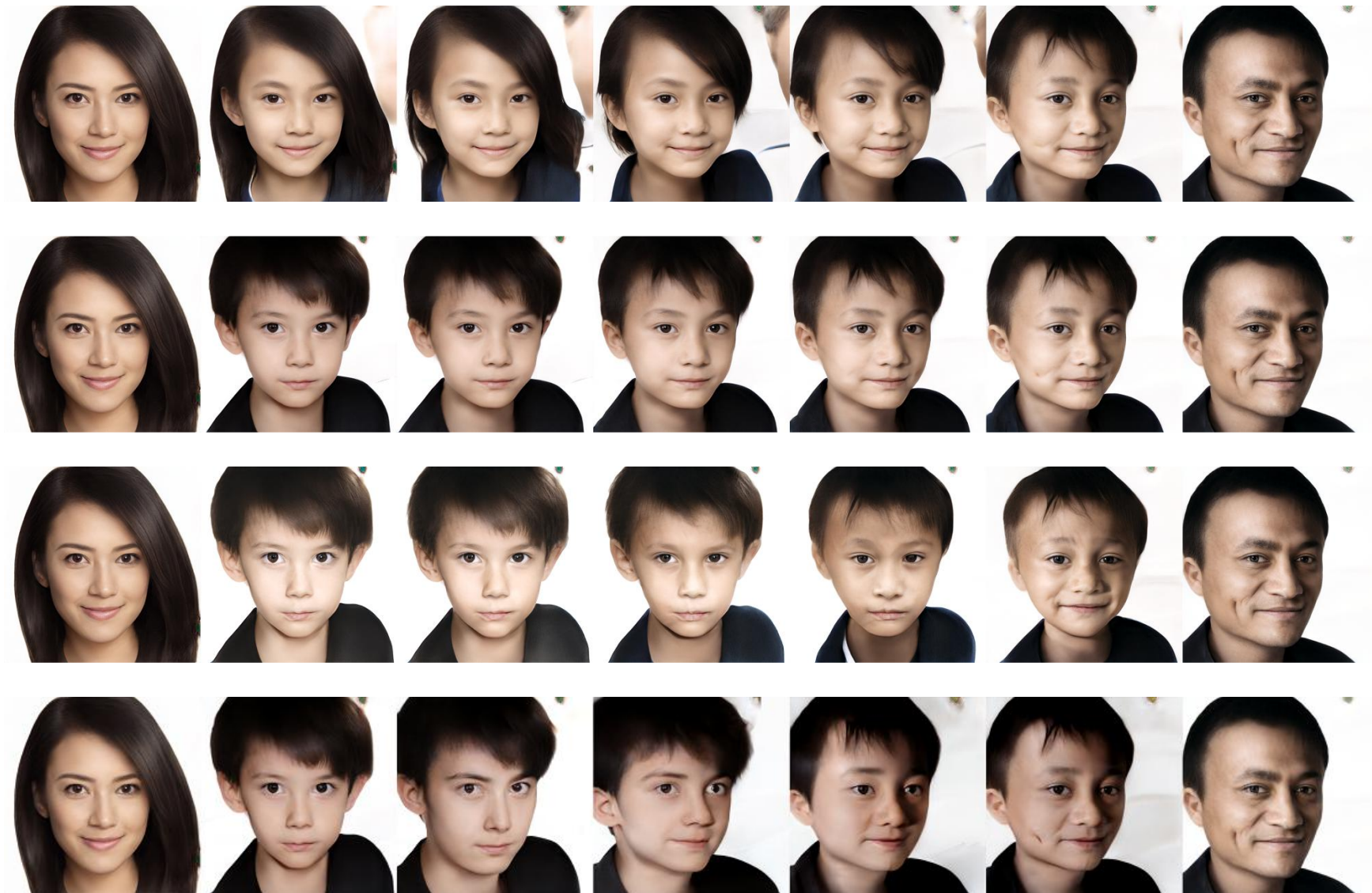


1.6 数字图像处理应用举例

□ IP-GAN

Face Attributes Transformation

图像生成-I：预测小孩相貌



图像生成-II：预测小孩相貌

- 控制性别、年龄、遗传属性，生成小孩图像



图像生成-III：基于文本描述（SD-V3）

studio photograph closeup of a chameleon over a black background



Moody still life of assorted pumpkins.



Epic anime artwork of a wizard atop a mountain at night casting a cosmic spell into the dark sky that says "Stable Diffusion 3" made out of colorful energy.



Resting on the kitchen table is an embroidered cloth with the text 'good night' and an embroidered baby tiger. Next to the cloth there is a lit candle. The lighting is dim and dramatic



Photo of an 90's desktop computer on a work desk, on the computer screen it says "welcome". On the wall in the background we see beautiful graffiti with the text "SD3" very large on the wall



a grandma wearing a "Go big or go home sweatshirt



图像生成-III：基于文本描述（SORA）



视频：在海中飞舞的蝴蝶



视频：两名冲浪者在一座具有历史感的大厅里乘风破浪



“SORA”云彩图像



一位女性的秋日特写人像



参考书目

教材：

[美] Rafael C. Gonzalez著；阮秋琦 等 译. 《数字图像处理》
(第四版)，2020.

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