
数字图像处理

Email: wuyl@njau.edu.cn

前期知识储备

预修课程：

高等数学、线性代数、数字信号处理、概率论
与随机过程、程序设计语言

课时安排：

总学时36

理论学时20

实验学时16 （从第三周开始，单周上实验课）

课程介绍

数字图像处理是一门涉及多领域的交叉学科，理论性和实践性都很强。

本课程主要讲授**数字图像处理的基础理论和实现方法**。通过对本课程的学习，具有阅读各类图像处理文献的能力和进行图像处理系统的开发能力，并为学习图像处理新方法奠定理论基础，提高解决实际问题的能力，为进一步开展相关方向的研究和应用打下基础。

数字图像处理(Digital Image Processing) :

◆ 图像 → 图像

◆ 对输入的图像做某种处理，输出仍然是图像，基本不涉及或者很少涉及图像内容的分析。

◆ 图像变换 图像增强 图像压缩 图像复原 图像分割 ...



a. 处理前



b. 处理后

图像分析：

对图像的内容进行分析，提取有意义的特征，以便于后续的处理。

颜色特征 形状特征 纹理特征 。 。 。

计算机视觉 (Computer Vision) :

◆ 图像 → 模型

◆ 让计算机“看懂”图像和视频



这是何种场景？

人在哪里？

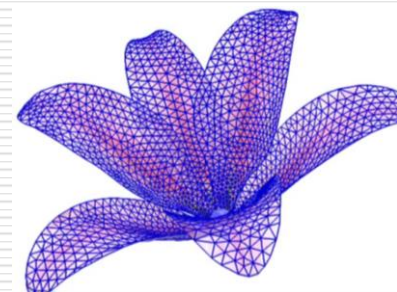
他们在做什么？

。 。 。

对图像分析得到的特征进行分析，提取场景的语义表示，让计算机具有人眼和人脑的能力。

计算机图形学 (Computer Graphics) :

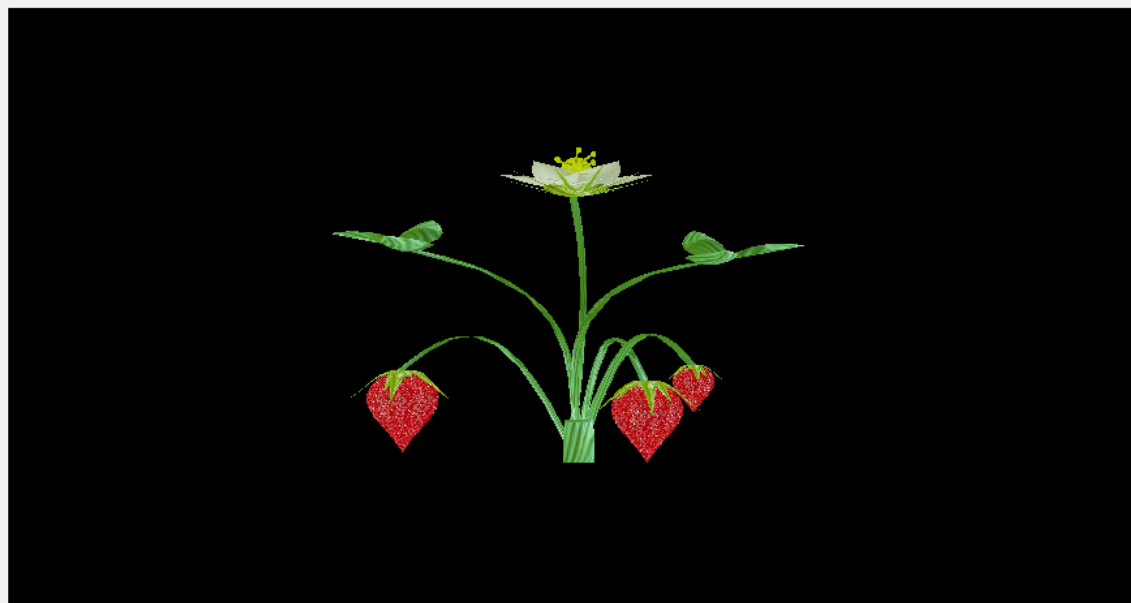
◆ 模型 → 图像





A close-up photograph of two white strawberry flowers with bright yellow centers. The flowers are surrounded by green leaves and stems. A small watermark 'Baidu' is visible in the bottom left corner.





基础功能

- ☒ 坐标轴
☐ 旋转
☒ 添加纹理

光照

ambient 5
 diffuse 5
 specular 5

☒ 灯光

果实信息

直径 1.36
 高度 3.02
 果期 2

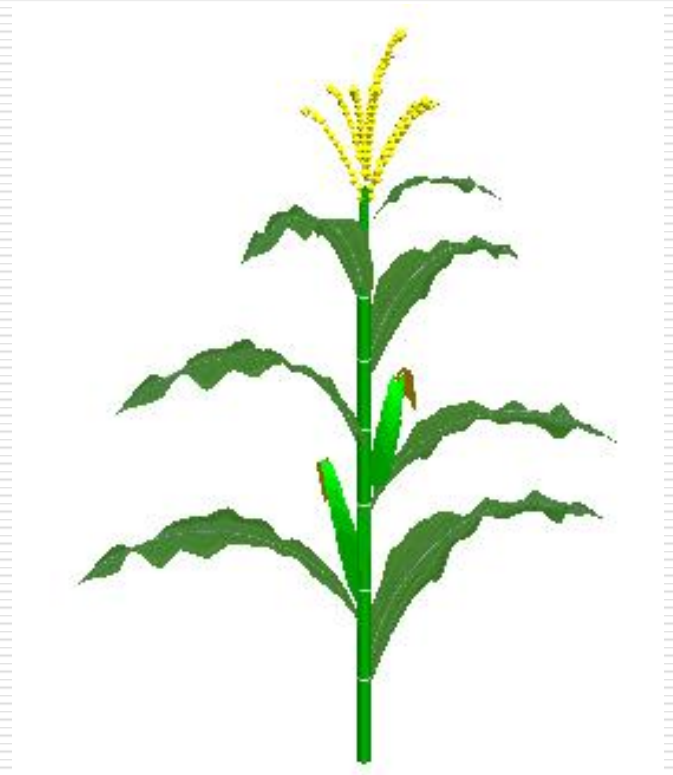
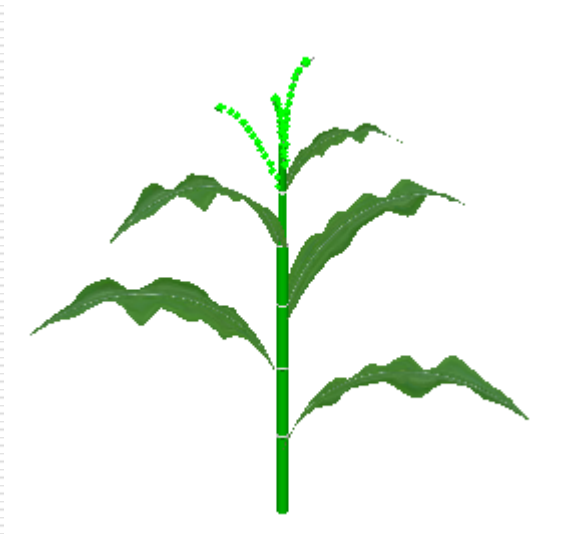
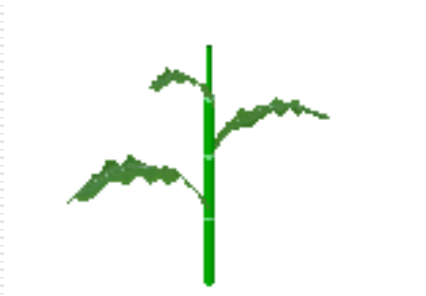
草莓器官

- ☐ 单叶 ☐ 花托 ☐ 花药 ☐ 花丝 ☐ 花萼 ☐ 花瓣 ☐ 花柄

草莓信息

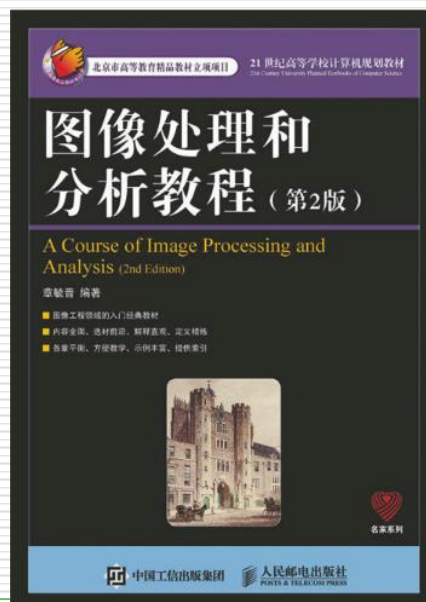
- ☐ 叶片拓扑 ☐ 草莓花 ☐ 草莓果实 ☒ 草莓组合

B. 玉米植株



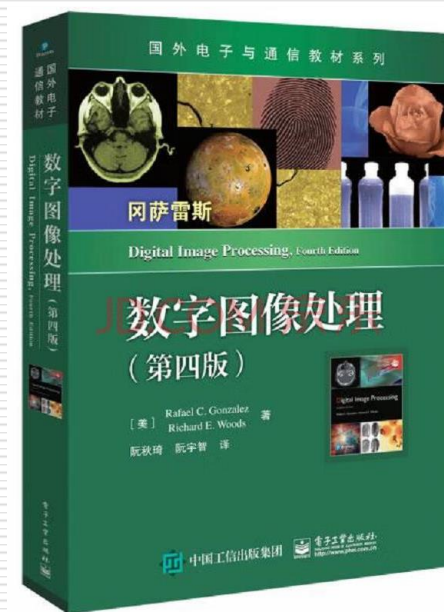
主讲教材

- 《数字图像处理与分析》，刘直芳等，清华大学出版社
- 《数字图像处理与分析》，杨帆 等，北京航空航天大学出版社
- 《图像处理和分折教程》
章毓晋.
人民邮电出版社



参考教材

- R. C. 冈萨雷斯等著，阮秋琦等译.
《数字图像处理》. 电子工业出版社



图像处理方向主要中文期刊：

- 计算机学报
- 计算机研究与发展
- 计算机辅助设计与图形学学报
- 模式识别与人工智能
- 中国图象图形学报
- 软件学报
- 电子学报

图像处理方向国际会议：

- **ICCV** (IEEE International Conference on Computer Vision)
两年一次 领域顶级
- **CVPR** (IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition) 一年一次 领域顶级
- **ECCV** (European Conference on Computer Vision)
两年一次 领域顶级
- **ICIP** (IEEE International conference on Image Processing)
一年一次 最具影响力

第一章 绪 论

- 数字图像处理的发展概况及应用
- 图像处理概述
- 数字图像处理的目的
- 数字图像处理主要研究的内容

1. 数字图像处理的发展概况及应用

它从60年代开始，随着计算机技术的发展而迅速发展起来：

美国喷气推进实验室(JPL)对“徘徊者7号”太空船在64年发回的几千张月球照片，用数字图像处理技术，成功地绘制出月球表面地图。随后又对探测飞船发回的照片进行了图像处理，从此开始了数字图像处理的广泛应用。

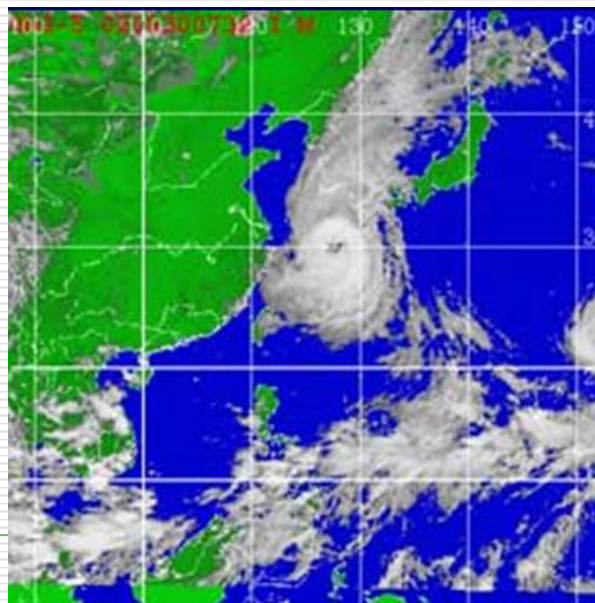
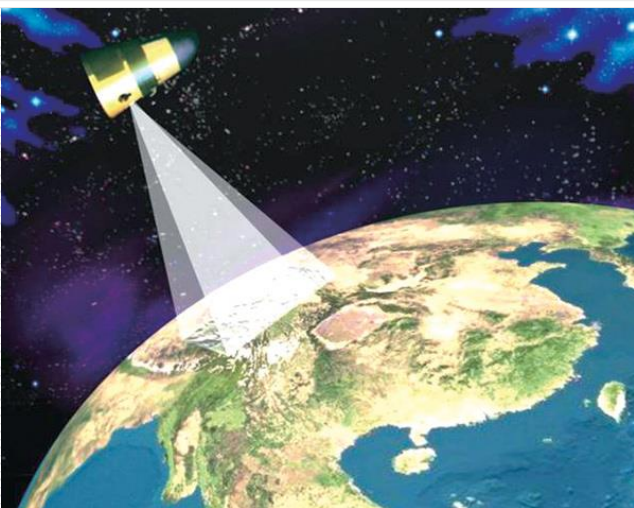


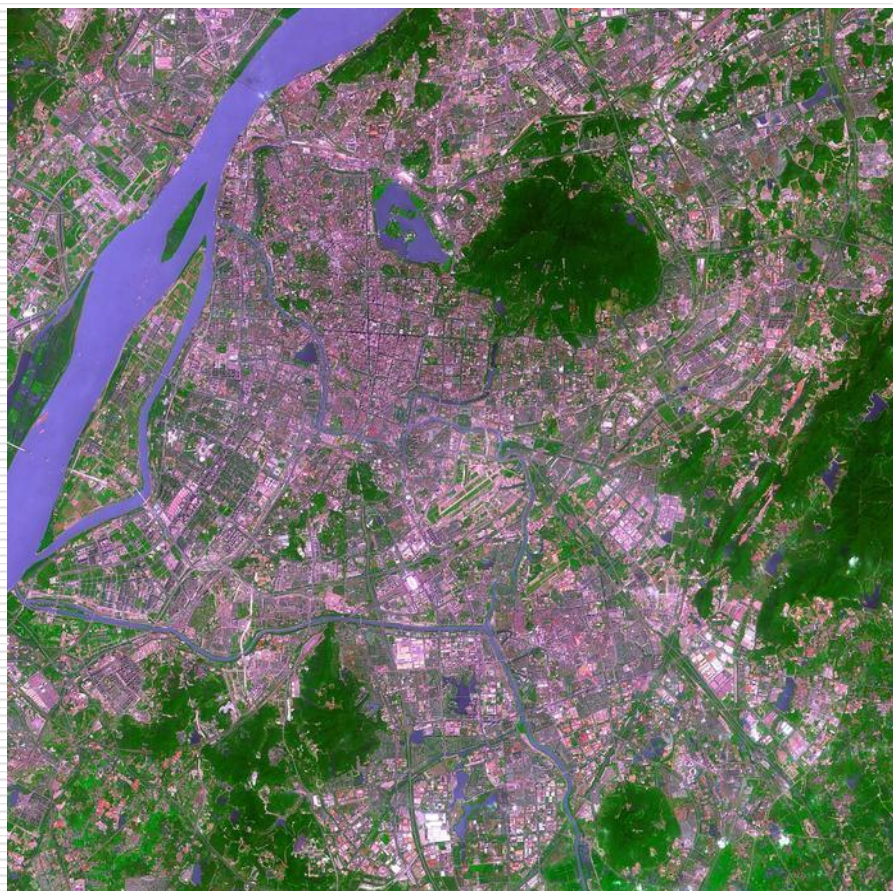
美国航天器传送的第一张月球照片

□ 在航天、航空中的应用 –

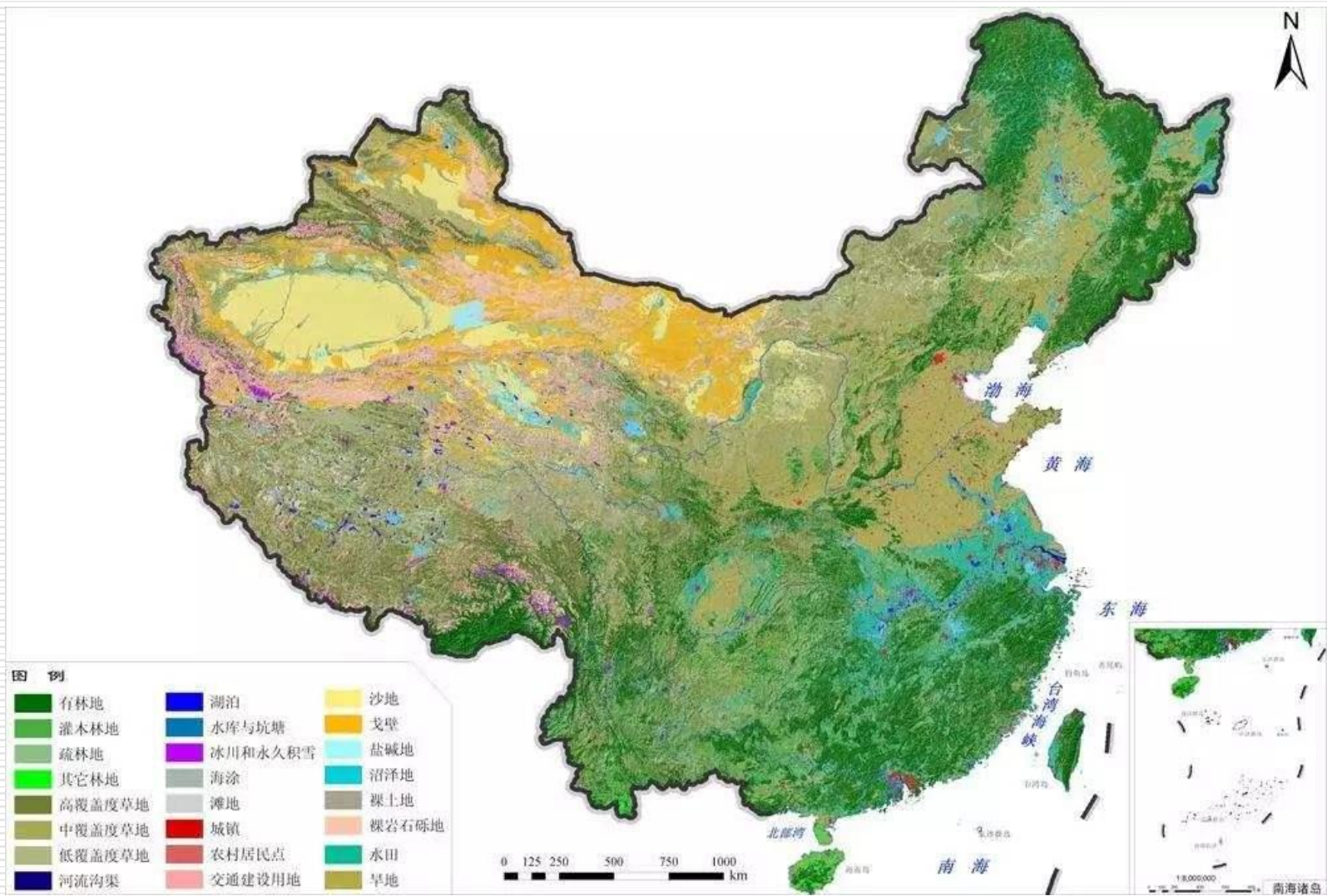
- 登月、火星照片处理
- 卫星遥感、飞机遥感

农、林等资源的调查，农作物产量计算，农作物长势监测，地势、地貌测绘，环境污染监测、气象监测等。

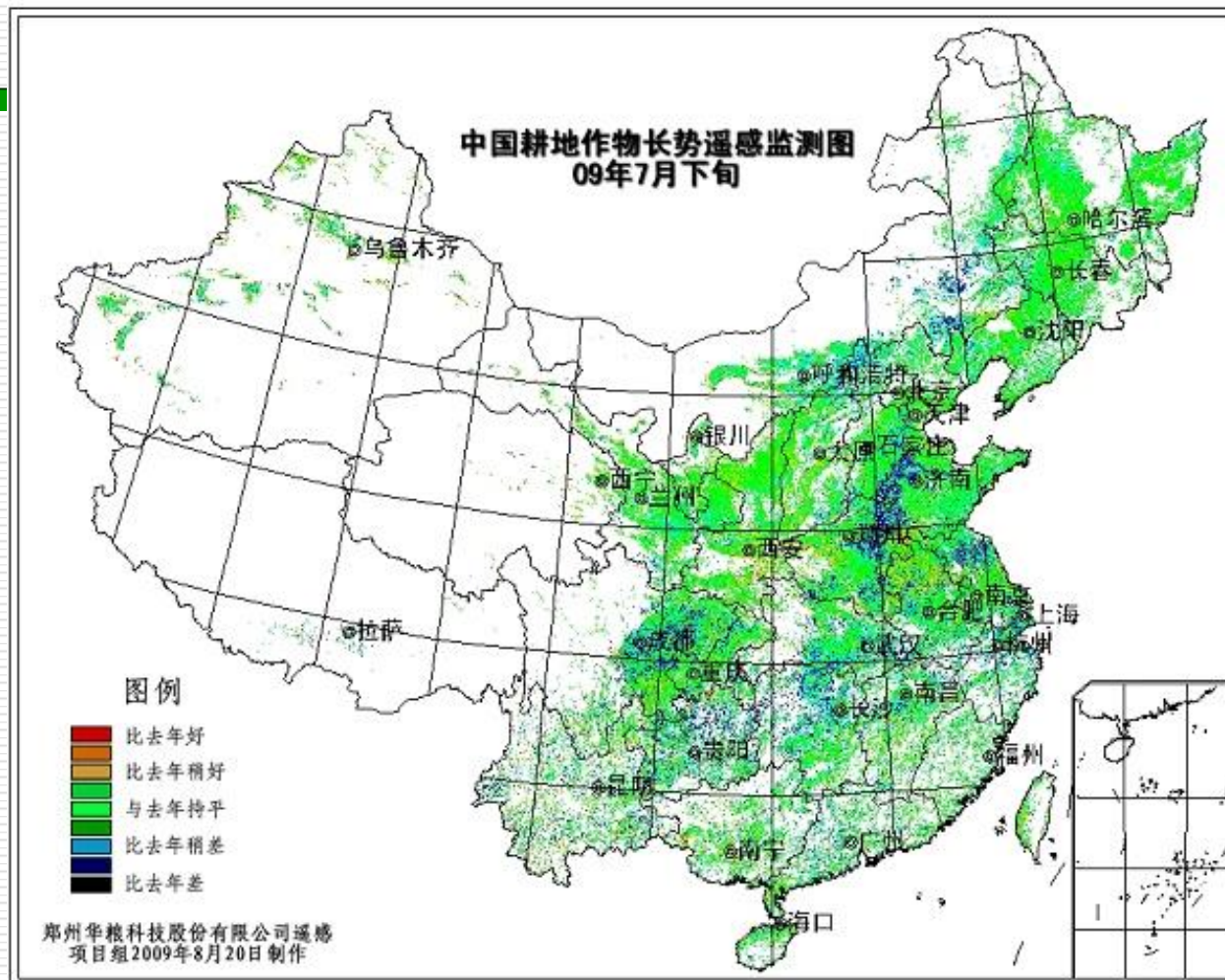




南京NASA卫星影像



我国土地资源分布遥感图



□ 军事、公安-

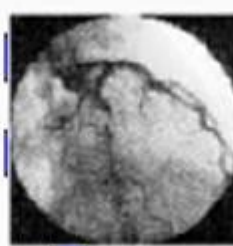
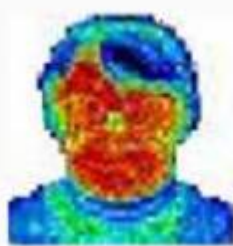
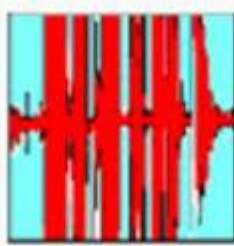
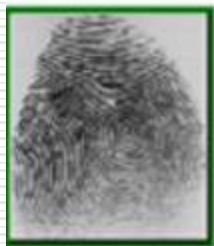
航空及卫星侦察照片的处理，雷达、声纳图像处理，无人驾驶飞机、军事目标检测等。



案件侦破、指纹识别、人脸识别、伪钞识别，
以及交通监控、事故分析、银行防盗



Information Security





(b)



(c)

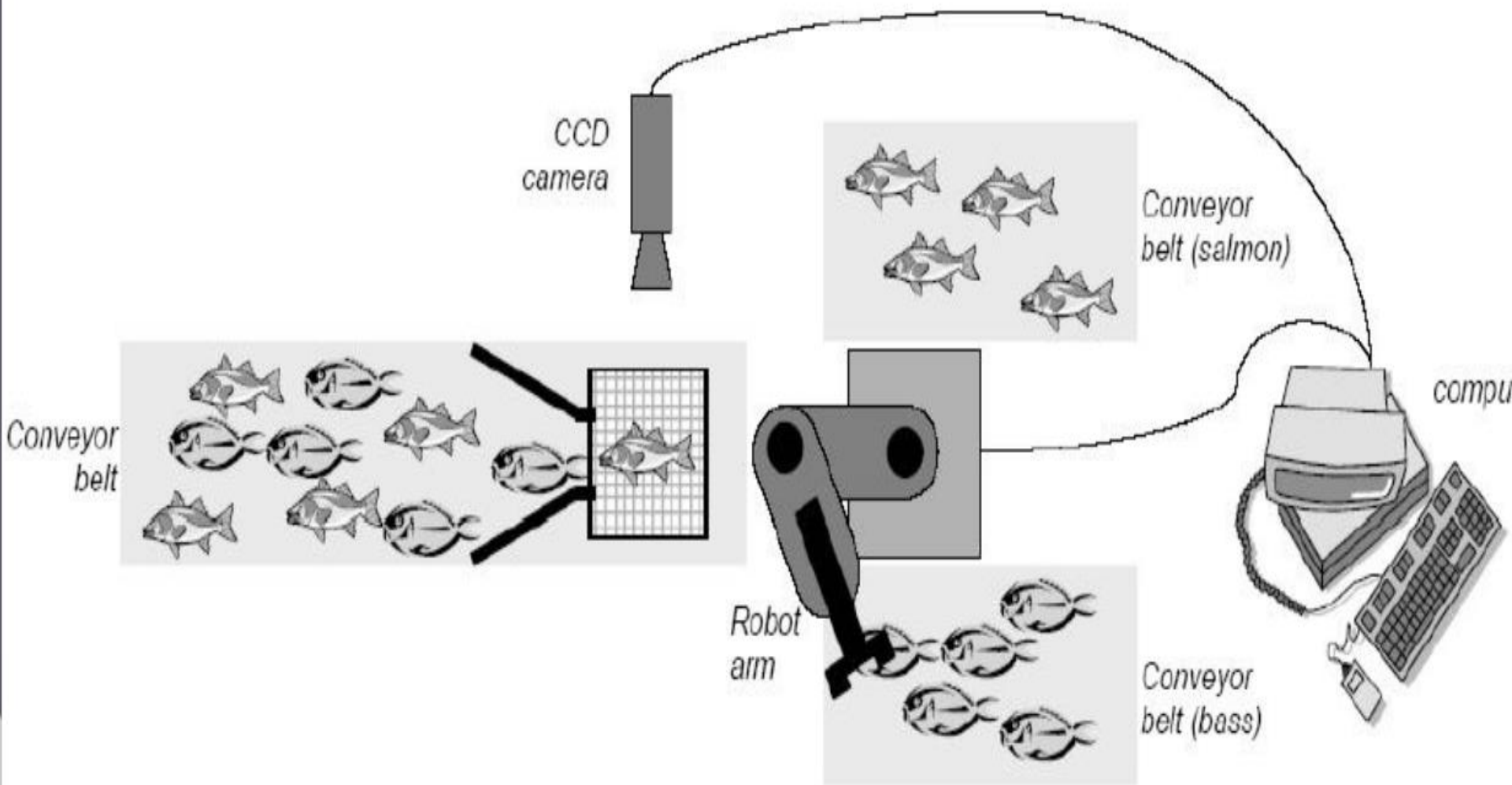


	P7577	P7577
	G4402	G4402
	DU3403	DU3403
	GG 4025	GG4025
	CX0166	CX0166

□ 工业生产和工程-

无损检测，石油勘探，生产过程的自动化(识别零件，装配，质量检查)，工业机器人视觉、邮政信件的自动检测、条形码的识别...





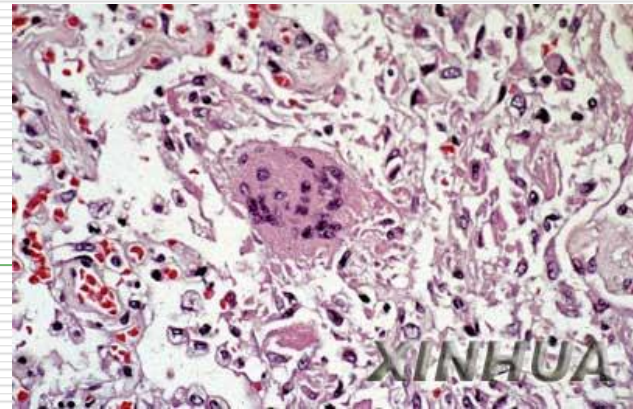
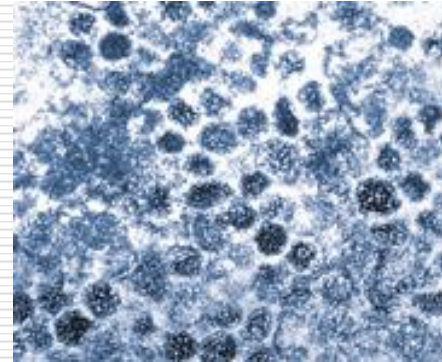
□ 生物医学

医疗诊断：-X射线、超声、显微图片分析，内窥镜图、
温谱图分析，断层及核磁共振分析

■ CT技术，癌细胞识别等。



The SARS coronavirus



□ 农业领域

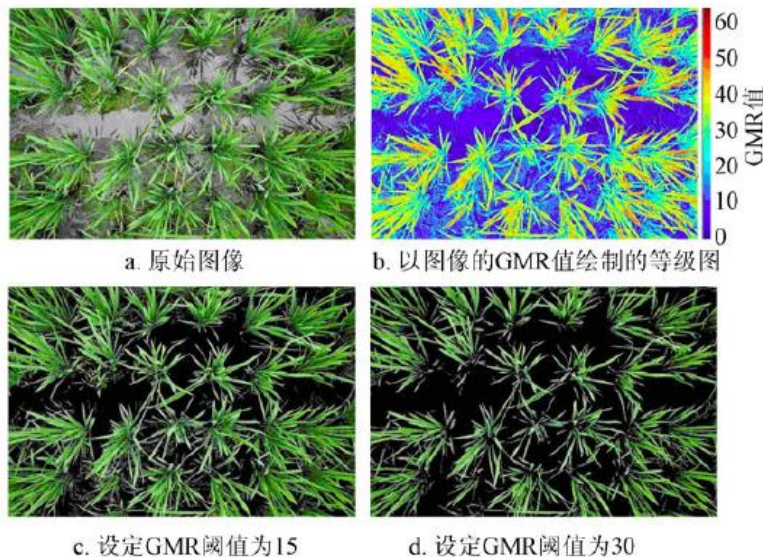
图像处理技术在农业中的应用大致可以分为以下几个方面：

- 物料特性及动植物生长过程的监测与评价
- 农业初级产品和加工品的检测
- 农业资源的调查与评估

物料特性及动植物生长过程的监测与评价

例如 作物生理和营养状态的评估：

作物的营养含量与作物叶片颜色之间存在相关关系，通过叶片颜色的测量，评价作物缺肥情况，进而实现根据植物生长需要自动施肥施氮。



水稻氮营养状况评估

基于卷积神经网络和深度图像的奶牛身体状态估计

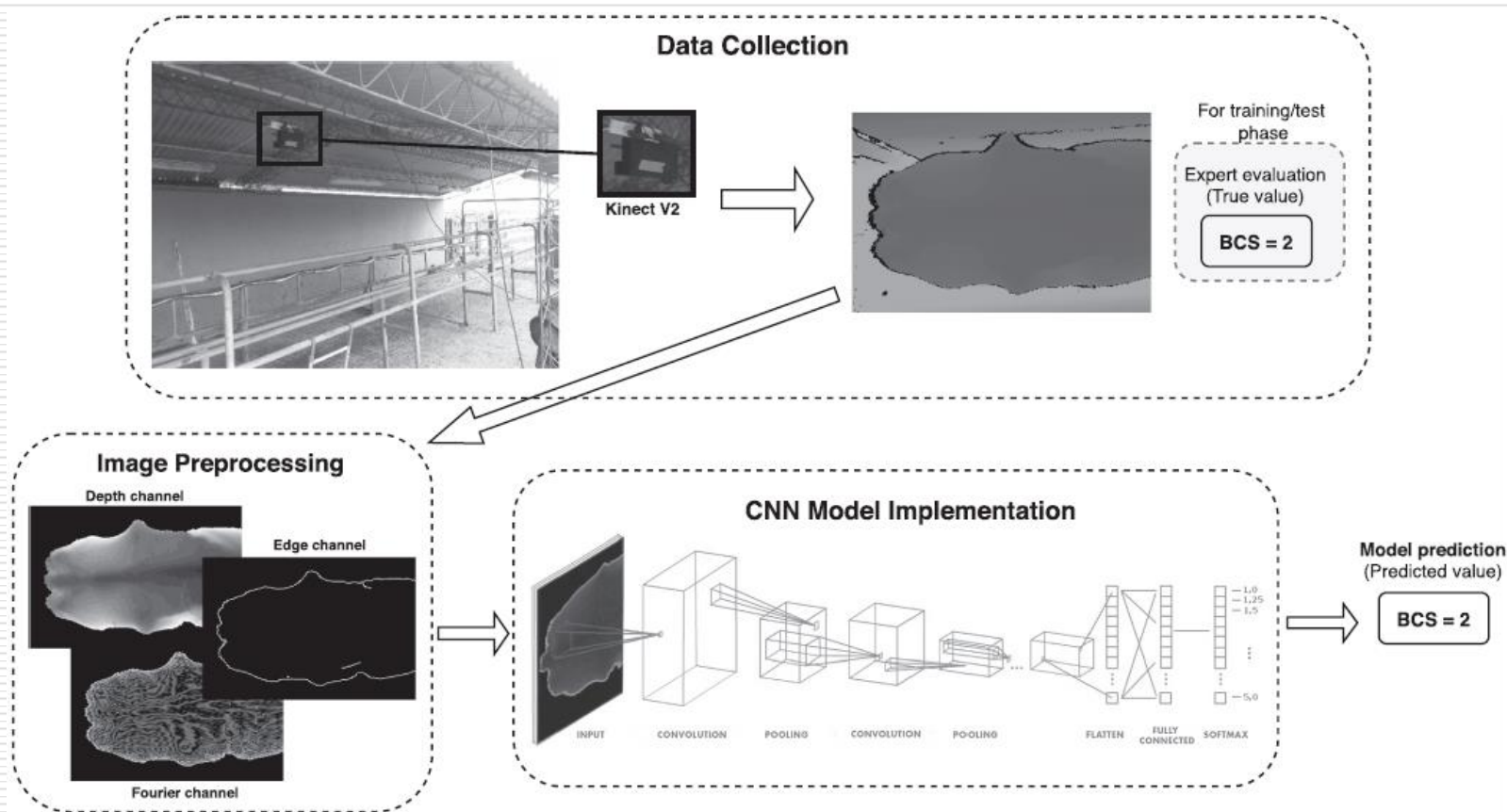


Fig. 1. Overview of developed BCS estimation system.

农业初级产品和加工品的检测

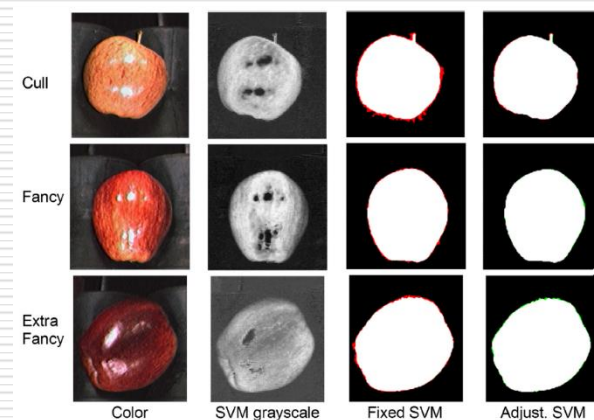
农产品计算机视觉检测技术按其目的可分为：

(一) 分级

(二) 检验

1. 损伤
2. 新鲜度和成熟度
3. 病虫害
4. 性状变化

(三) 产量检测与计数



苹果分级

成熟荔枝识别



晴天顺光
Sunshine and frontlighting



遮阴
Shady



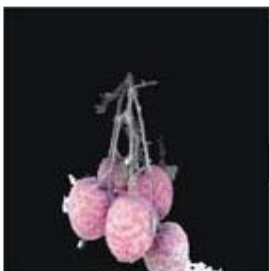
逆光
Backlighting



阴天顺光
Cloudy and frontlighting

b. 荔枝图像增强

b. Litchi image enhancement



晴天顺光
Sunshine and frontlighting



遮阴
Shady



逆光
Backlighting



阴天顺光
Cloudy and frontlighting

c. 去除背景后荔枝图

虾仁分级



(a)

(b)

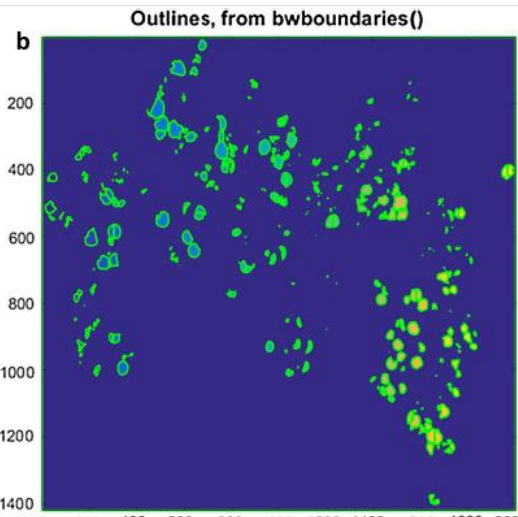
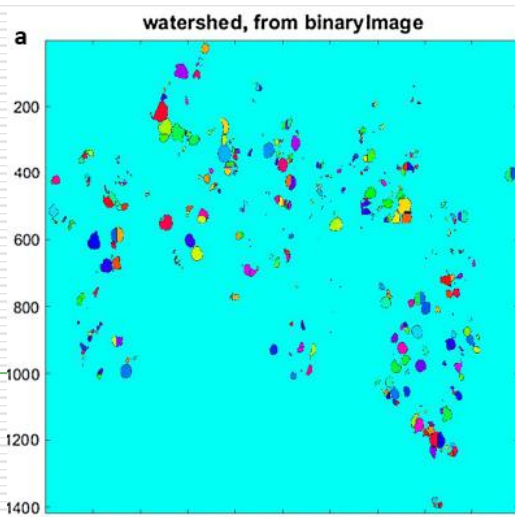
(c)

(d)

(e)



柑桔果树产量检测与计数



咖啡枝条水果自动计数

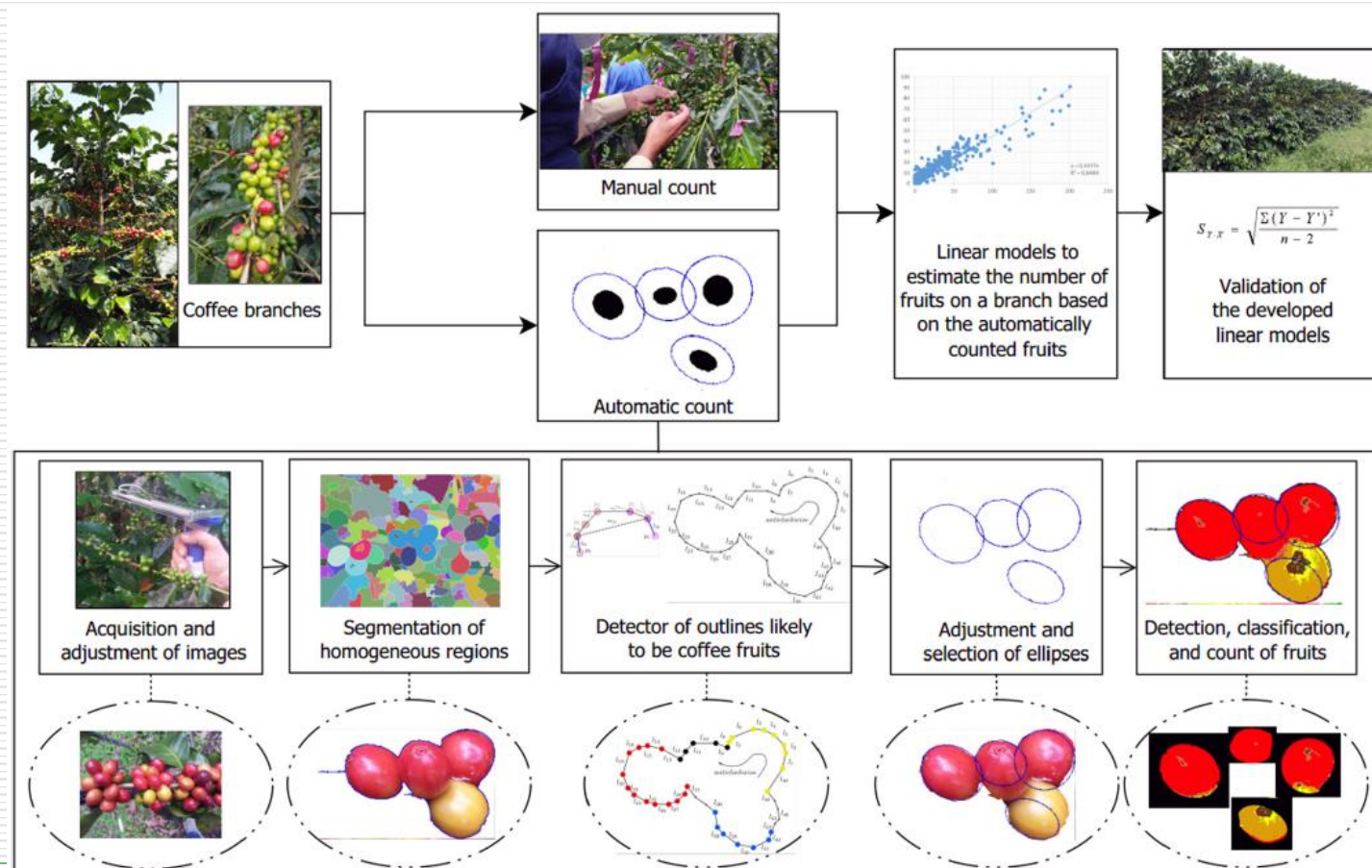


Fig. 1. Flowchart of proposed Machine Vision System (MVS).

农业资源调查与评估

通过分析卫星、航测、遥感图像图片，可以得到植物分布、绿化和沙漠化地域、作物面积、水分蒸发、虫害范围、面积等数据，也可用来检测作物生长和土壤类型以及估计作物水分亏缺和冰雹危险等。

2. 图像处理概述

1.1 图像分类

图像按照其描述模型可以分为：

- 1) 模拟图像
- 2) 数字图像

a、模拟图像

指空间坐标和明暗程度都连续变化的、计算机无法直接处理的图像。如常见的各种图片、海报、广告画等。

可用连续函数 $I = F(x, y)$ 来描述

b、数字图像

以数字格式存放的图像。一幅 $M \times N$ 个像素的数字图像，可以用 M 行、 N 列的矩阵 I 或二维数组 T 来表示：

用矩阵来描述：

$$I = I[m, n] = \begin{bmatrix} i_{0,0} & i_{0,1} & \cdots & i_{0,n-1} \\ i_{1,0} & i_{1,1} & \cdots & i_{1,n-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ i_{m-1,0} & i_{m-1,1} & \cdots & i_{m-1,n-1} \end{bmatrix}$$

像素(pixel)

-
- 二者之间的转换：目前主要设备是**扫描仪**。

将视频画面数字化的设备有**图像采集卡**。

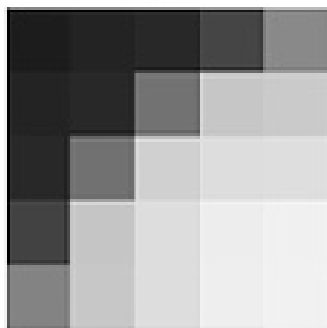
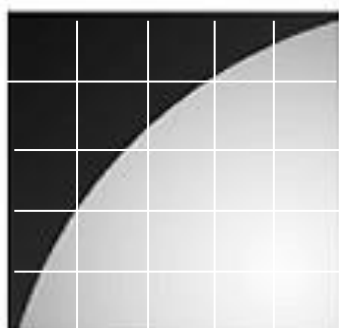
- 直接获取数字图像方式：

可以利用**数码照相机**直接拍摄

1.2 图像数字化技术

将模拟图像信号转化为数字图像的过程称为图像数字化.

图像的数字化主要包括**采样**和**量化**两个过程。



0	25	51	76	102
25	51	102	128	154
51	102	128	180	204
76	128	180	231	231
102	154	204	231	255

模拟
图像



采 样

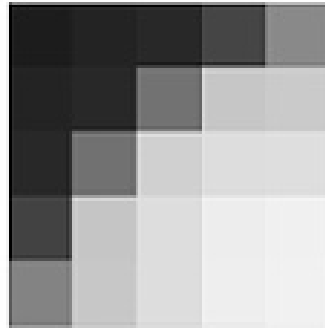
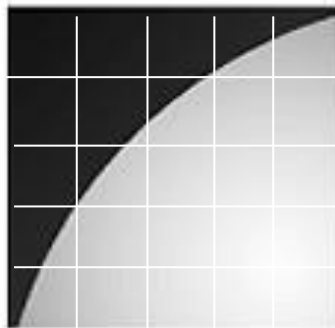


量 化



编 码

数字
图像



0	25	51	76	102
25	51	102	128	154
51	102	128	180	204
76	128	180	231	231
102	154	204	231	255

模拟
图像



采 样



量 化



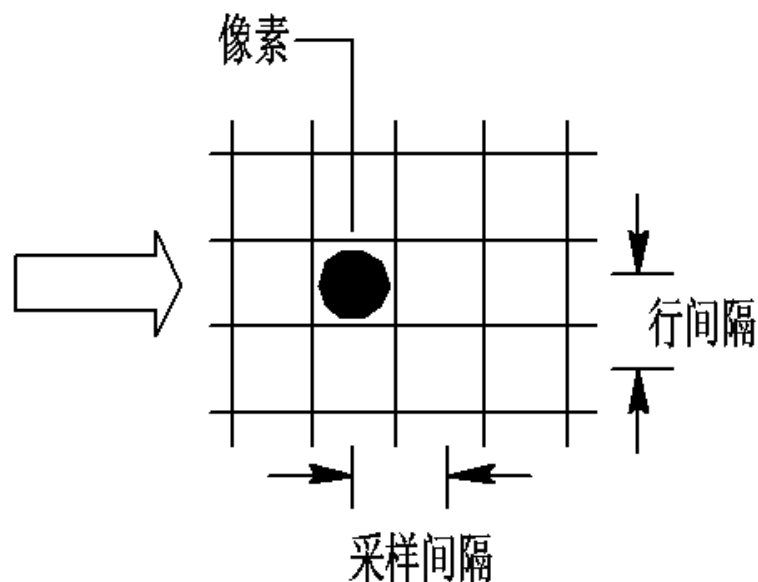
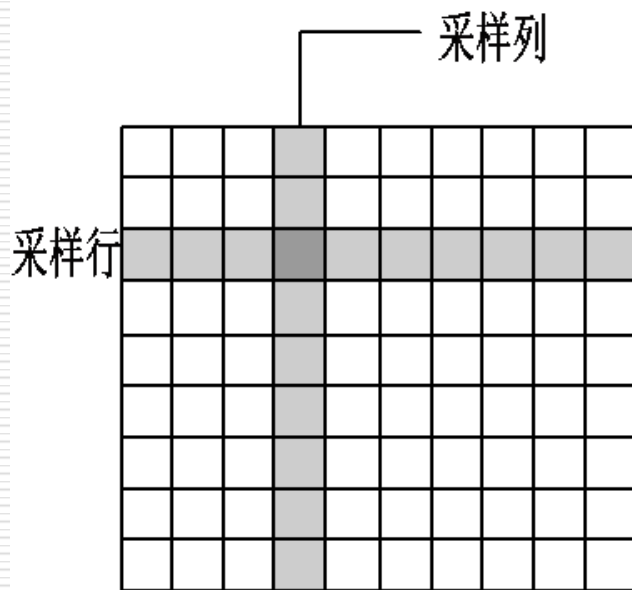
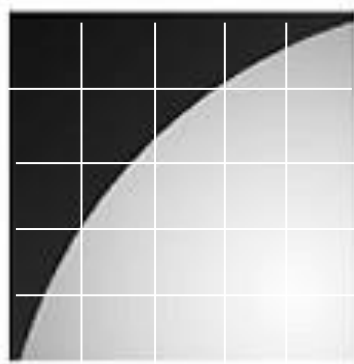
编 码

数字
图像

具体来说，就是把一幅图画分割成上图所示的一个个小区域（像元或像素），并将各小区域灰度用整数来表示，形成一幅数字图像。

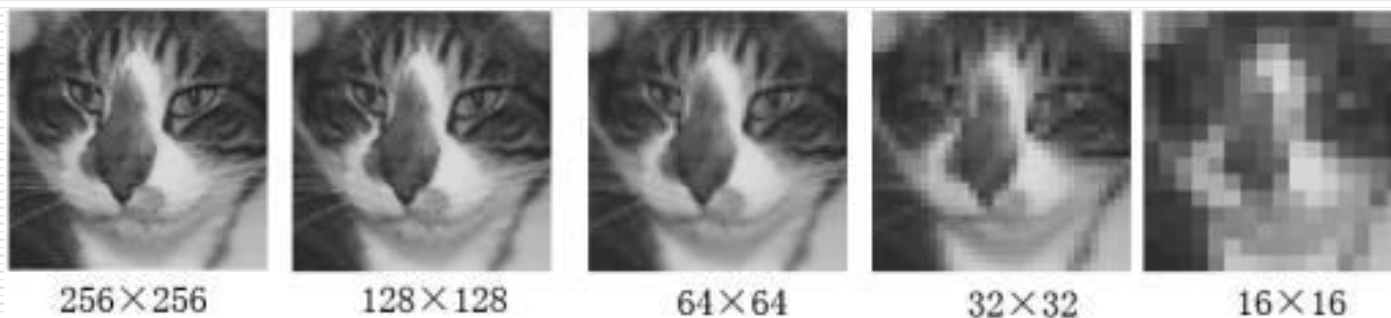
采 样

图像在空间上的离散化处理称为采样。用空间上部分点的灰度值代表图像，这些点称为采样点。



采样参数的选择

- 采样点数



不同采样点数对图像质量的影响

- ◆ 一般来说，采样间隔越大，所得图像像素数越少，空间分辨率低，质量差，严重时出现像素呈块状的国际棋盘效应。
- ◆ 采样间隔越小，所得图像像素数越多，空间分辨率高，质量好，但图像数据量大。



256×256



128×128



64×64



32×32



16×16

-
- 对 $M \times N$ 的取值，主要的依据是采样的约束条件，也就是在 $M \times N$ 达到满足**采样定理**的情况下，重建图像就不会产生失真，否则就会因取样点数不够而产生所谓混淆失真

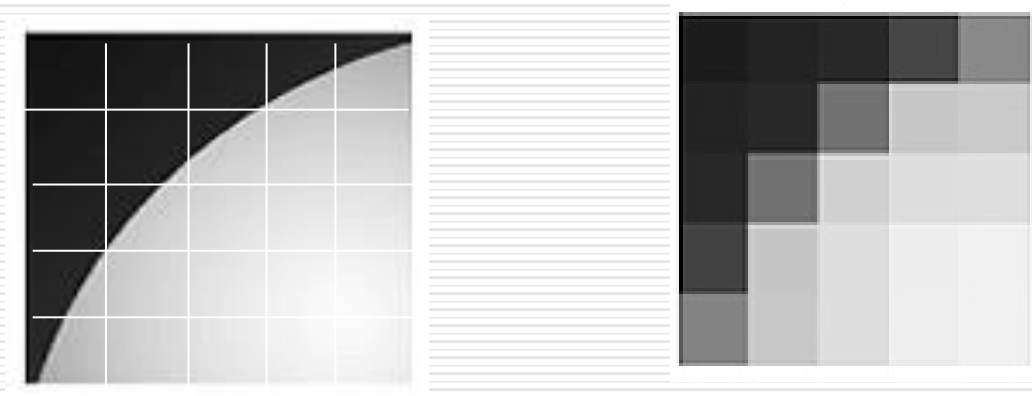
奈奎斯特采样定理

- 采样频率大于最高频率的2倍的采样可以完整保留原始信号中的信息

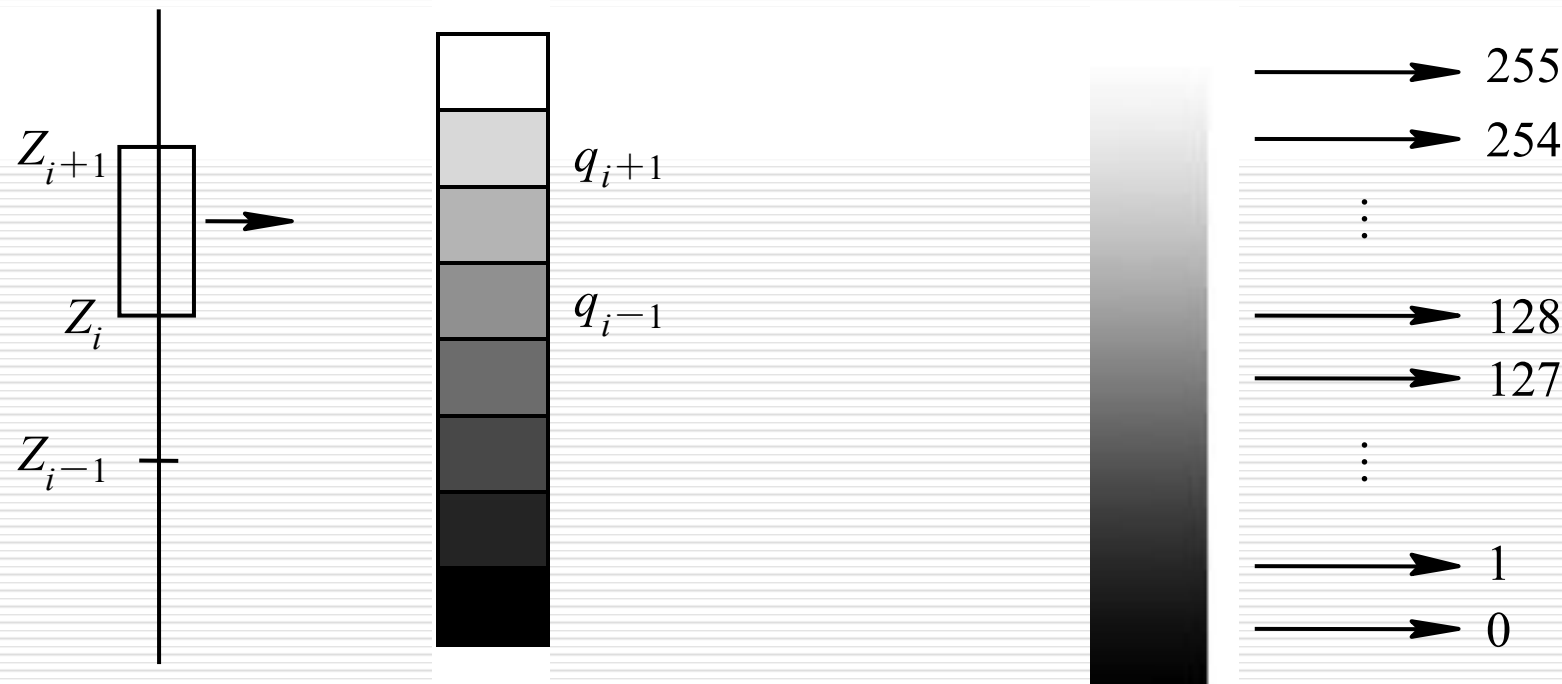
量 化

模拟图像经过采样后，被分割成空间上离散化的像素，但像素值（即灰度值）仍是连续量。

把采样后所得的各像素的灰度值从模拟量到离散量的转换称为图像灰度的量化。



量化示意图:



连续灰度值
灰度标度

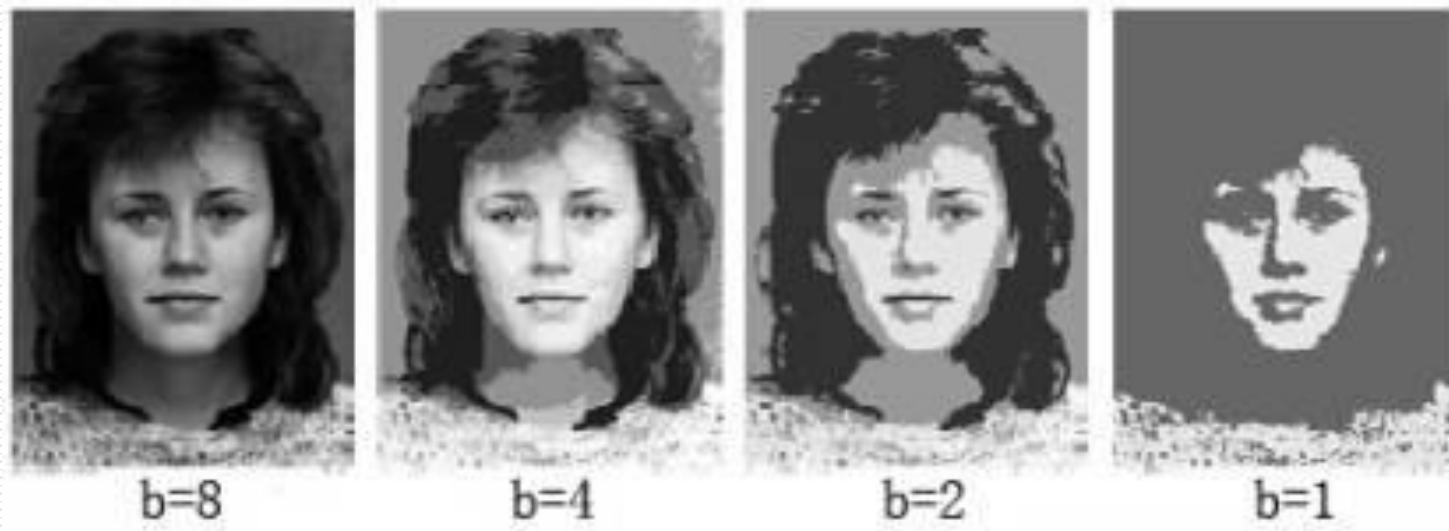
量化值 (整数值)
灰度量化

(a) 量化; (b) 量化为8 bit

上图 说明了量化过程。若连续灰度值用 z 来表示, 对于满足 $z_i \leq z \leq z_{i+1}$ 的 z 值, 都量化为整数 q_i 。 q_i 称为像素的灰度值, z 与 q_i 的差称为**量化误差**。

量化参数的选择

- 量化级数



不同量化级别对图像质量的影响

- ◆ 量化等级越多，所得图像层次越丰富，灰度分辨率高，图像质量好，但数据量大。
- ◆ 量化等级越少，图像层次欠丰富，灰度分辨率低，会出现假轮廓现象，图像质量变差，但数据量小。



-
- 采样点数越多，图像质量越好，但占空间大。
 - 当图像的采样点数一定时，量化级数越多，图像质量越好。

灰度值：表示像素明暗程度的整数。

灰度级：一幅数字图像中不同灰度值的个数称为**灰度级**，用G表示。

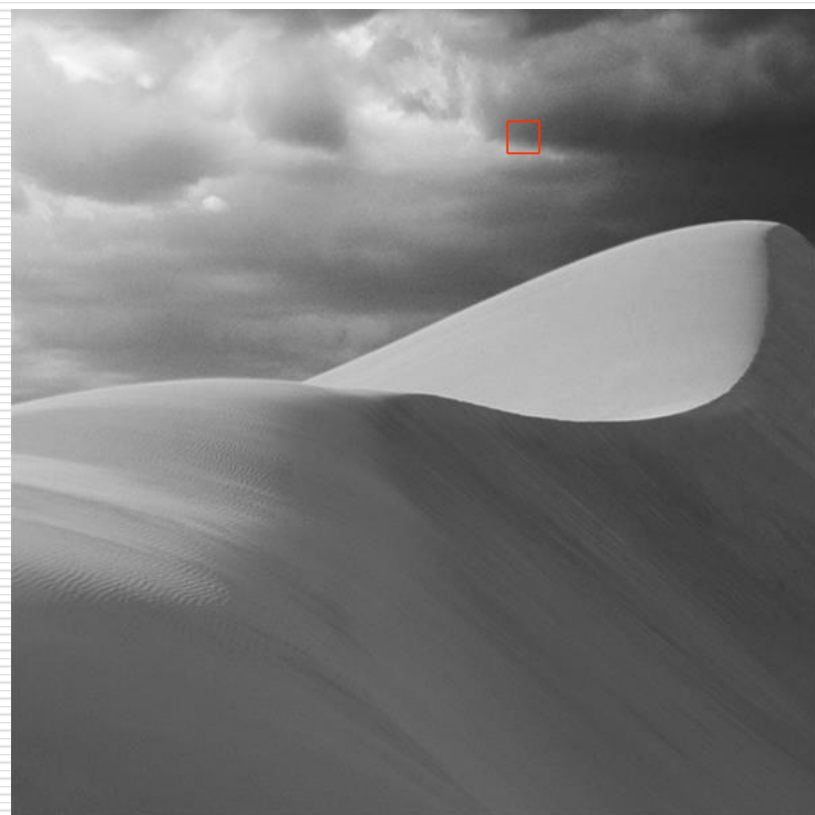
一般来说， $G=2^b$ ，b为正整数，表示存储图像像素灰度值所需的**比特位数**。

若一幅数字图像的量化灰度级数 $G=256=2^8$ 级，灰度取值范围一般是 $0\sim 255$ 的整数，由于用8bit就能表示灰度图像像素的灰度值，因此常称为**8bit量化**。

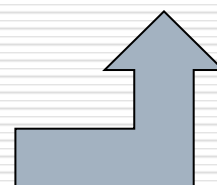
图像数字化后， 用矩阵表示。

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

像元、像素或图像元素
值：灰度值或亮度值

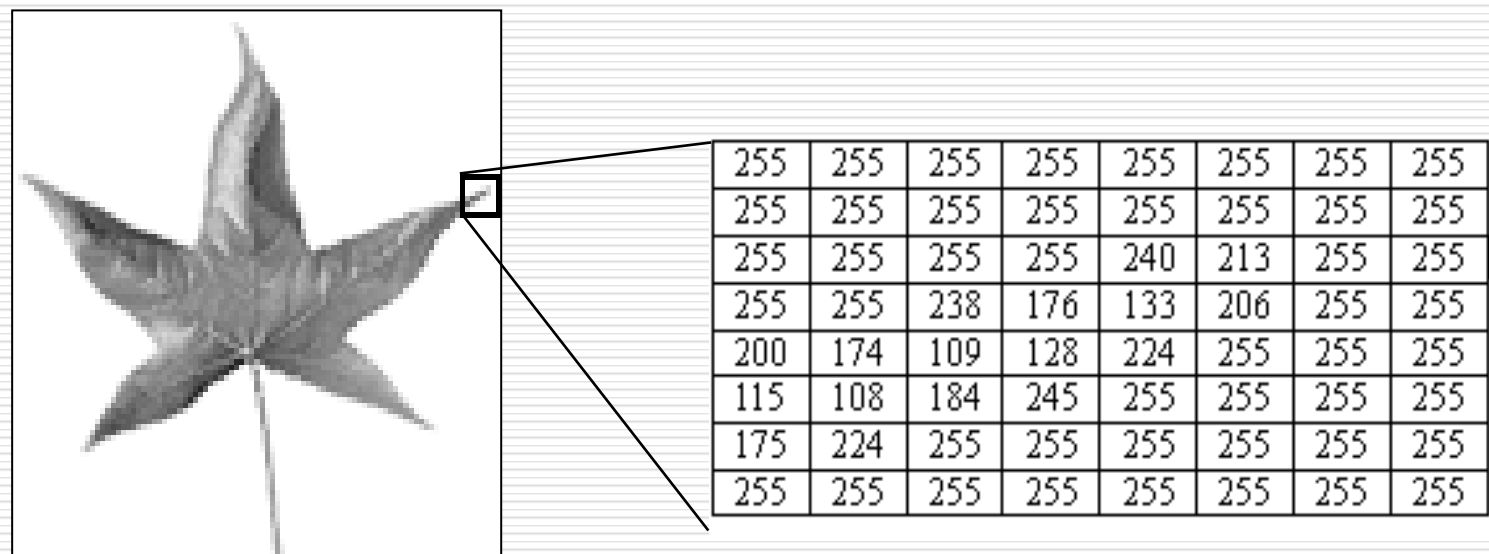


130	146	133	95	71	71	62	78
130	146	133	92	62	71	62	71
139	146	146	120	62	55	55	55
139	139	139	146	117	112	117	110
139	139	139	139	139	139	139	139
146	142	139	139	139	143	125	139
156	159	159	159	159	146	159	159
168	159	156	159	159	159	139	159



图像的分辨率(图像的大小):

指该图像水平和垂直方向的像素点，实际上就是该图像包含的像素的总数。如：400*300



课堂练习题：

1. 存储一幅分辨率为 $1024*768$ ，256个灰度级的灰度图像，在无压缩的情况下，需要 $1024*768*8$ bit 的存储空间？

1.3 数字图像的分类与描述

彩色图像



灰度图像



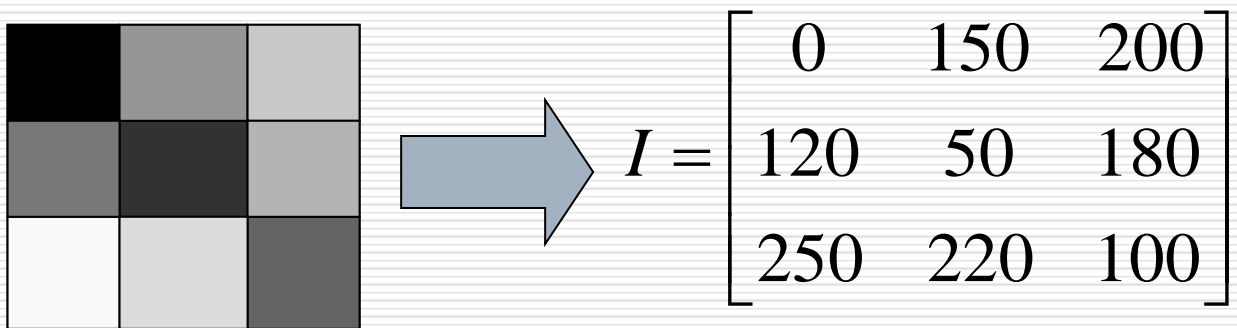
二值图像



A. 灰度图像

灰度图像是指每个像素的信息由一个量化的灰度级来描述的图象，**没有彩色信息**。

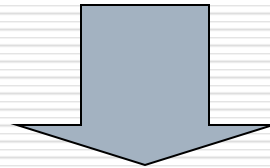
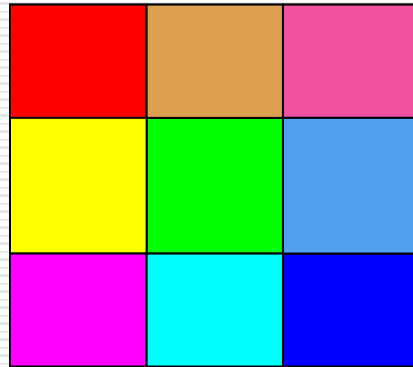
在灰度图像中，像素灰度级用8 bit表示，所以每个像素都是介于黑色和白色之间的256（ $2^8=256$ ）种灰度中的一种。



B. 彩色图像

彩色图像是指每个像素的信息由**RGB三原色**构成的图象。

彩色图像的像素是矢量，它通常由3个彩色分量组成，彩色图像用**三个矩阵**来表示。



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

$$G = \begin{bmatrix} 0 & 160 & 80 \\ 255 & 255 & 160 \\ 0 & 255 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 80 & 160 \\ 0 & 0 & 240 \\ 255 & 255 & 255 \end{bmatrix}$$



153	156	159	170	150	151	175	176
150	154	159	166	156	158	177	178
147	153	158	162	156	168	180	188
168	175	175	174	177	182	187	183
225	225	219	217	216	218	223	227
225	224	221	220	214	215	222	225
240	233	226	223	219	220	224	229
233	231	229	226	220	220	227	230

红色分量

178	176	176	176	176	205	216	226
179	178	175	180	177	200	223	231
174	175	178	184	181	189	217	224
208	203	208	196	193	197	216	225
212	210	215	202	192	196	207	218
211	212	212	210	198	194	207	210
224	227	224	214	197	196	213	220
228	231	233	220	202	197	210	217

绿色分量

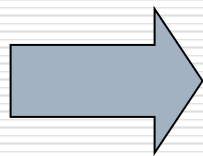
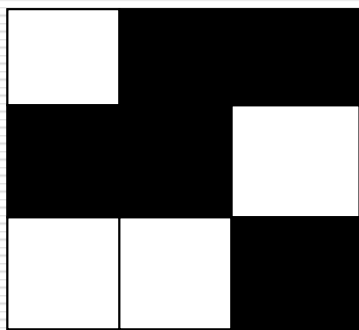
180	177	187	190	190	220	225	231
182	184	179	188	192	217	239	233
182	185	190	191	194	207	229	235
219	215	218	198	198	205	220	237
211	214	218	202	192	195	212	234
217	214	213	210	194	192	214	238
222	225	226	214	197	200	216	230
228	230	230	225	200	206	212	220

蓝色分量

C. 二值图像(单色图像)

为了减少计算量，常将灰度图像转为二值图像处理。

二值图像**只有黑白两种颜色**，一个像素仅占1bit，0表示黑，1表示白，或相反。



$$I = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$



3. 数字图像处理的目的

(1) 易于存储和传输

对图像数据进行变换、编码和压缩，以便于图像的存储和传输。

将图像存储到数码相机，从火星传回一幅图片

(2) 显示和打印需要

调整图片大小，色调等

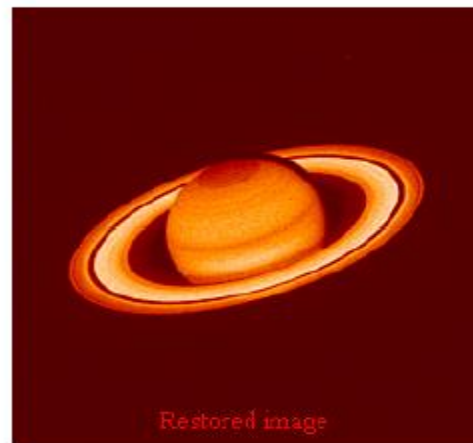
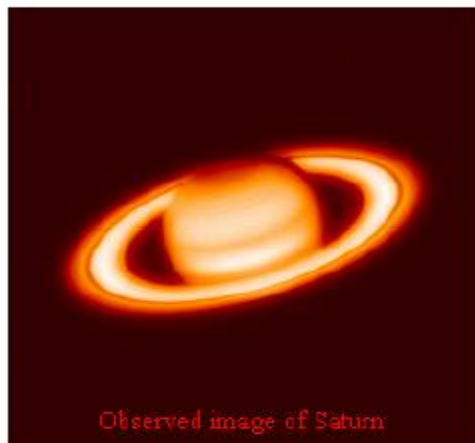
(3) 增强和恢复

如从老的照片中去除痕迹，在X光照片中提高肿瘤的可视性

(4) 提取有用信息

提取图像中所包含的某些特征或特殊信息，以便于计算机分析，例如，常用作模式识别、计算机视觉的预处理等
如从信封上自动获取邮政编码，从航空影像上测量水的污染性

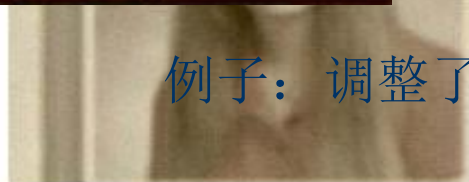
Restoration of image from Hubble Space Telescope



for photo restaur



例子：调整了亮度和对比度



Degraded image



Restored image

4. 数字图像处理的主要研究内容

- (1) 图像变换
- (2) 图像增强
- (3) 图像复原
- (4) 图像编码压缩
- (5) 图像（边缘检测与）分割
- (6) 图像分析

(1) 图像变换

图像变换的目的：

处理问题简化、有利于特征提取、加强对图像信息的理解。

傅里叶变换

离散余弦变换

K-L变换

小波变换

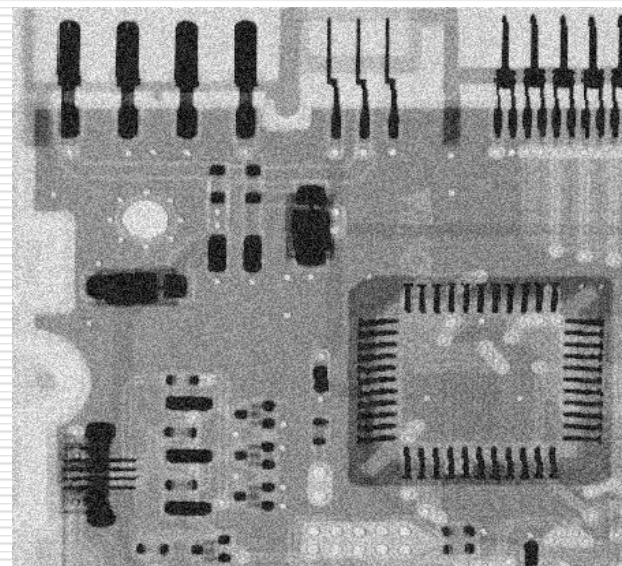
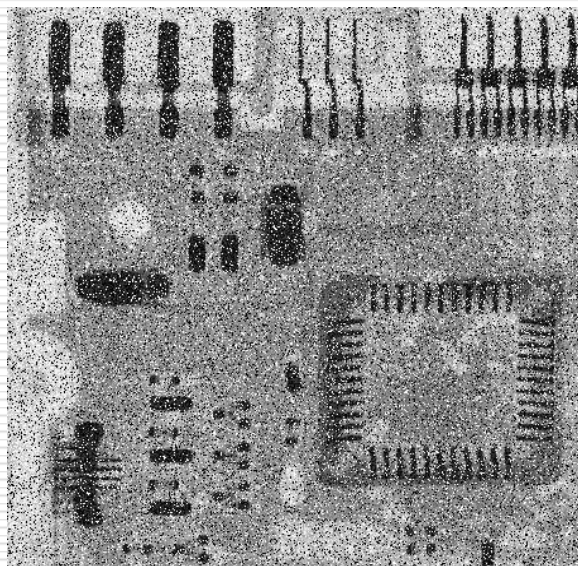
(2) 图像增强

目的是提高图像质量，主要是突出图像中感兴趣的**目标部分**，如强化图像高频分量，可使图像中的轮廓清晰，细节明显；而强化图像低频分量，可减少图像中的噪声的影响等。



(3) 图像复原

试图利用退化过程的先验知识，去恢复已被退化图像的本来面目。





(4) 图像编码压缩

数字图像的特点之一是数据量庞大。

图像编码主要是为了减少描述图像的数据量，以便节省图像传输、处理的时间、减少占用的存储器容量。



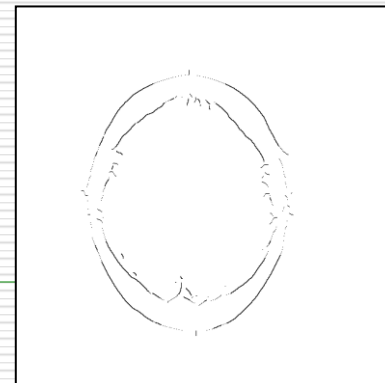
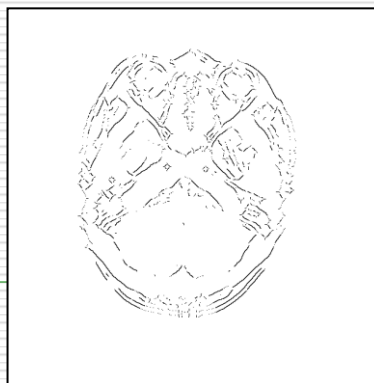
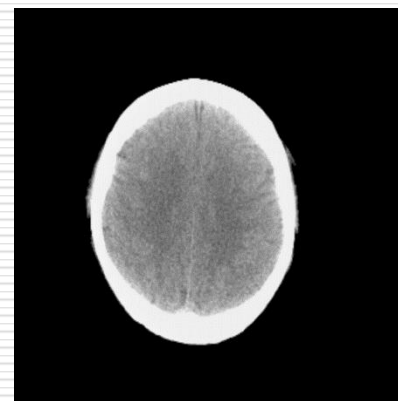
256K



21K

(5) 图像分割

把图像中有意义的特征部分提取出来。如图像中的边缘、区域等，为进一步进行图像识别、分析和理解提供条件。
例如，一幅医学图像中显示出正常的或有病变的各种器官和组织。





(6) 图像分析

图像分析主要是通过从图像中提取有用的数据或信息，识别图像中要找的对象，或对图像进行分类。

