



数字图像处理

Digital Image Processing

电信学院 彭勤牧

pengqinmu@hust.edu.cn

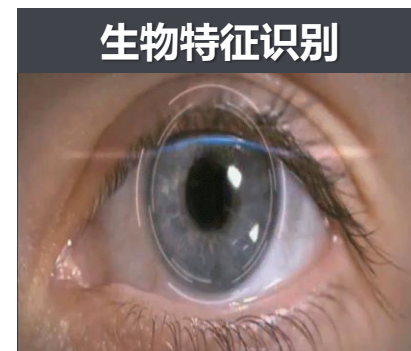
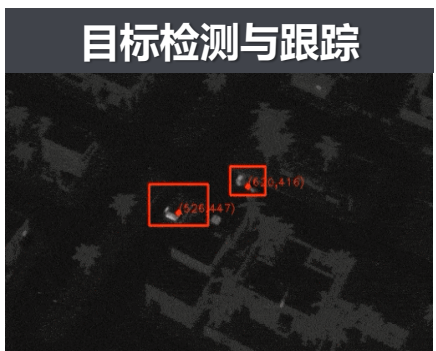
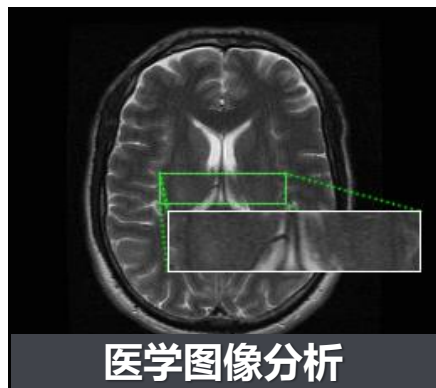
主页: <http://bmal.hust.edu.cn/info/1005/1092.htm>



数字图像处理教学目的

- 了解数字图像处理的基本原理，熟悉基本的数字图像处理算法，拓展视野；
- 为从事相关行业及基于该基础的前沿研究打下良好的基础。

典型图像处理应用





安排

■ 课程

- 介绍数字图像处理基本概念、理论和方法
- 要求初步掌握图像处理和基本算法
- 能将所学知识综合应用于对图像信息的检测、分析、处理和控制等图像工程之中。

■ 使用教材

- 《数字图像处理》（第三版）【美】冈萨雷斯，电子工业出版社

■ 计划学时

- 讲课40学时和8学时实践（matlab / python）



绪论

- 数字图像处理的研究目的
- 数字图像处理的重要性
- 数字图像处理的起源
- 数字图像处理的应用
- 数字图像的特点
- 数字图像处理技术
- 图像技术及分类
- 数字图像处理的发展趋势



数字图像处理研究目的

- 对两大应用领域进行研究
 - 便于人们分析而对图像信息进行改进；
 - 为使机器自动理解而对图像数据进行存储、传输及显示。



数字图像处理的重要性

- 1) 人类传递信息的主要媒介是语音和图像。

作为传递信息的重要媒体和手段——图像信息是十分重要的，俗话说“百闻不如一见”。

根据美国哈佛商学院有关研究人员分析资料表明，人的大脑每天通过五种感官接受外部信息的比例分别为：味觉1%，触觉1.5%，嗅觉3.5%，听觉11%，以及视觉83%。



数字图像处理的重要性

- 2) 图像信息处理是人类视觉延续的重要手段:

人的眼睛只能看到可见光部分，但就目前科技水平看，能够成像的并不仅仅是可见光，一般来说可见光的波长为 $0.38\ \mu m \sim 0.8\ \mu m$ ，而迄今为止人类发现可成像的射线已有多种，如：

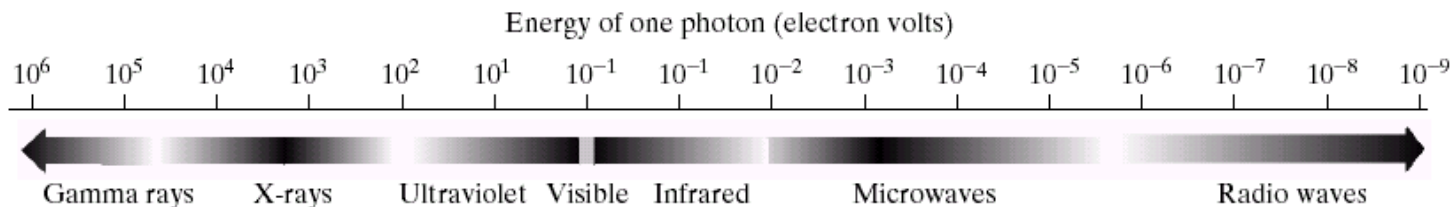


FIGURE 1.5 The electromagnetic spectrum arranged according to energy per photon.

γ 射线: $0.003 \text{ nm} \sim 0.03 \text{ nm}$;

x 射线: $0.03 \text{ nm} \sim 3 \text{ nm}$;

紫外线: $3 \text{ nm} \sim 300 \text{ nm}$;

红外线: $0.8 \mu\text{m} \sim 300 \mu\text{m}$;

微波 $0.3 \text{ cm} \sim 100 \text{ cm}$;

×光

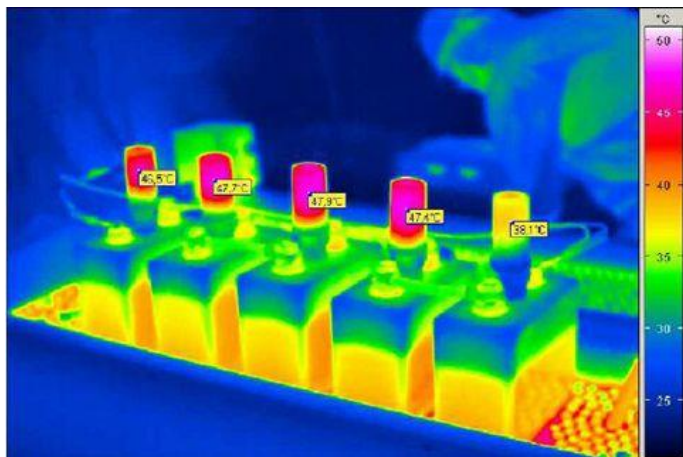


图片来源：视觉中国 www.vcg.com

紫外



红外



微波





数字图像处理的重要性

- 3) 图像处理技术对国计民生有重要意义

图像处理技术发展到今天，许多技术已日趋成熟。在各个领域的应用取得了巨大的成功和显著的经济效益。如在工程领域、工业生产、军事、医学以及科学研究中的应用已十分普遍。



数字图像处理的起源

- 数字图像处理的历史可追溯至二十世纪二十年代。最早应用之一是在**报纸业**，当时，引入巴特兰电缆图片传输系统，图像第一次通过海底电缆横跨大西洋从伦敦送往纽约传送一幅图片。为了用电缆传输图片，首先进行编码，然后在接收端用特殊的打印设备重现该图片。按照1929年的技术水平，如果不压缩，需要**一个多星期**，压缩后传输时间减少到**3个小时**。

数字图像处理的起源



1929年通过海底电缆从伦敦到纽约传输的一幅照片



数字图像处理的起源

数字图像处理的历史与数字计算机的发展紧密相连。事实上，数字图像要求如此之大的存储和计算能力，以致于在图像处理中必须依靠数字计算机及包括数据存储及传输方面的支撑技术的发展。



数字图像处理的起源

第一台能够进行图像处理的大型计算机出现在20世纪60年代。数字图像处理的起源可追溯至利用这些大型机开始的空间研究项目，可以说大型计算机与空间研究项目是数字图像处理发展的原动力。



数字图像处理的起源

利用计算机技术改善空间探测器拍摄的图像的工作开始于1964年，美国加利福尼亚的喷气推进实验室（帕薩迪那，加里福尼亚）对太空船“徘徊者7号”传送的月球图像进行了处理，以校正飞行器上电视摄像机中各种类型的图像畸变。



数字图像处理的起源

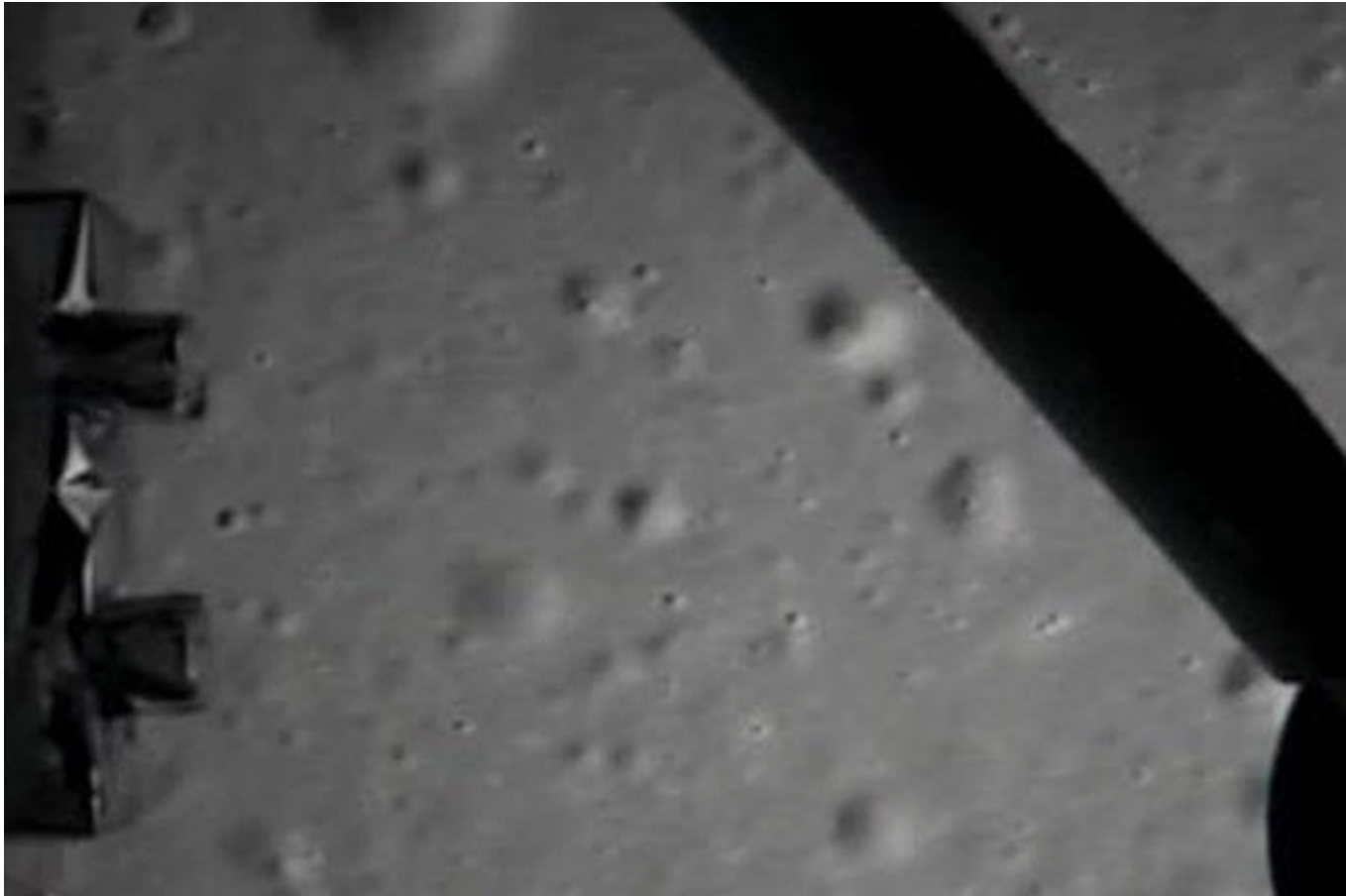
下图示出了由徘徊者7号在1964年7月31日上午（东部白天时间）9点09分在光线影响月球表面约17分钟时摄取的第一张月球图像。这也是美国航天器取得的第一幅月球图像。

数字图像处理的起源

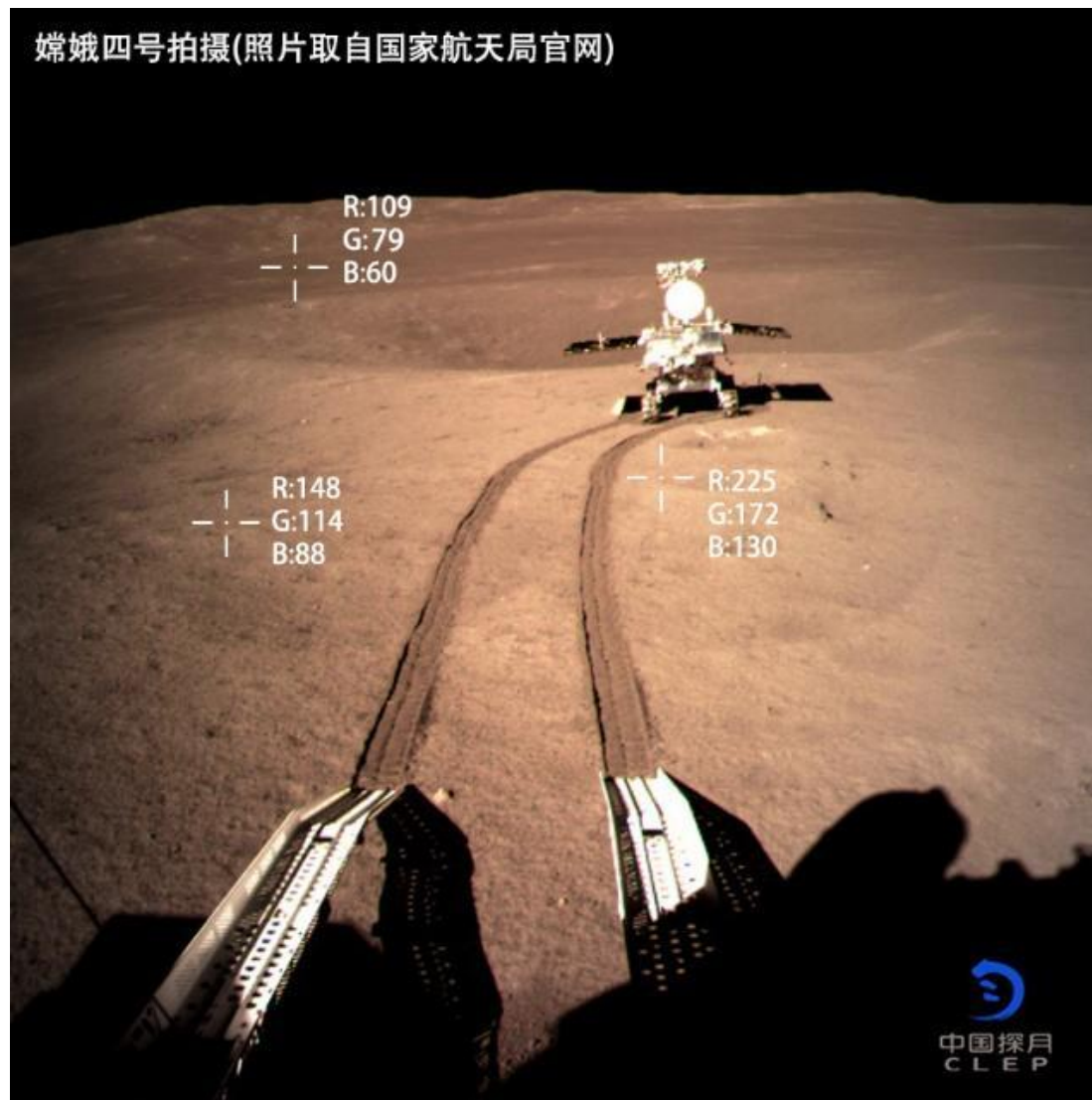


FIGURE 1.4 The first picture of the moon by a U.S. spacecraft. *Ranger 7* took this image on July 31, 1964 at 9:09 A.M. EDT, about 17 minutes before impacting the lunar surface. (Courtesy of NASA.)

第一张月球图像



嫦娥四号拍摄(照片取自国家航天局官网)

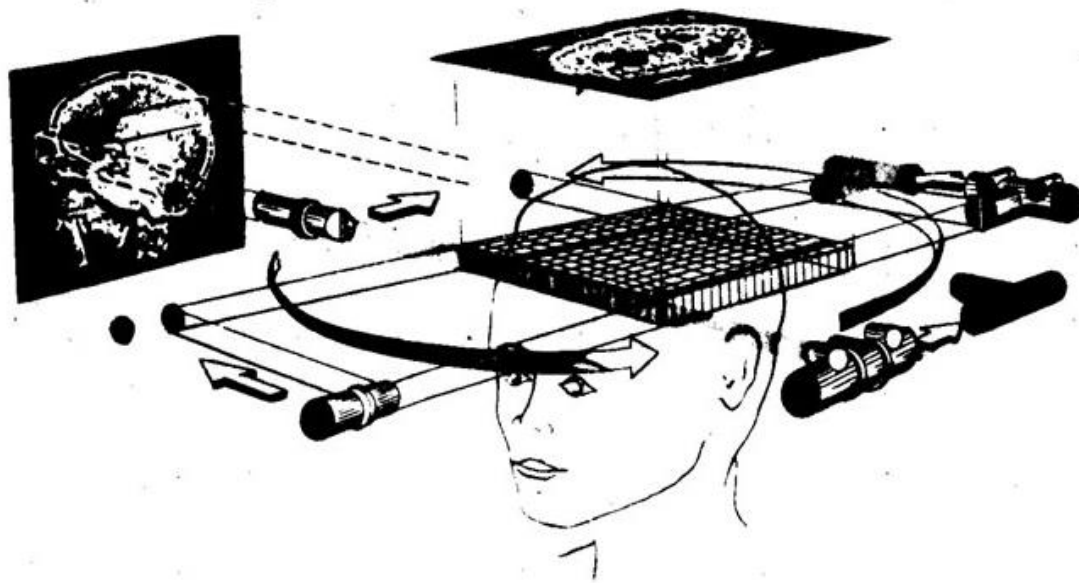




数字图像处理的起源

与空间应用同时，数字图像处理技术在20世纪60年代末和70年代初开始用于医学图像、地球遥感监测和天文学领域。

早在20世纪70年代计算机轴向断层(CAT)、简称**计算机断层(CT)**是图像处理在医学诊断应用中最重要的事件之一。



计算机断层应用

这些切片组成了物体内部的再现图像。

断层技术是霍斯菲尔德(**G N. Hounsfield**)和科马克(**Allan M. Cormack**)教授分别发明的，他们共同获得**1979**年诺贝尔医学奖。



数字图像处理应用

从20世纪60年代至今，数字图像处理技术发展迅速，目前已成为工程学、计算机科学、信息科学、统计学、物理、化学、生物学、医学甚至社会科学等领域中各学科之间学习和研究的对象。如今图像处理技术已给人类带来了巨大的经济和社会效益。不久地将来它不仅在理论上会有更深入的发展，在应用上亦是科学研究、社会生产乃至人类生活中不可缺少的强有力的工具。



应用举例

- 1 视频领域
 - 视频清晰化
 - 生物医学应用
 - 视频监视
- 2 图像处理
 - 图片清晰化
 - 卫星遥感
 - 其他应用

大雾的清晰化 —— 视频清晰化

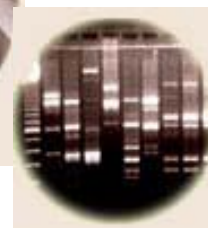
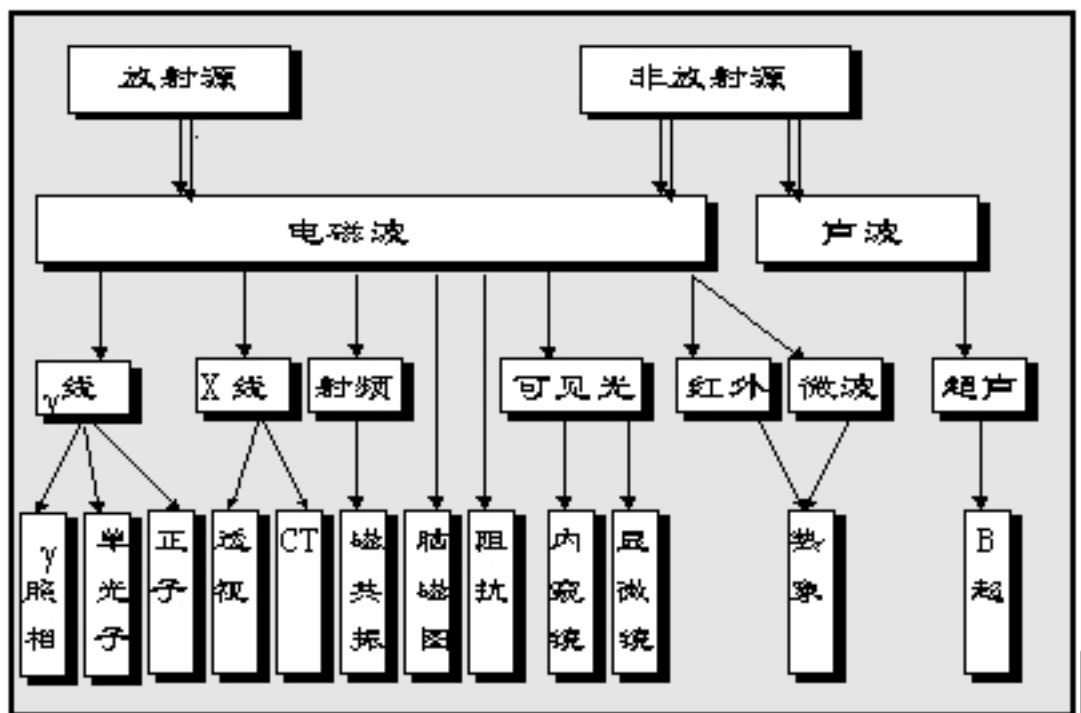


直方图均衡化的过增强



细节恢复

生物医学



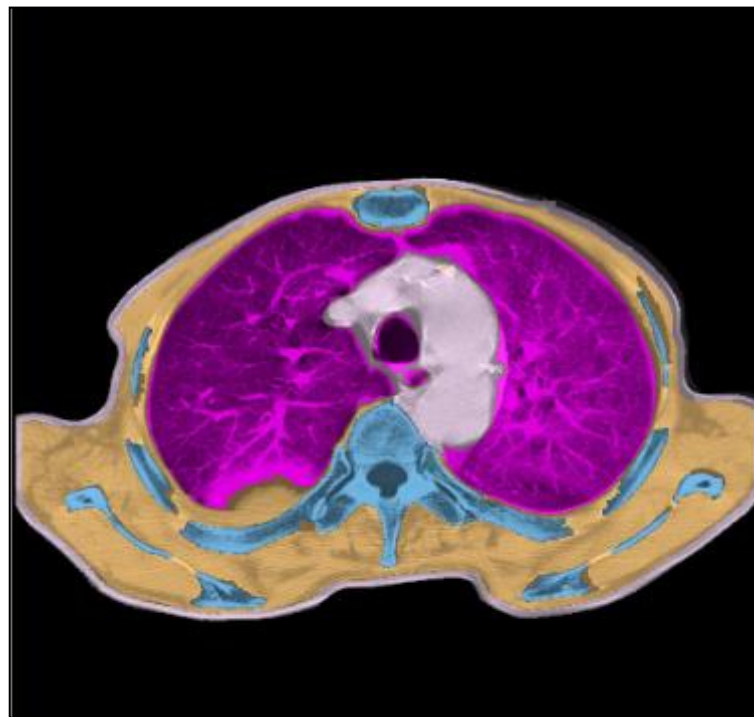
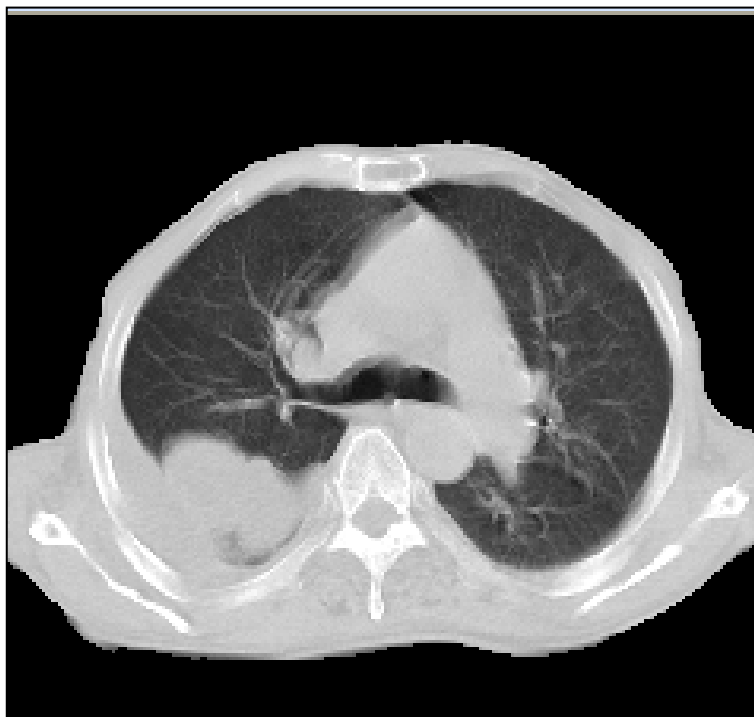
X射线、超声、显微镜图像分析，内窥镜图、温谱图分析，CT及核磁共振图分析等。



三维彩色CT技术

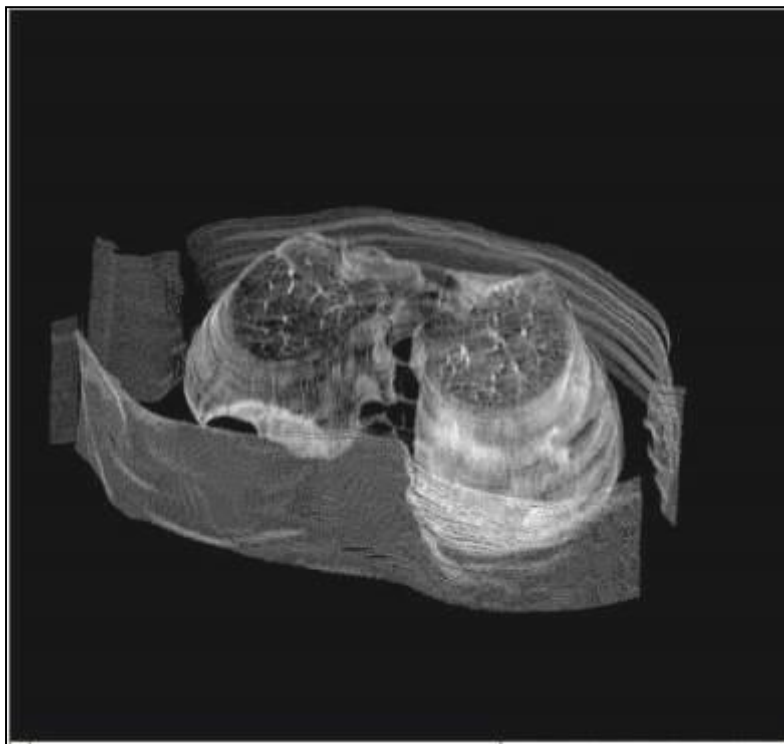
- **CT**是目前使用非常广泛的医学影像技术，该技术可以很大程度地辅助医生进行科学的手段。
- 为了提高早期诊断率，影像的处理成为非常重要的课题。

彩色CT系统



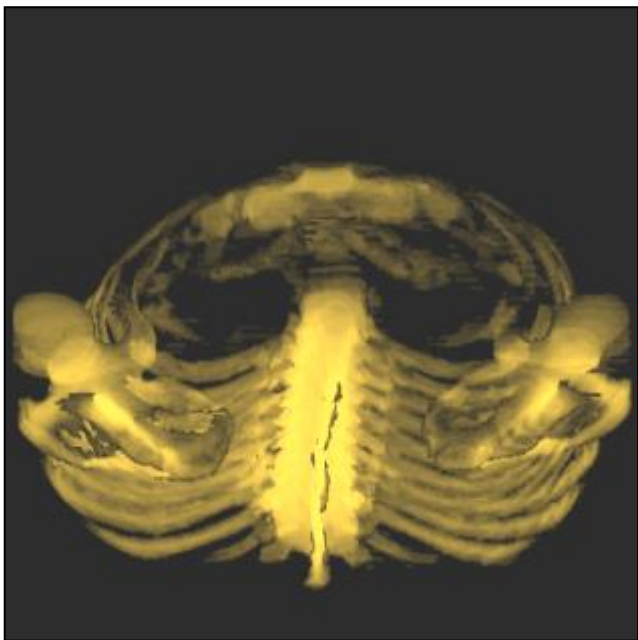
多窗伪彩色增强

彩色CT系统

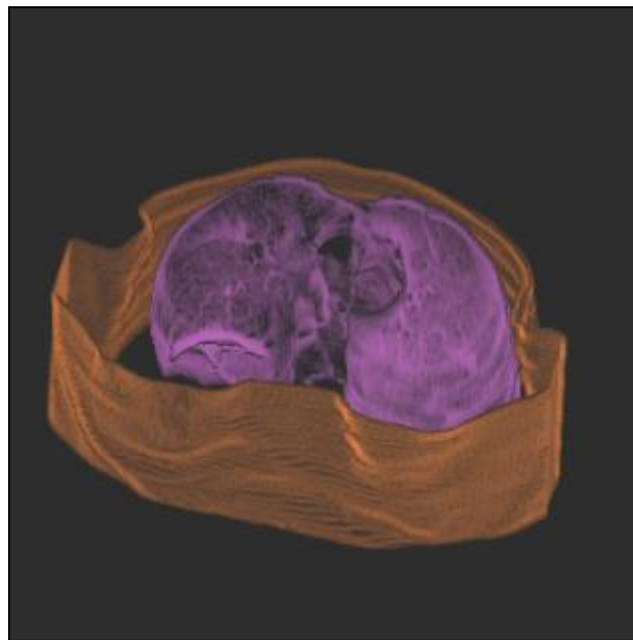


多器官三维成像

彩色CT系统

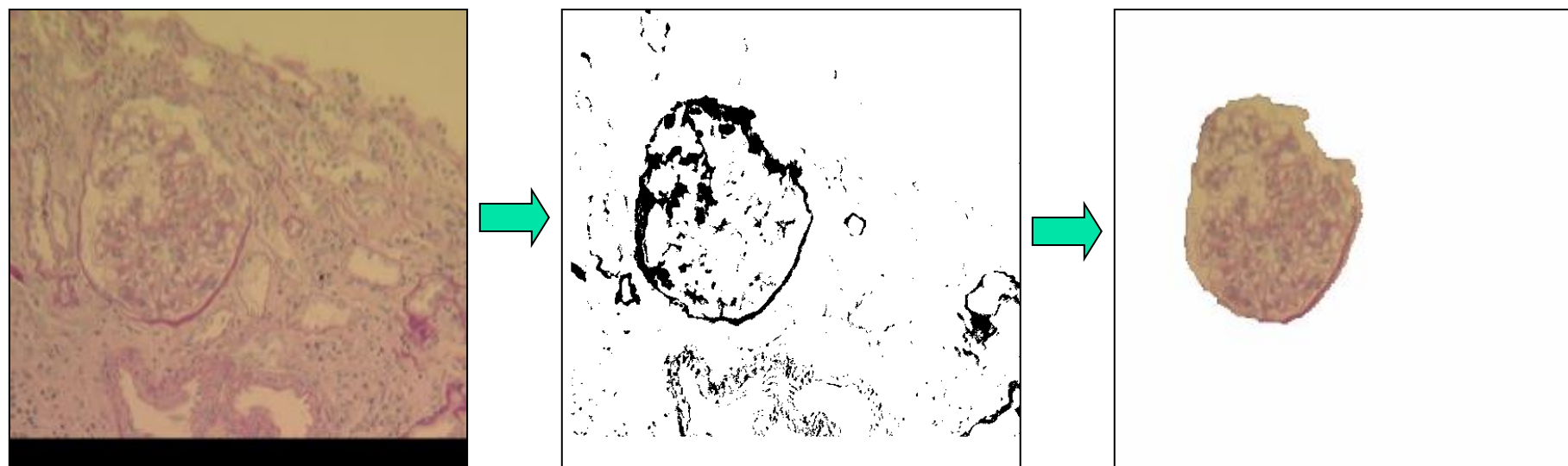


单器官伪彩显示



多器官伪彩显示

肾组织切片图像的处理与识别



通过图像分割技术，获得肾小球区域的边界（闭合），最终对所提取出的肾小球内部的细胞核进行定性与定量分析

视频监控 —— 车流检测

- 车流量检测实际上是利用监视用的电子警察，获得当前时候，通过某个监视路段的车辆情况。





视频监控 —— 车流检测

功能如下：

- 背景提取；
- 背景更新；
- 目标车辆提取；
- 目标车辆标识别；
- 车流检测。

视频监控 —— 车流检测中的背景提取



- 采用最大出现频度法进行提取背景。



视频监控 —— 车流检测中的车辆提取



背景差



车辆预提取

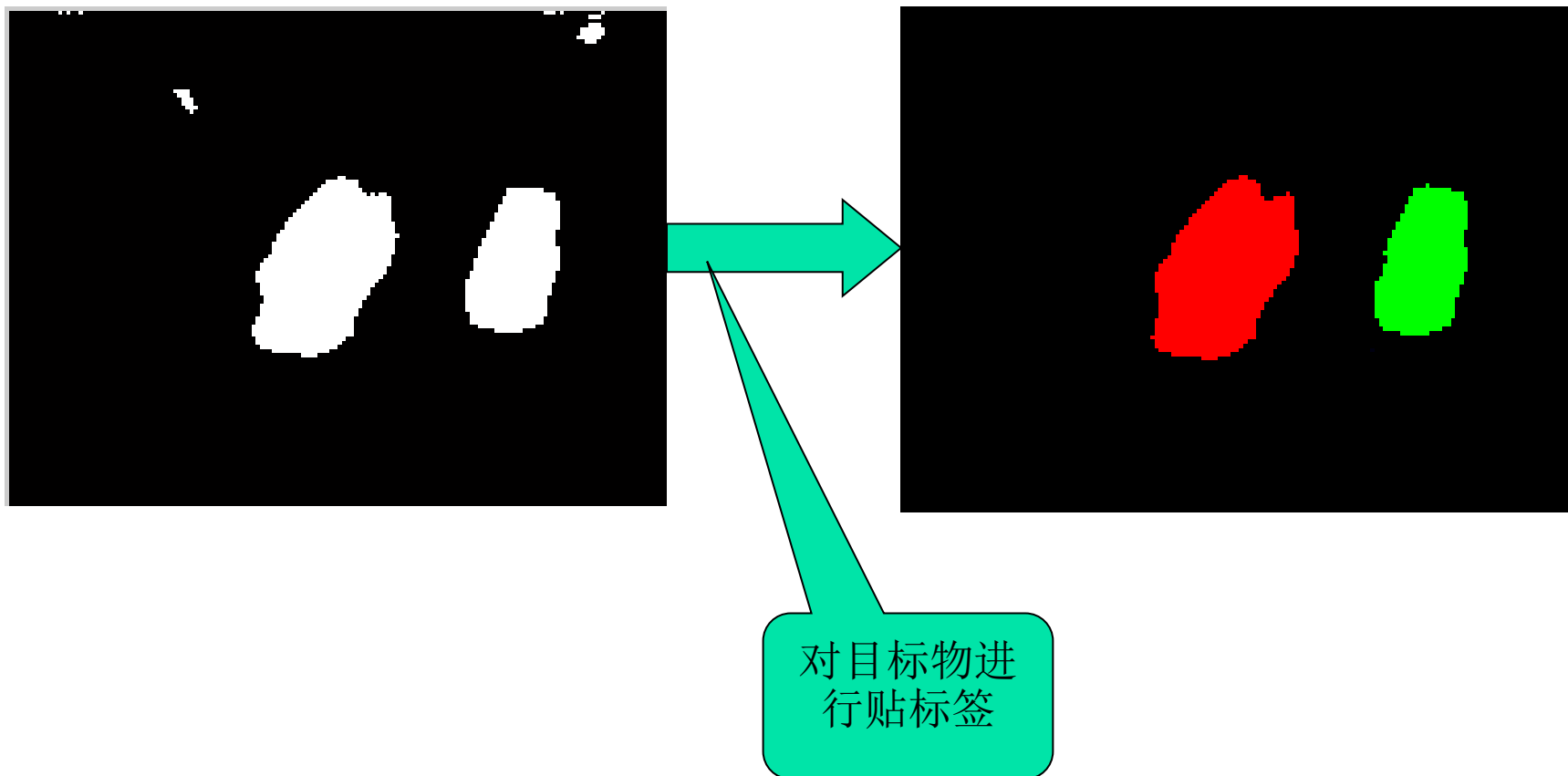


车辆阴影部分

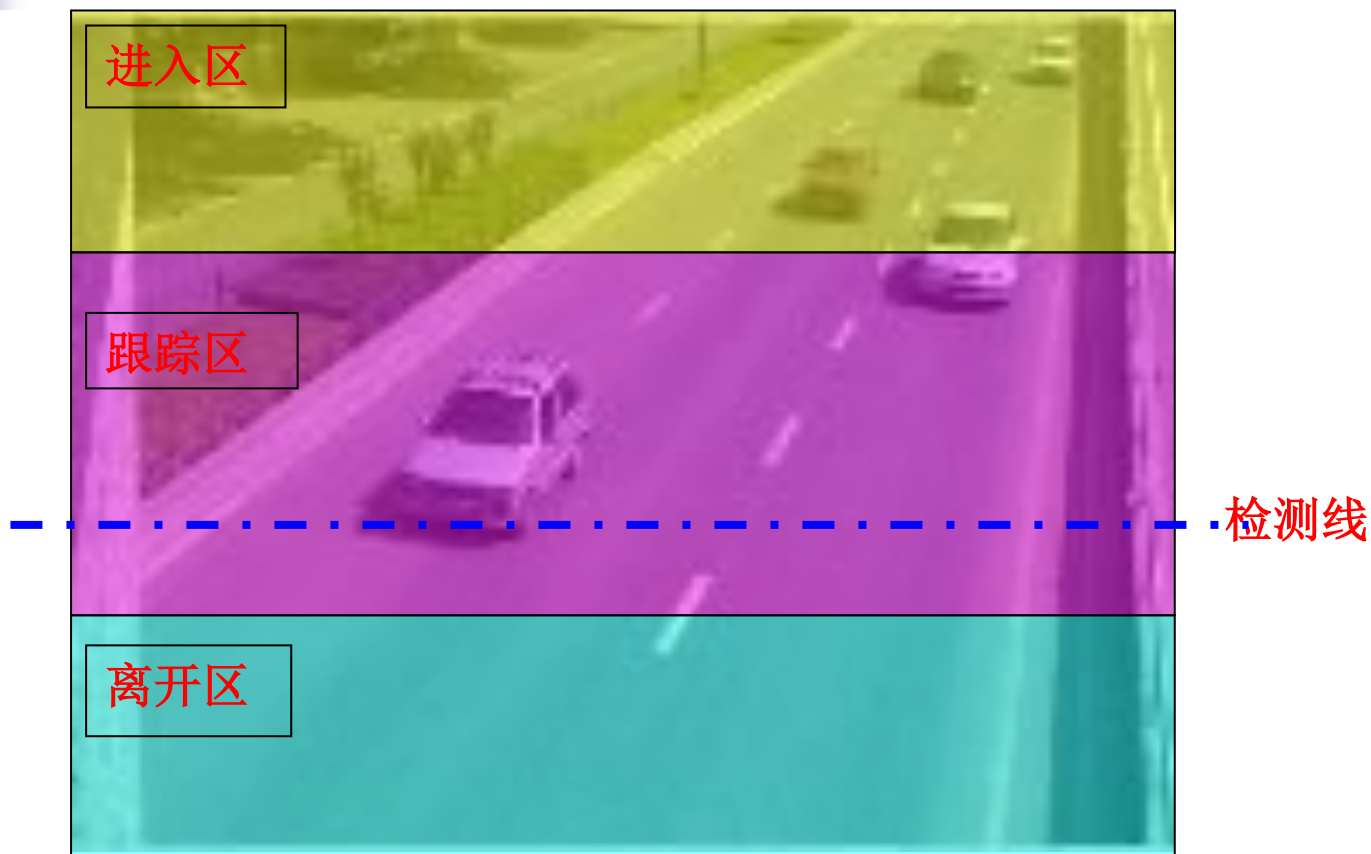


车辆提取结果

视频监控 —— 车流检测中的车辆标识



视频监控——车流检测中的分区检测

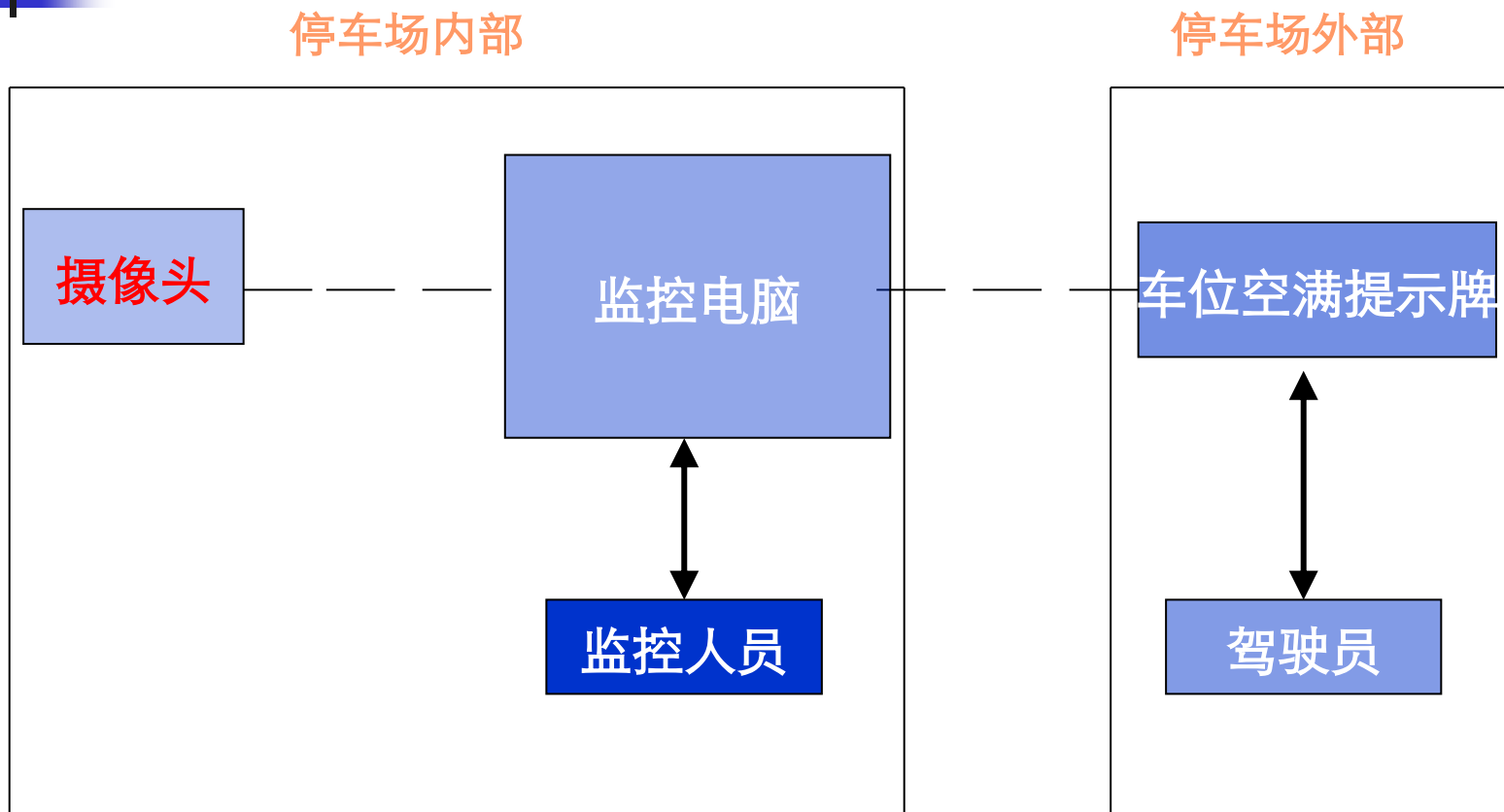


视频监控 —— 停车场监视

- 停车场监视系统要完成两个监视功能：
- 车位的空满状态监视
- 车辆是否违章状态的监视



视频监控 —— 停车场监视

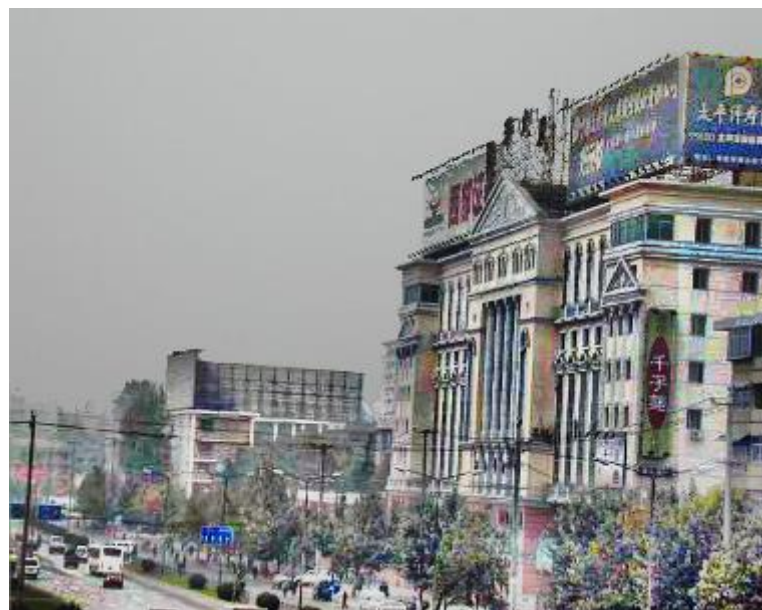


视频监控 —— 停车场监视的显示



图片清晰化

大雾天气下的图像清晰化

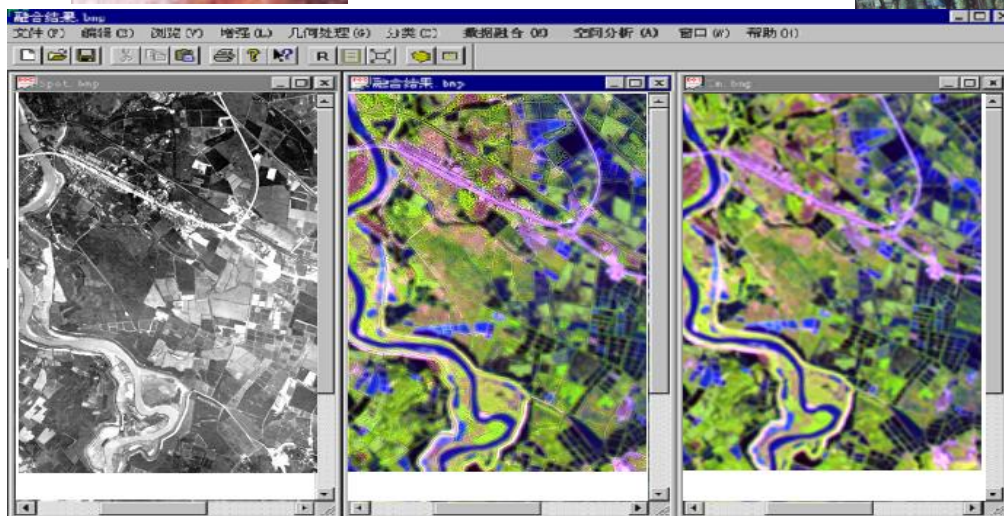


Single Image Haze Removal Using Dark
Channel Prior, CVPR 2009

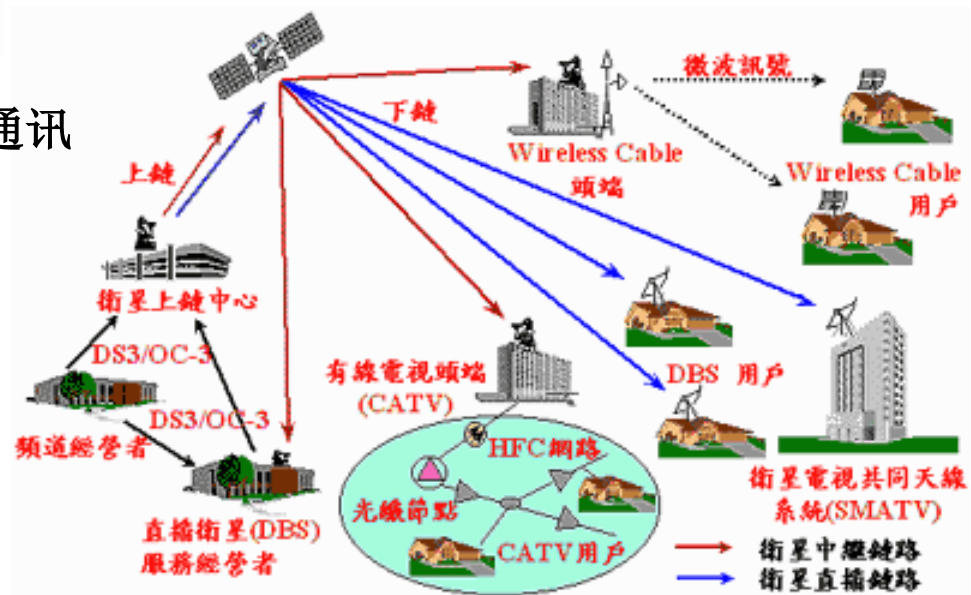
低照度下的景物清晰化



卫星遥感



通讯



公安:



防伪检测



白光正面图

白光背面图



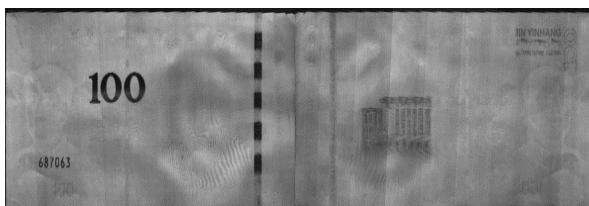
美元白光图
(正面)

美元白光图
(背面)



日元白光图
(正面)

日元白光图
(背面)



红外正面图

红外背面图



美元红外图
(正面)

美元红外图
(背面)



日元红外图
(正面)

日元红外图
(背面)



紫外正面图

紫外反面图



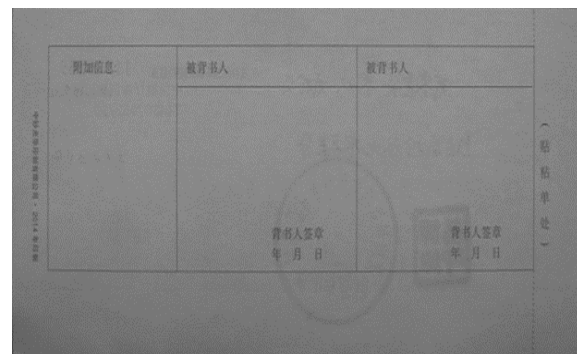
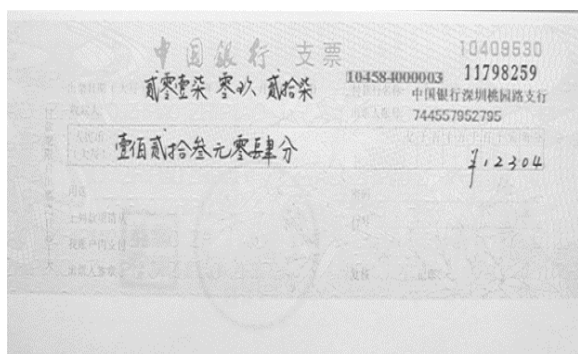
美元紫外图
(正面)

美元紫外图
(背面)

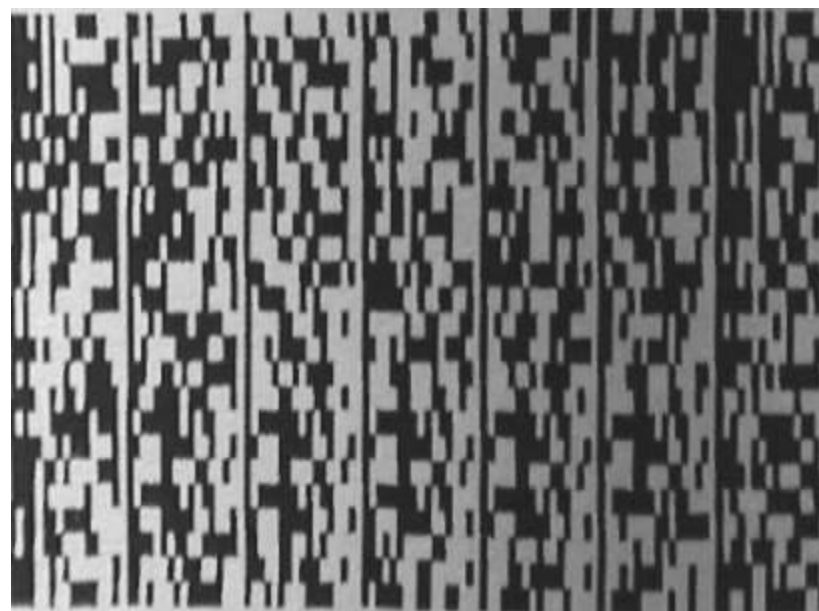


日元紫外图
(正面)

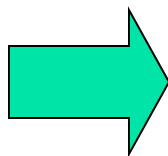
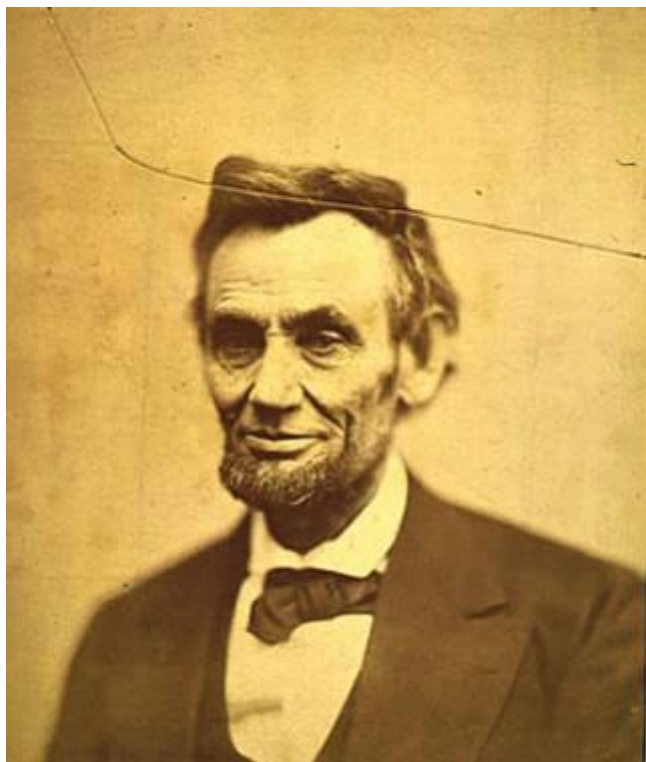
日元紫外图
(背面)



图像的几何畸变校正



照片划痕的修补





数字图像特点

- 信息量大
- 占用频带宽
- 相关性大
- 非客观性



数字图像特点

■ 信息量大

以数目较少的电视图像为例，它一般是由 512×512 个象素、8比特组成，其总数据量为 $512 \times 512 \times 8 = 2097152$ 比特 = 262144 字节 = 256K。

这样大的数据量必须由计算机处理才易胜任，且计算机内存容量要大。为了运算方便常需要几倍的内存。



数字图像特点

■ 占用频带宽

一般语言信息（如电话、传真、电传、电报等）的带宽仅**4KHz**左右，而图像信息所占用频率的带宽要大三个数量级。如普通电视的标准带宽是**6.5MHz**，约等于语言带宽的**1400**倍。所以在摄影、传输、存储、处理、显示等各环节的实现上技术难度大，因而对频带的压缩技术的要求是很迫切的。



数字图像特点

■ 相关性大

每幅图像中不仅相邻像素之间是很不独立的，具有很大的相关性，有时大片大片的像素间具有相同或接近的灰度。

再如电视画面而言，前后两幅图像其相关系数往往在**0.95**以上，因此压缩图像信息的潜力很大。



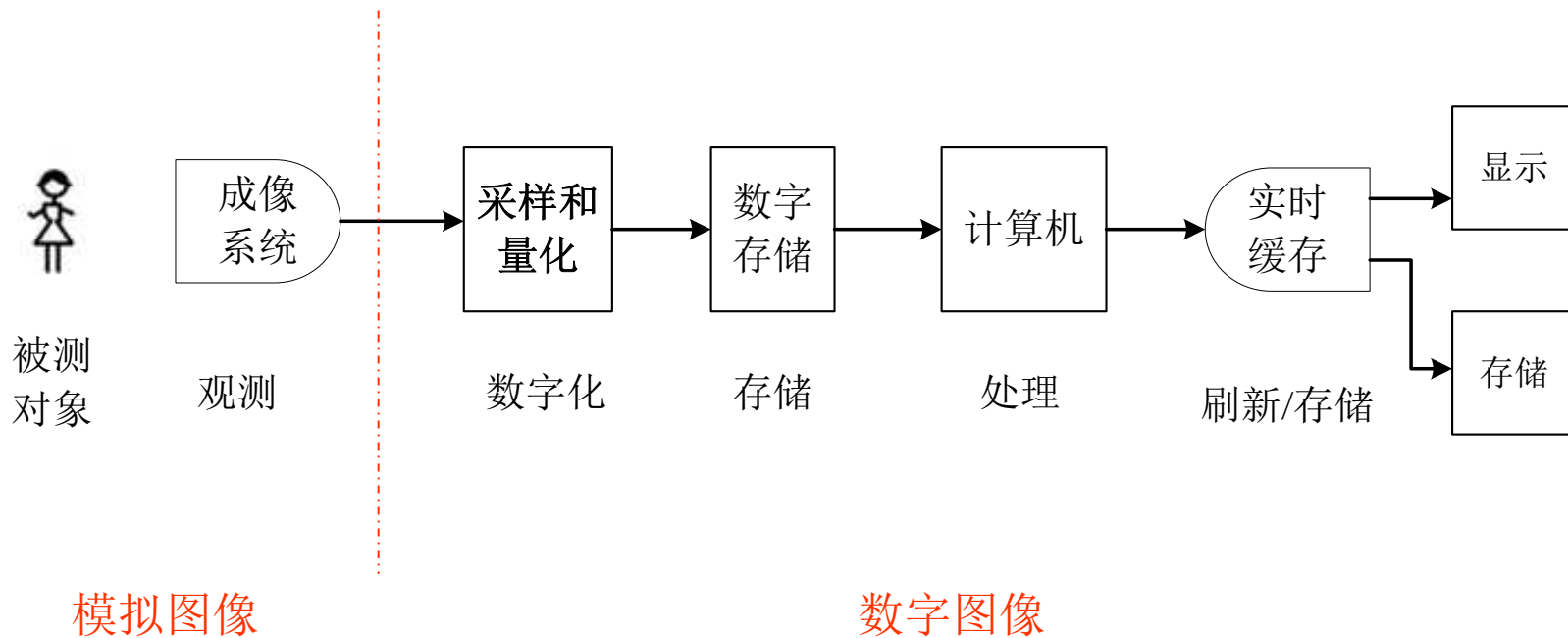
数字图像特点

■ 非客观性

图像信息的最终接受器是人的视觉系统。由于图像信息和视觉系统都十分复杂，它与环境条件、视觉特性、情绪、精神状态、知识水平都有关。（例如航空照片判读）因此要求图像系统与视觉系统有良好的“匹配”，所以必须研究图像的统计规律和视觉特征。

数字图像处理技术

典型的数字图像处理过程



数字图像处理过程

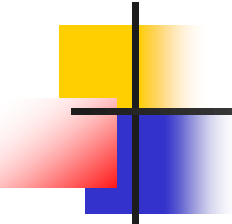


(1) 图像信息的获取

为了在计算机上进行图像处理，必须把作为处理对象的模拟图像转换成数字图像信息。图像信息的获取，一般包括图像的摄取、转换及数字化等几个步骤。该部分主要由处理系统硬件实现。

(2) 图像信息的存储与交换

由于数字图像信息量大，且在处理过程中必须对数据进行存储和交换，为了解决大数据量及交换与传输时间的矛盾，通常除采用大容量机内存存储器进行并行传送，直接存储访问外，还必须采用外部磁盘、光盘及磁带存储方式，从而达到提高处理的目的。该部分组要功能也由硬件完成。



(3) 图像的输出和显示.

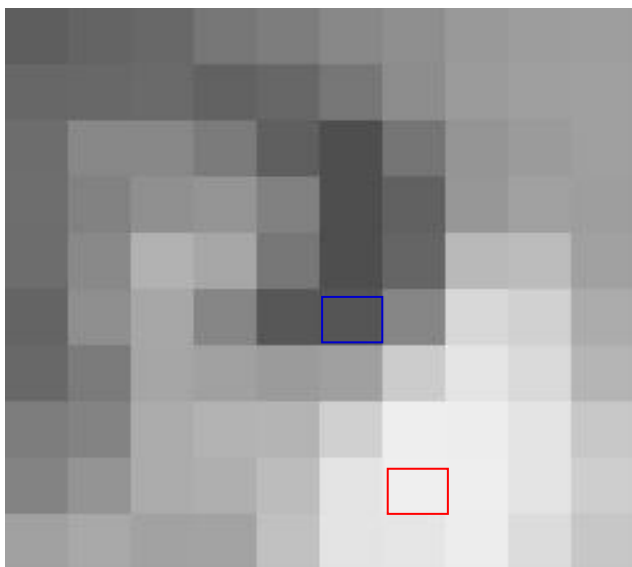
数字图像处理的最终目的是为了提供便于人眼或接收系统解释和识别图像，因此图像的输出和显示很重要。一般图像输出的方式可分为硬拷贝，诸如照相、打印、扫描鼓等，还有所谓的软拷贝，诸如**CRT**监视器及各种新型的平板监视器等。



数据量度单位

- 比特 (bit) , 字节 (byte = 8 bit)
- 千字节 (K byte)
- 兆 (10^6) 字节 (M byte)
- 吉 (10^9) 字节 (G byte)
- 太 (10^{12}) 字节 (T byte)

■ 图象存储格式-矩阵表示 (10*10图像)



94	100	104	119	125	136	143	153	157	158
103	104	106	98	103	119	141	155	159	160
109	136	136	123	95	78	117	149	155	160
110	130	144	149	129	78	97	151	161	158
109	137	178	167	119	78	101	185	188	161
100	143	167	134	87	85	134	216	209	172
104	123	166	161	155	160	205	229	218	181
125	131	172	179	180	208	238	237	228	200
131	148	172	175	188	228	239	238	228	206
161	169	162	163	193	228	230	237	220	199



■ 图象存储格式-用后缀来区分的常用格式

- 原始图像：文件扩展名.raw(没有文件头、只有像素数据)
- **BMP格式**：文件扩展名.bmp(位图，Bitmap))
- **JPEG格式**：文件扩展名.jpg
- **TIFF格式**：文件扩展名.tif
- **GIF格式**：文件扩展名.gif(动画图像)



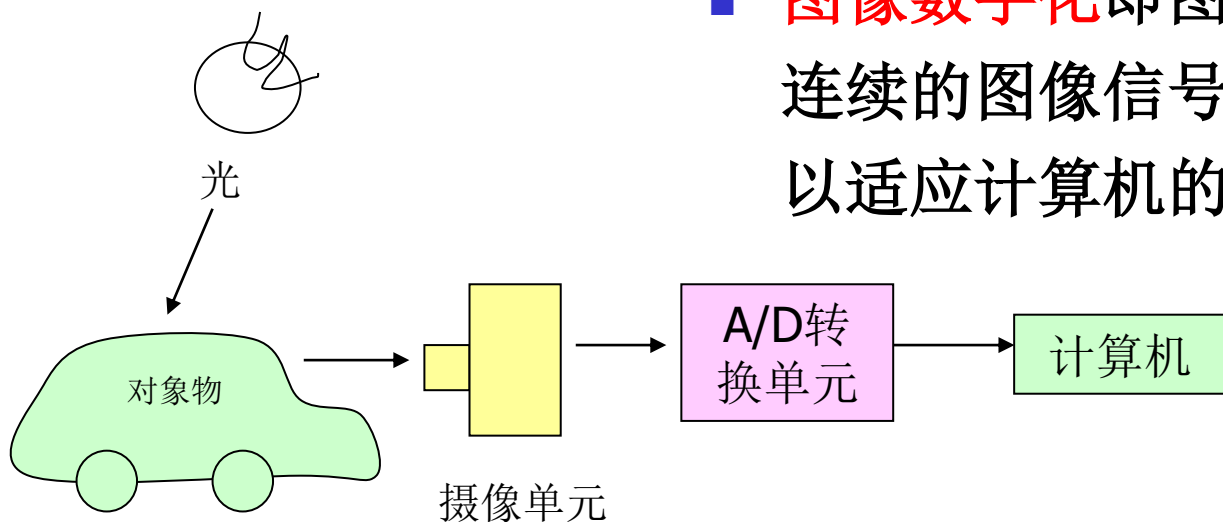
数字图像处理技术

- 1. 图像获取、表示和表现
- 2. 图像压缩编码
- 3. 图像增强
- 4. 图像分割
- 5. 图像重建
- 6. 图像复原

1. 图像获取、表示和表现

- 该过程主要是把模拟图像信号转化为计算机所能接受的数字形式，以及把数字图像显示和表现出来（如打印）。这一过程主要包括摄取图像、光电转换及**数字化**等几个步骤。

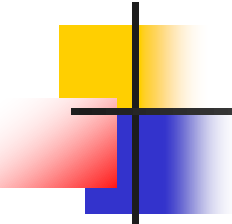
- **图像数字化**即图像采样和量化，是指把连续的图像信号变为离散的数字信号，以适应计算机的处理。





2. 图像压缩编码

数字图像的特点之一是数据量庞大。尽管现在有大容量的存贮器，但仍不能满足对图像数据（尤其是动态图像、高分辨率图像）处理的需要，因此在实际应用中图像压缩是必需的。如果数据不压缩，则在存储和传输中就需要占很大的容量和带宽，因而增加了成本。图像压缩的目的就是压缩数据量。



信噪比: **66.02**

压缩比:**11.83:1**



原图



复原图



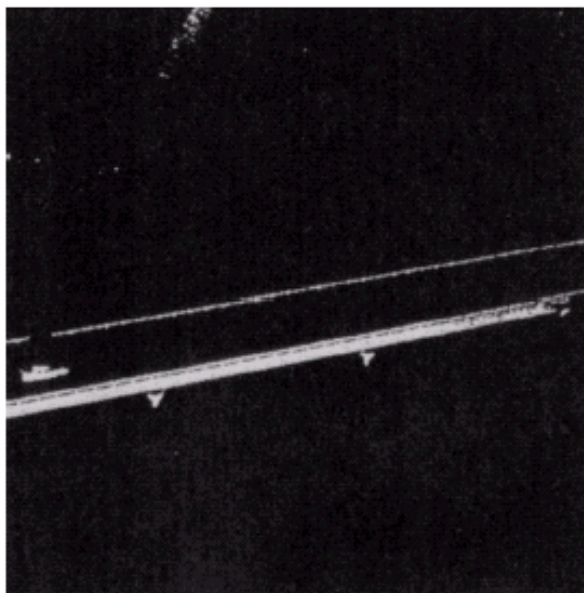
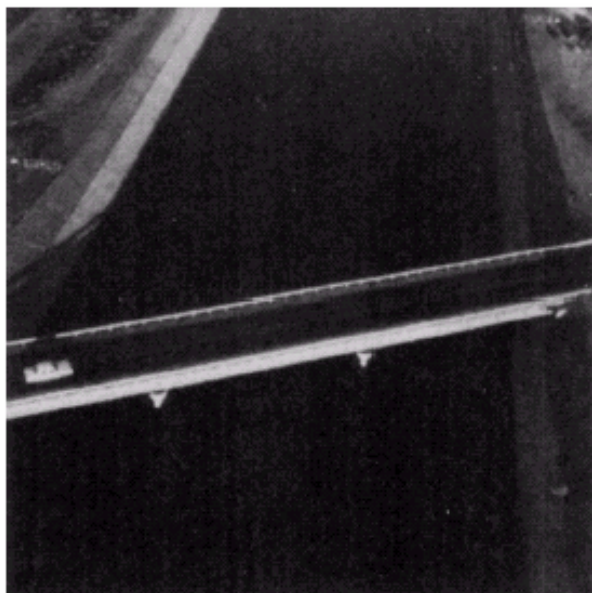
3. 图像增强

图像增强是对**图像质量在一般意义上的改善**。当无法知道图像退化有关的定量信息时，可以使用图像增强技术较为主观地改善图像的质量。所以，图像增强技术是用于改善图像视感质量所采取的一种方法。

因为增强技术**并非是针对某种退化所采取的方法**，所以很难预测**哪一种特定技术是最好**的，只能通过试验和分析误差来选择一种合适的方法。有时可能需要彻底改变图像的视觉效果，以便突出重要特征的可观察性，使人或计算机更易观察或检测。在这种情况下，可以把增强理解为增强感兴趣特征的可检测性，而非改善视感质量。电视节目片头或片尾处的颜色、轮廓等的变换，其目的是得到一种特殊的艺术效果，增强动感和力度。



显示图像中被
模糊的细节



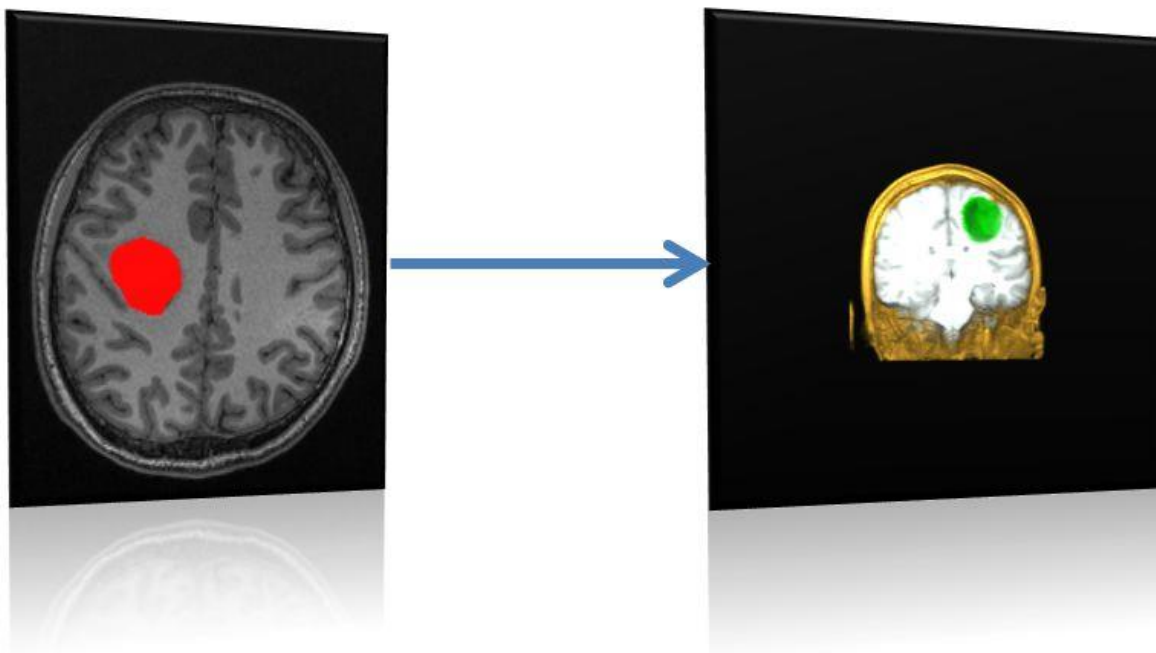
突出图像中感
兴趣的特征



4. 图像分割

把图像分成区域的过程就是图像分割。图像中通常包含多个对象，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。图像处理为达到识别和理解的目的，几乎都必须按照一定的规则将图像分割成区域，每个区域代表被成像的一个物体（或部分）。

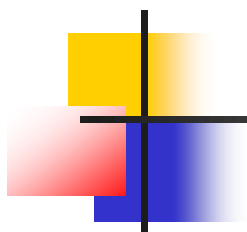
图像自动分割是图像处理中最困难的问题之一。**人类视觉**系统的优越性，使得人类能够将所观察的复杂场景中的对象分开，并识别出每个物体。但对**计算机**来说，这却是一个难题。目前，大部分图像的自动分割还需要人工提供必需的信息来帮助，只有一部分领域（如印刷字符自动识别（OCR）、指纹识别等）开始使用。





5. 图像重建

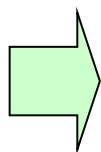
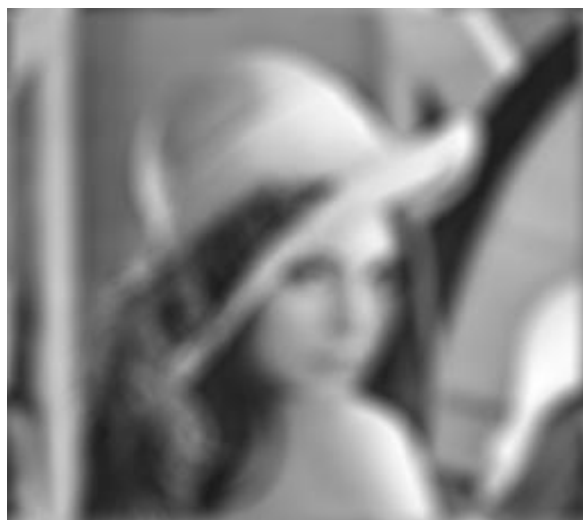
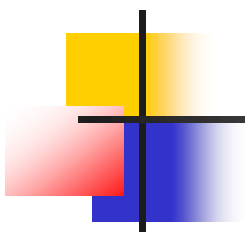
图像重建与上述的图像增强、图像复原等不同。图像增强、图像复原的输入是图像，处理后输出的结果也是图像，而**图像重建是指从数据到图像的处理**，即输入的是某种数据，而经过处理后得到的结果是图像，CT就是图像重建处理的典型应用实例。目前，图像重建与计算机图形学相结合，把多个二维图像合成三维图像，并加以光照模型和各种渲染技术，能生成各种具有强烈真实感的高质量图像。





6. 图像复原

当造成**图像退化**（图像品质下降）的**原因**已知时，复原技术可以对图像进行校正。**图像复原最关键的是对每种退化都需要有一个合理的模型**。例如，掌握了聚焦不良成像系统的物理特性，便可建立复原模型，而且对获取图像的特定光学系统的直接测量也是可能的。退化模型和特定数据一起描述了图像的退化，因此，复原技术是**基于模型和数据的图像恢复**，其目的是消除退化的影响，从而产生一个等价于理想成像系统所获得的图像。





图像技术及分类

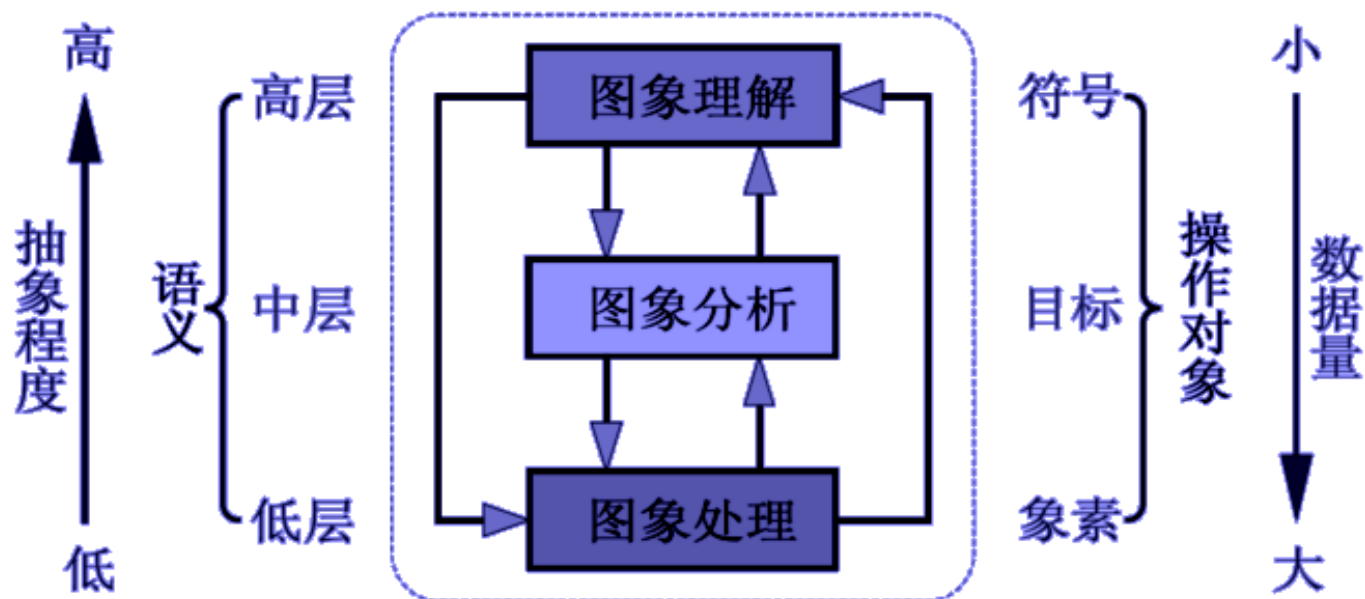
◆ 图像工程

图像工程的内容非常丰富，根据抽象程度和研究方法等的不同，可分为**图像处理**、**图像分析**和**图像理解**三个层次，这三个层次既有联系又有区别，如下图所示。换句话说，图像工程是图像处理、图像分析及图像理解三者的有机结合及工程应用。

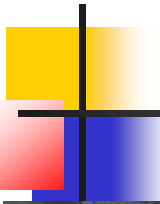
◆ 相关学科

计算机图形学，模式识别，计算机视觉

图像工程



图像工程三层示意图





1. 图像处理

■ 图像处理的重点是图像之间进行的变换。尽管人们常用图像处理泛指各种图像技术，但比较狭义的图片处理主要是对图像进行各种加工，以改善图像的视觉效果并为自动识别奠定基础，或对图像进行压缩编码以减少所需存储空间。



2. 图像分析

- 图像分析主要是对图像中感兴趣的目标进行检测和测量，以获得它们的客观信息，从而建立对图像的描述。如果说图像处理是一个从图像到图像的过程，则图像分析是一个从图像到数据的过程。这里的数据可以是目标特征的测量结果，或是基于测量的符号表示，它们描述了目标的特点和性质。



3. 图像理解

图像理解的重点是在图像分析的基础上，进一步研究图像中各目标的性质和它们之间的相互联系，并得出对图像内容含义的理解以及对原来客观场景的解释，从而指导和规划行动。

如果说图像分析主要以观察者为中心来研究客观世界，那么图像理解在一定程度上是以客观世界为中心，借助知识、经验等来把握整个客观世界(包括没有直接观察到的事物)的。

图像技术分类

当前图像处理、图像分析和图像理解三个层次中研究的图像技术

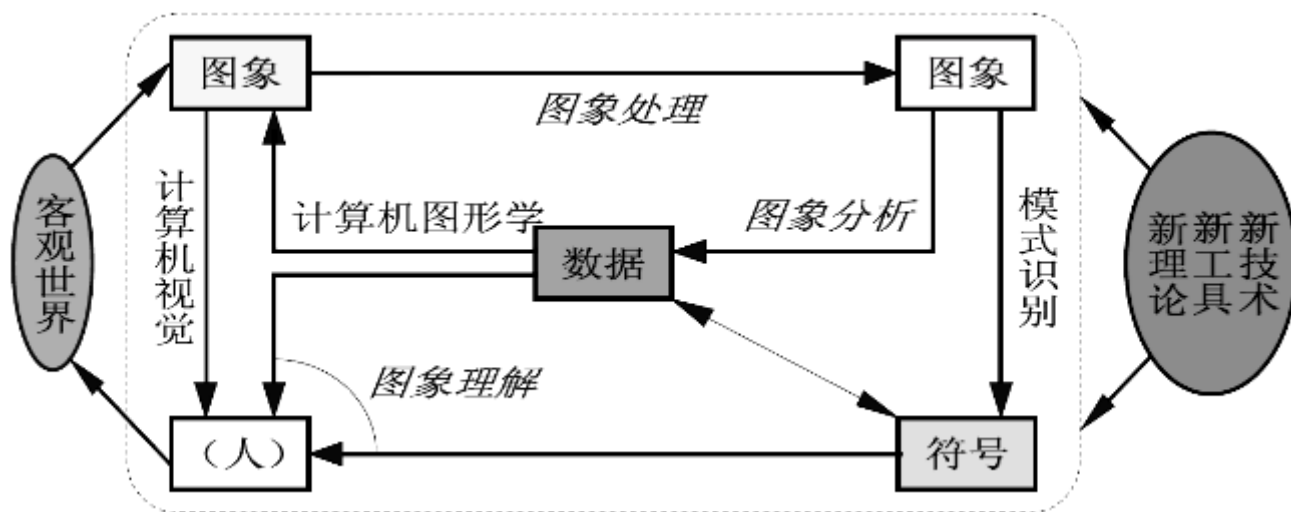
三个层次	图像技术分类和名称
图像处理	图像采集（包括各种成像方法、获取及存储、摄像机校正等）
	图像重建（从投影等重建图像）
	图像增强和恢复等（包括变换、滤波、复原、校正等）
	图像（视频）压缩编码（包括算法研究、国际标准实现等）
	图像数字水印和图像信息隐藏
	图像多分辨率处理（超分辨率重建、图像分解和插值、分辨率转换等）
图像分析	图像分割和边缘检测
	目标表达、描述、测量（包括二值图处理等）
	目标特性（颜色、形状、纹理、空间、运动等）的分析
	目标检测和识别（目标 2-D 定位、提取和分类等）
	人体生物特征提取和验证（包括人脸和器官的检测、定位与识别）
图像理解	图像匹配和融合等（包括序列、立体图的配准、镶嵌等）
	场景恢复（3-D 表达、建模、重构、重建等）
	图像感知和解释（包括语义描述、信息模型、专家系统、机器学习、推理等）
	基于内容的图像和视频检索
	时空技术（3-D 运动分析，姿态检测，对象跟踪，行为判断和理解）



相关学科和领域

■ 图像工程是一门系统地研究各种图像理论、技术和应用的交叉学科。从研究方法来看，它与数学、物理学、生理学、心理学、电子学、计算机科学等许多学科可以相互借鉴。从研究范围来看，它与**模式识别、计算机视觉、计算机图形学等多个专业又互相交叉**。另外，图像工程的研究进展与人工智能、神经网络、遗传算法、模糊逻辑等理论和技术都有密切的联系，它的发展应用与医学、遥感、通信、文档处理和工业自动化等许多领域也是密不可分的。

图像技术与相关学科之间关系



图像工程与相关学科和领域的联系和区别



数字图像处理技术发展方向

- 图像处理技术的未来发展方向大致可归纳为如下四点：

(1) 图像处理的发展将围绕HDTV(高清晰度电视)的研制，开展实时图像处理的理论及技术研究，向着高速、高分辨率、立体化、多媒体化、智能化和标准化方向发展。

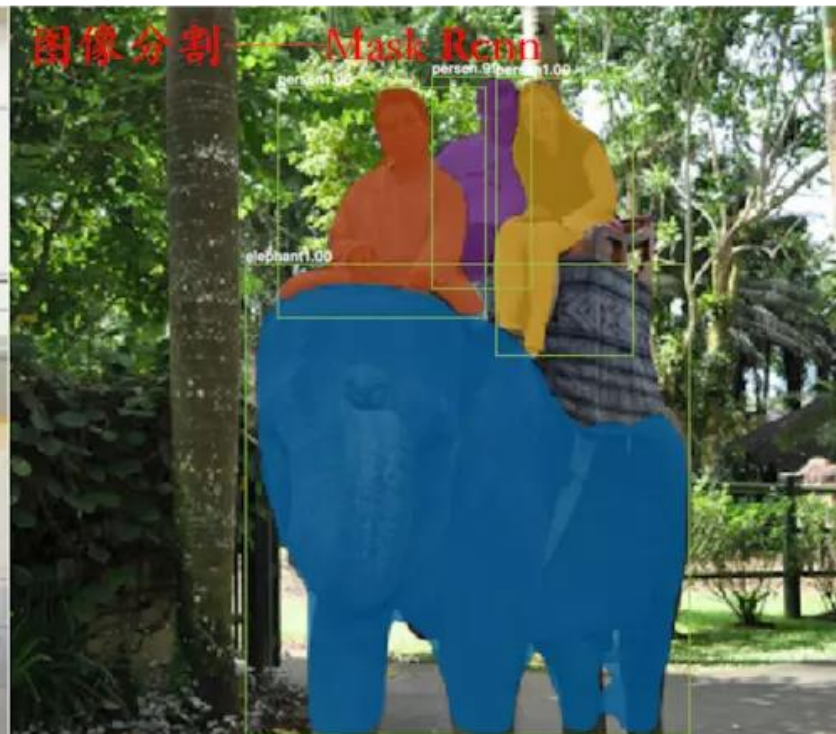
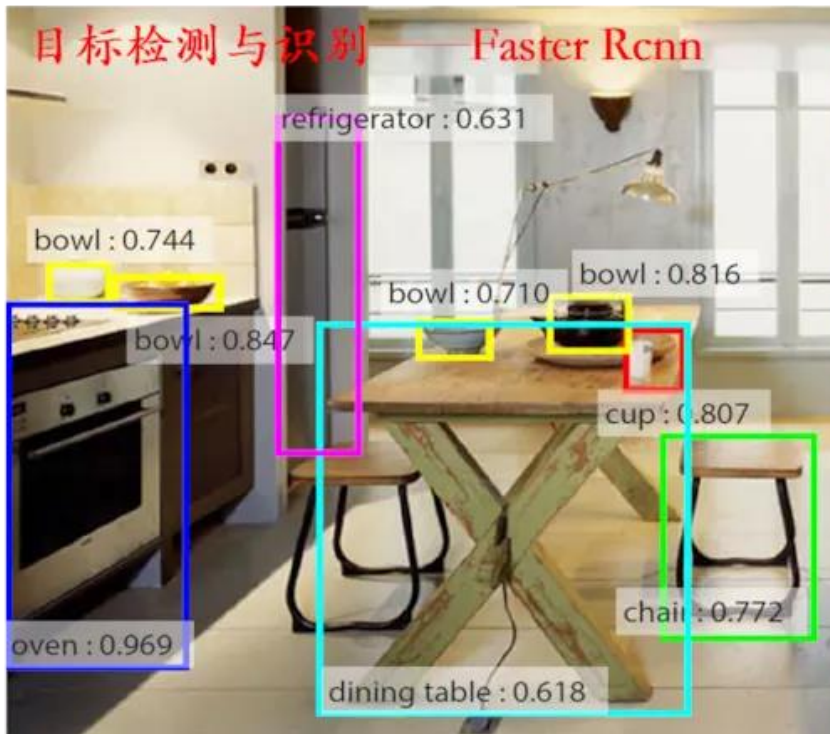
(2) 图像、图形相结合，朝着三维成像或多维成像的方向发展。

(3) 硬件芯片研究。把图像处理的众多功能固化在芯片上，使之更便于应用。如用**VHDL**语言设计图像处理卡和**FPGA**，能够根据检测对象和环境状况灵活组建硬件系统。



数字图像处理技术发展方向

- (4) 新理论与新算法研究。在图像处理领域近年来引入了一些新的理论并提出了一些新的算法，如小波分析(Wavelet)、分形几何(Fractal)、形态学(Morphology)、人工神经网络(Artificial Neural Networks)，尤其生成式人工智能AIGC等。这些理论及建立在其上的算法，将会成为今后图像处理理论与技术的研究热点。



卷积神经网络（Convolutional Neural Networks, CNN）



生成对抗网络(Generative Adversarial Networks, GAN)



2024年初，OpenAI 发布的Sora，强大的视频生成能力
(潜水员、海底景观、沉船外壳、内部的外星技术都生成得十分逼真)



国内外相关会议与期刊

■ 国内期刊：一级学报

- Journal of Computer Science and Technology (JCST)(SCI)
- 计算机学报
- 软件学报
- 电子学报
- 计算机研究与发展
- ...



国内外相关会议与期刊

■ 国外期刊:

- IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI)
- IEEE Transactions on Image Processing (IP)
- IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology (CSVT)
- International Journal of Computer Vision (IJCV)
- Pattern Recognition (PR)
- Image and Vision Computing (IVC)



国内外相关会议与期刊

■ 国际会议：

- IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)
- IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)
- ACM Multimedia Conference (MM)



国内外相关会议与期刊

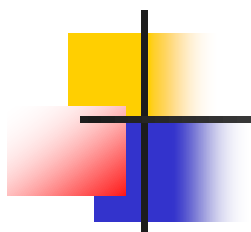
■ 国际会议

- IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)
- IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)
- International Conference on Pattern Recognition (ICPR)
- ACM International Conference on Image and Video Retrieval (CIVR)



课程测评

1. 平时成绩40%（含实验）+60%考试；
2. 期末考试：闭卷



谢谢大家！