

《数字图像处理》

第1讲：导论

冯建江

清华大学，自动化系

2017-09-21

教师

- 教师: 冯建江

自动化系, 信息处理研究所

研究方向: 图像处理与模式识别 (主要研究对象:
指纹、心血管)

Email: jfeng@tsinghua.edu.cn

办公室: 中央主楼626D

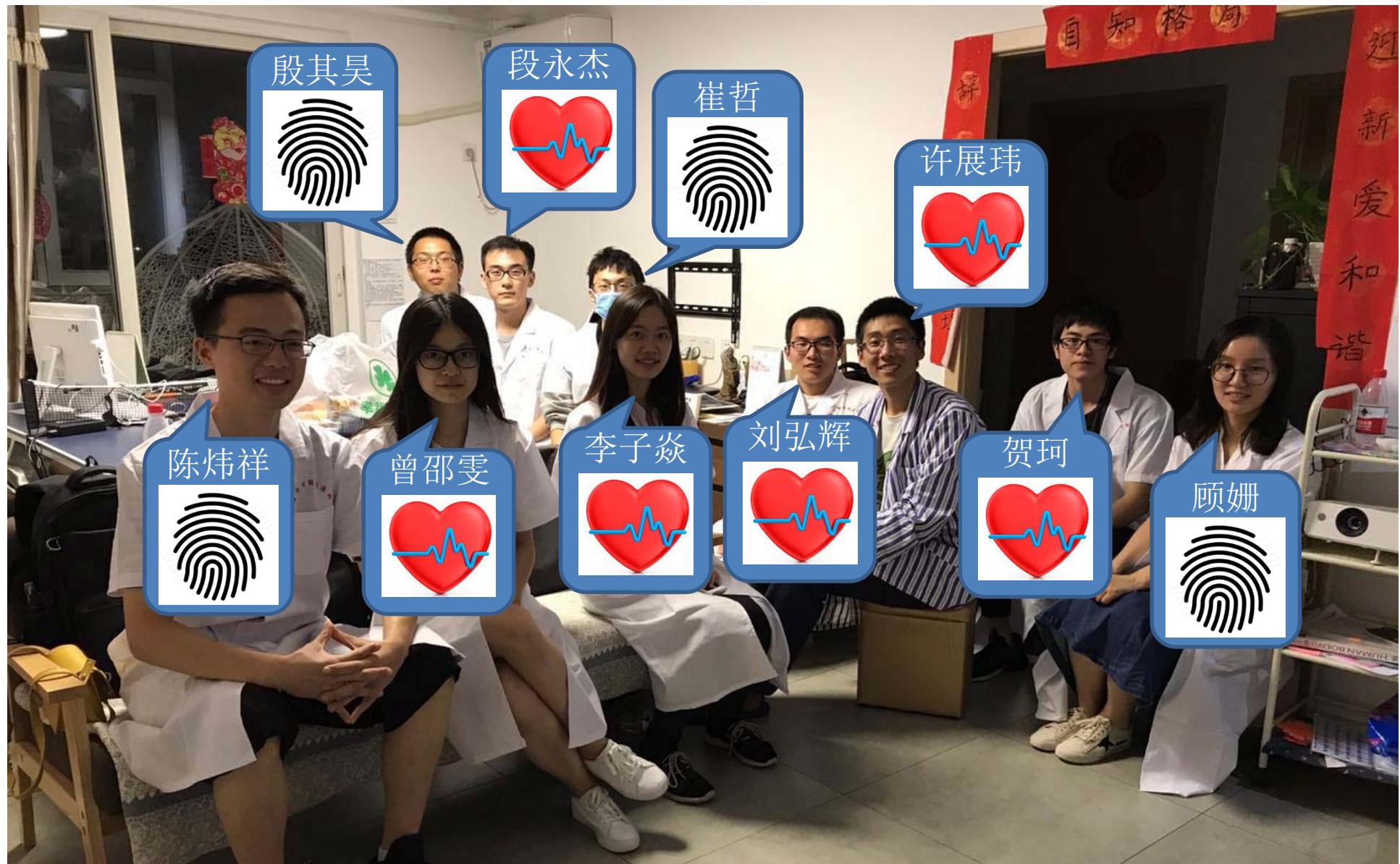
答疑时间: 每周四下午4:00-5:00

- 助教: 崔哲

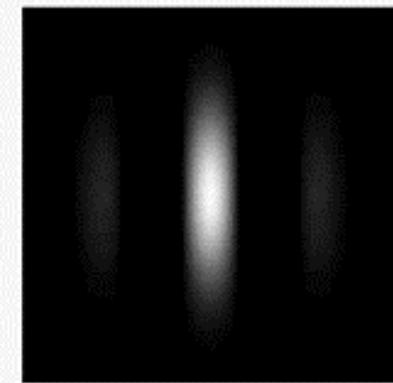
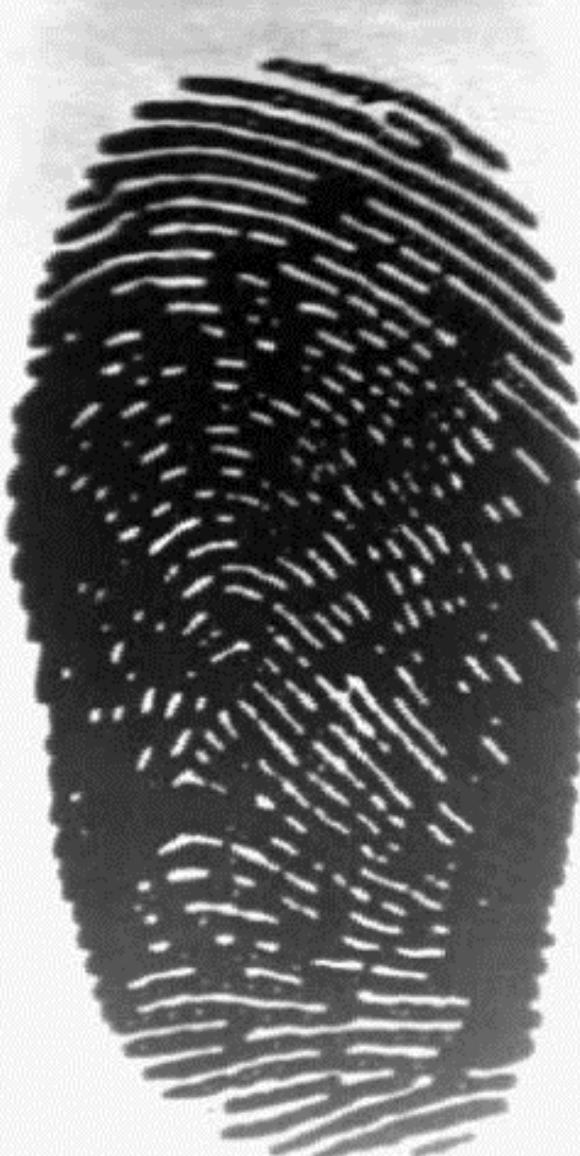
Email: phy_cuiz10@163.com

实验室: 中央主楼624

指纹和心血管图像处理研究小组



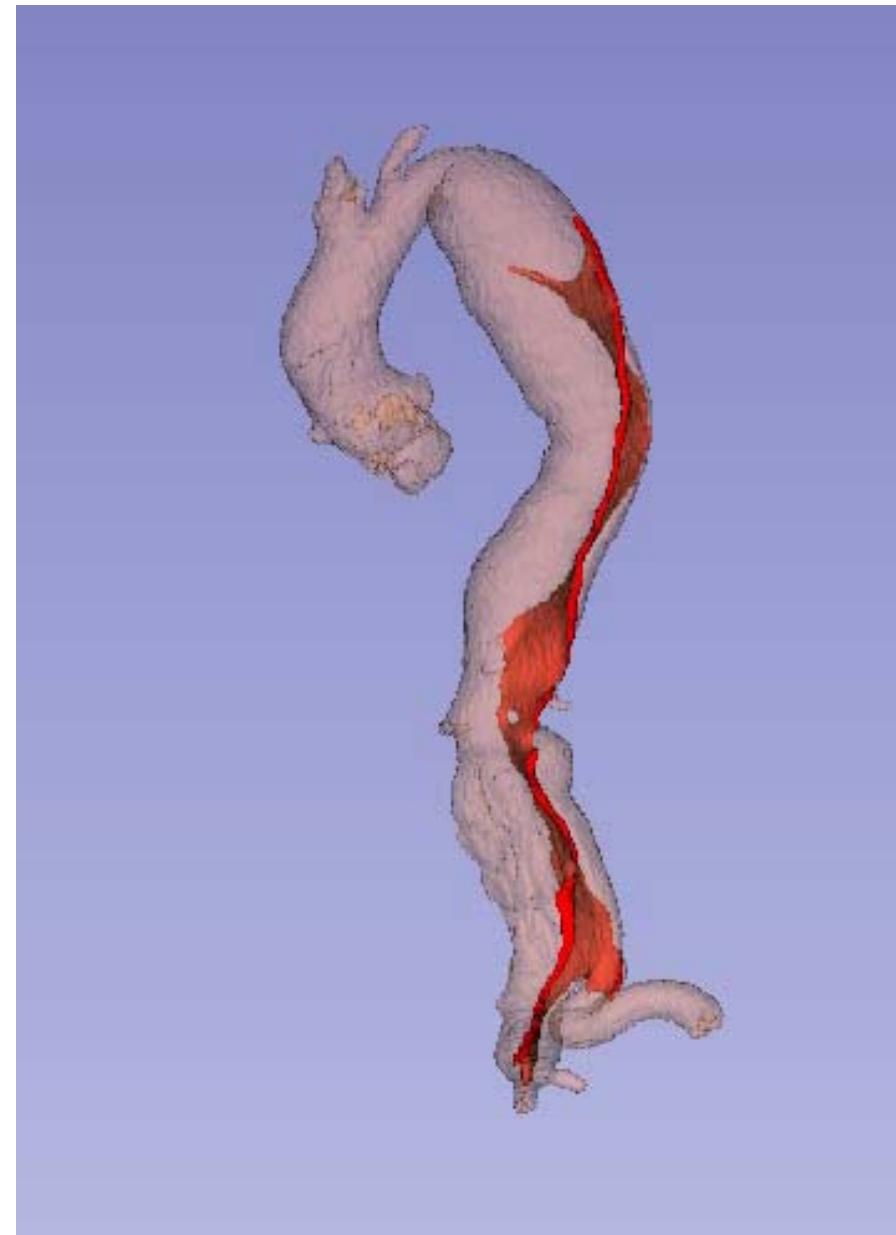
指纹图像增强



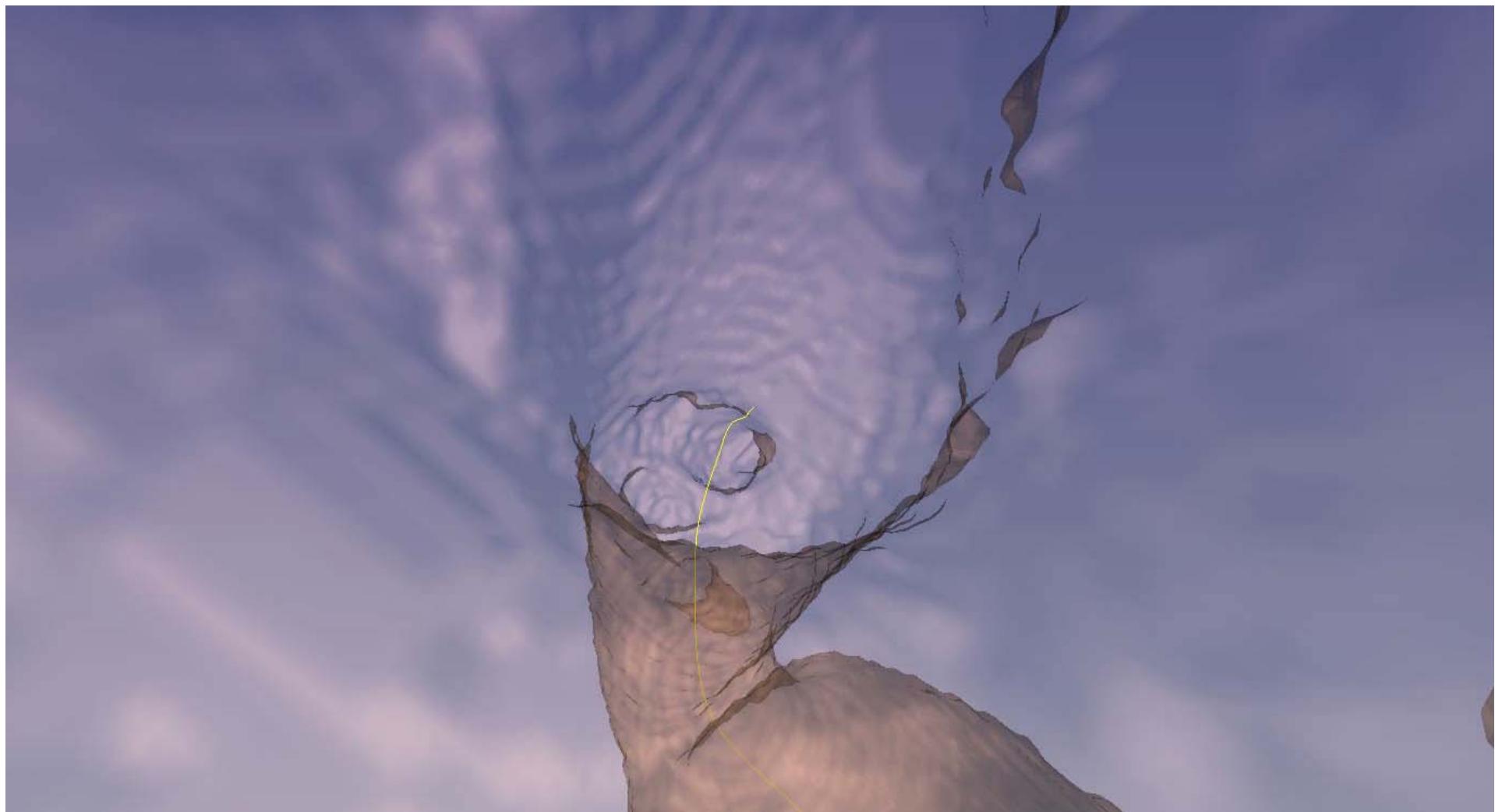
指纹配准



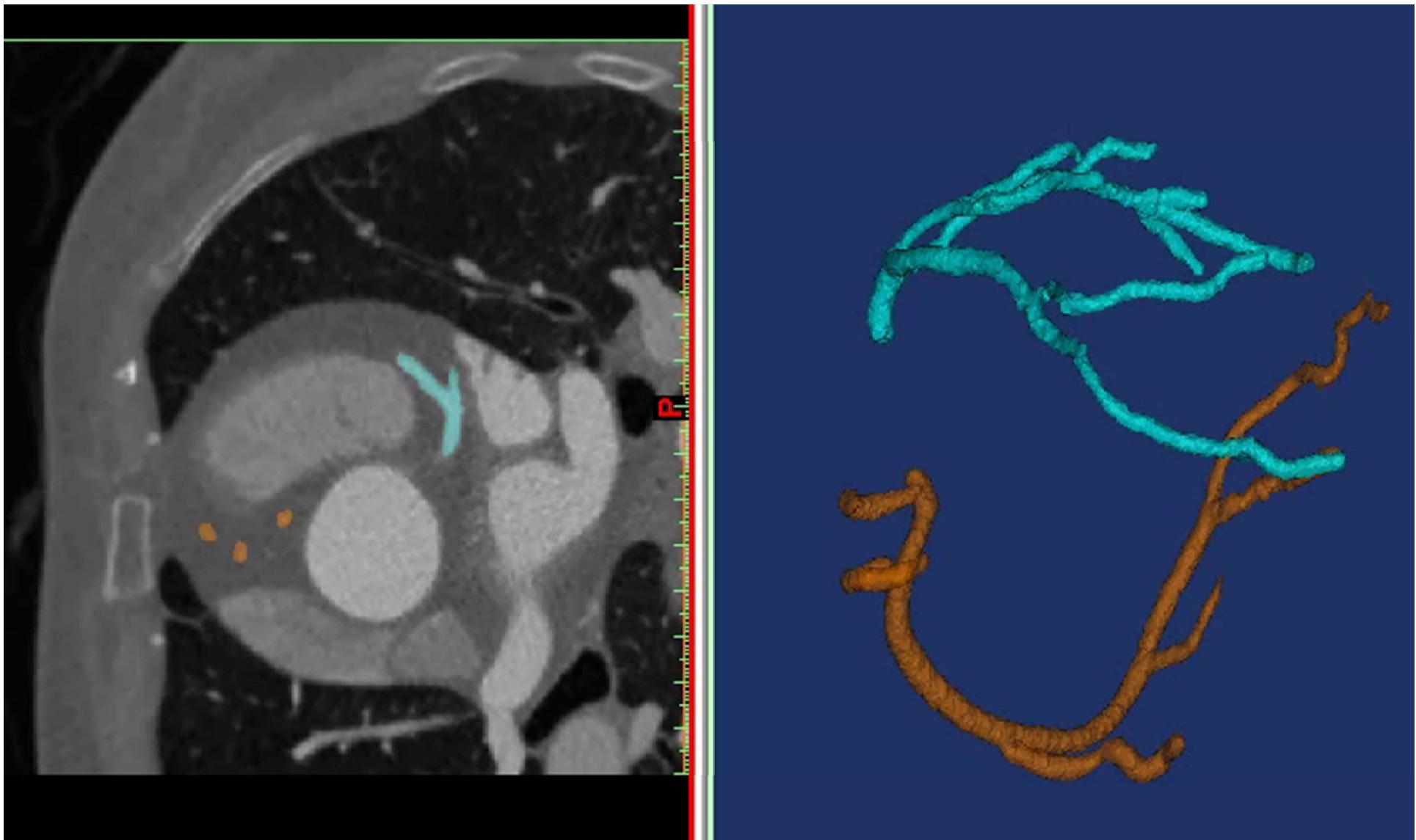
主动脉分割



主动脉虚拟内窥镜



冠状动脉配准



欢迎新同学参加课题

- 人工智能在医学影像、身份识别中的应用非常热
- 实验室的课题：低质量指纹增强、指纹精密配准、指纹数据库检索、冠脉分割、冠脉配准、心脏腔室分割、主动脉疾病辅助诊断...
- 对学生期望：
 - 学有余力、实验能力强、脚踏实地
- 找实验室的学长咨询
- 找我咨询

内容

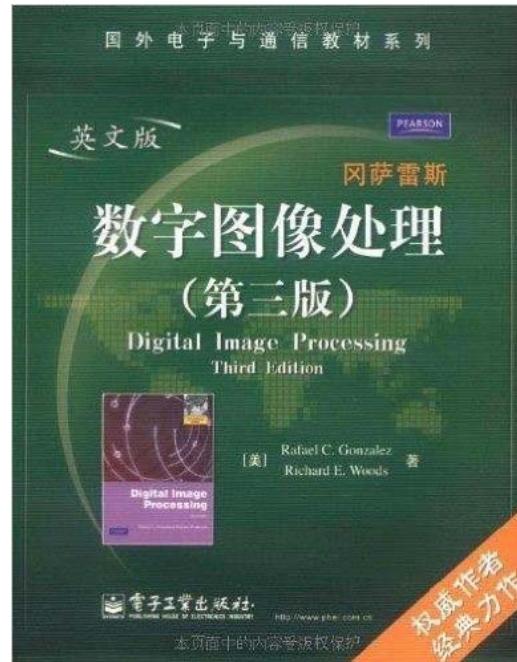
1. 课程简介
2. 图像处理应用举例
3. 图像处理内容概述

课程简介

- 数字图像处理：利用计算机对数字图像进行各种运算，满足用户需要（观看、自动分析等）
- 数字图像处理的前提：图像传感器、计算机的出现（20世纪50年代）
- 目前，各行各业需要自动的图像处理技术。例如，视频监控、产品质量检测、指纹识别、医学影像诊断等
- 我们从外界获取的信息中，90%通过视觉；而人工的图像处理无法满足要求（人工成本高、繁琐、不稳定）
- 本课程讲授适用于各种图像的共性原理和技术

教材

R. C. Gonzalez, R. E. Woods. *Digital Image Processing*.
3rd Edition. 英文影印版. 电子工业出版社, 2010.



影印版：66.2元

原版：**1250元**

R. C. Gonzalez, R. E. Woods, S. L. Eddins. *Digital Image Processing Using Matlab*. 英文影印版. 电子工业出版社, 2009.

参考资料

- 期刊
 - 一般图像: IEEE T-IP, T-PAMI, IJCV, PR
 - 医学图像: IEEE T-MI, MIA
- 会议
 - 一般图像: ICCV, CVPR, ICIP
 - 医学图像: MICCAI

特点：理论与实验并重

- 数学：高数、线代、统计、复变...
- 同一个问题可以用多种数学方法。例如，图像去噪可以用滤波、Markov随机场模型、函数拟合、机器学习等方法。
- 哪种方法最佳？某种方法的哪种实现最佳？通常理论上难以证明。
- 实验能力非常重要。
- 本课程推荐用的编程工具：matlab
- 学好理论很重要，指导实验、分析实验

相关课程

- 信号与系统、数字信号处理
- 计算机视觉（图像处理、分析、理解）
- 计算机图形学
- 模式识别、机器学习、神经网络

成绩

成绩由3部分构成：

1. 共布置8次小作业，须在布置后一周内提交网络学堂。占总分的30%。
2. 同时根据课程的深入，布置4次综合作业。综合作业完成期限为3周。占总分的40%。
3. 第十六周为期末考试（半开卷）。占总分的30%。

小作业

- 小作业为编程题或简答题。编程题需实现一个课上所讲述的处理功能，并对给定图像进行处理，需提交代码，并给出一个简易的使用说明（如必要）。
- 小作业共占30分。
- 每次作业期限为一周，须按时提交，否则计0分。抄袭记0分。

综合作业

- 综合作业要求大家利用课上所学知识，自选算法解决一个实际问题，需提交代码，并撰写报告。
- 综合作业的报告提交电子版，可以使用简体中文或英文，报告中需包含算法描述、实验结果和分析、以及参考文献，同时鼓励指出实验过程中遇到的问题和你的解决方案；要求表述清晰，排版规范。
- 综合作业共4次，每次10分，共计40分。

综合作业

- 综合作业完成期限为3周，在截止日期后1周内交视为迟交，迟交作业的分数为所得分数的60%。超出截止日期1周记0分，抄袭记0分。
- 补交作业须发送到dip_course@sina.com，请勿发送到助教的个人邮箱。邮件标题为学号_姓名_补交综合作业_作业次数，例如201111111_张三_补交综合作业_1。

各作业的程序

- 编程语言要求为matlab。
- 代码要求整洁（不遗留作废代码），有详细的注释。

各作业的提交方式

- 作业打包在网络学堂提交，可接受的压缩文件格式：zip, tar, gz, bz2, rar，按照下面的规则命名：**学号_姓名_作业类别_作业次数.后缀名**。例如，**2011111111_张三_小作业/综合作业_1.rar**。
- 小作业（编程类）和综合作业包含程序、报告和处理数据三部分，必要时写**readme**文件说明各程序文件的作用。程序需包含源代码，处理数据需包含输入图像和输出结果。

纪律规范

- 作业中的任何一部分不得抄袭，一经发现，当事双方当次作业直接记0分，成绩公布后1周内接受申辩。
- 提交的程序不稳定，造成助教计算机系统损坏的，压缩包中包含病毒，木马等恶意软件的，当次作业视为缺交。

优秀综合作业展示

- 计划为综合作业做得比较好的同学提供课堂展示的机会。



出勤

- 每节课会随机抽取10名左右的同学进行点名回答问题， 点名未到者每次扣5分。

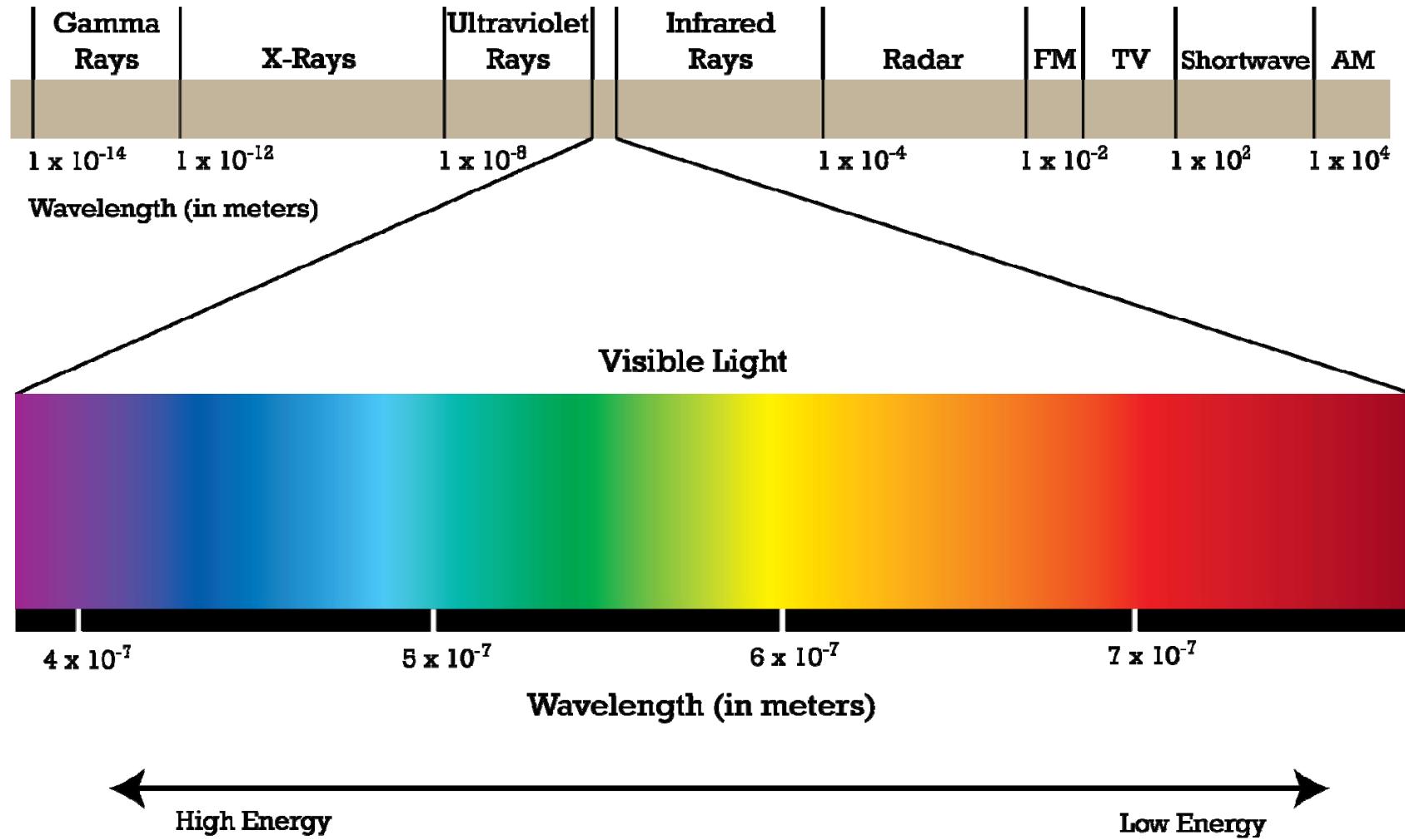
内容

1. 课程简介
2. 图像处理应用举例
3. 图像处理内容概述

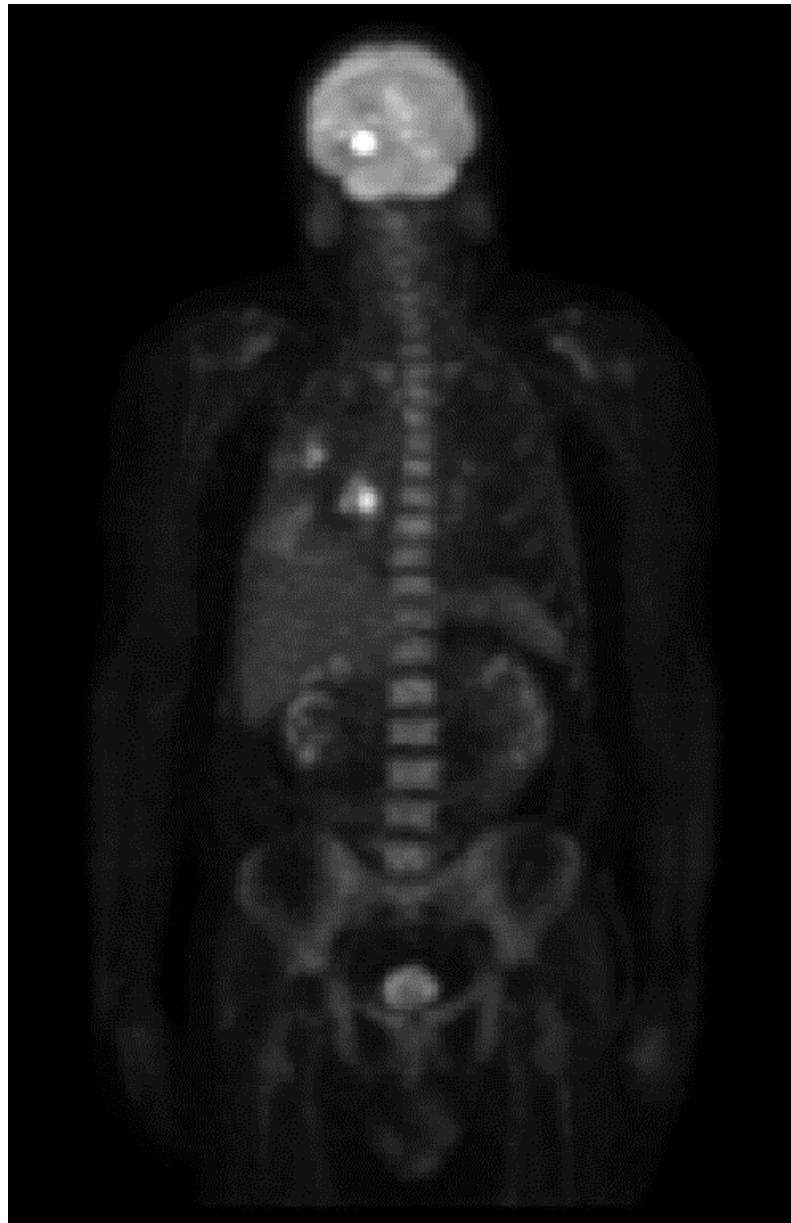
图像处理的应用

- 图像处理的应用领域非常广泛
- 按照行业（航空、国防、公安、医疗等）
不好组织，重复太多
- 成像方法主要用电磁波
- 按照电磁波谱组织，最后介绍超声成像

Electromagnetic spectrum



Gamma射线成像



- 核医学和天文观测
- 正电子放射断层造影术（PET）：向身体内注射含有放射性的物质（一般是携带同位素氟的葡萄糖），衰变时发出伽马射线，被检测器获得
- 病变组织（尤其是肿瘤）因为代谢增加，所以对携带同位素的葡萄糖摄取能力大大超过正常组织，因此同位素在肿瘤中聚集，显示出一个明亮的斑块。

X射线成像



伦琴

1901年首届Nobel物理学奖

- 医疗诊断：X光胸片等
- 行李安检



世界上第一张x光片，
伦琴妻子的手
“I have seen my death!”

X射线成像的早期应用

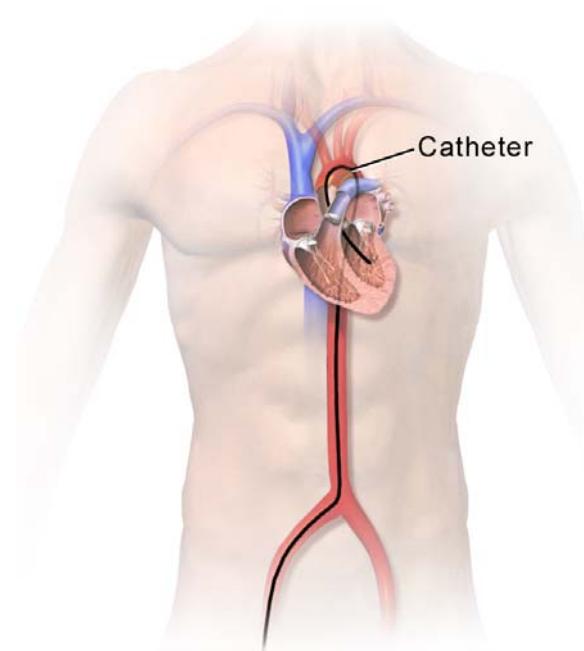


心血管造影

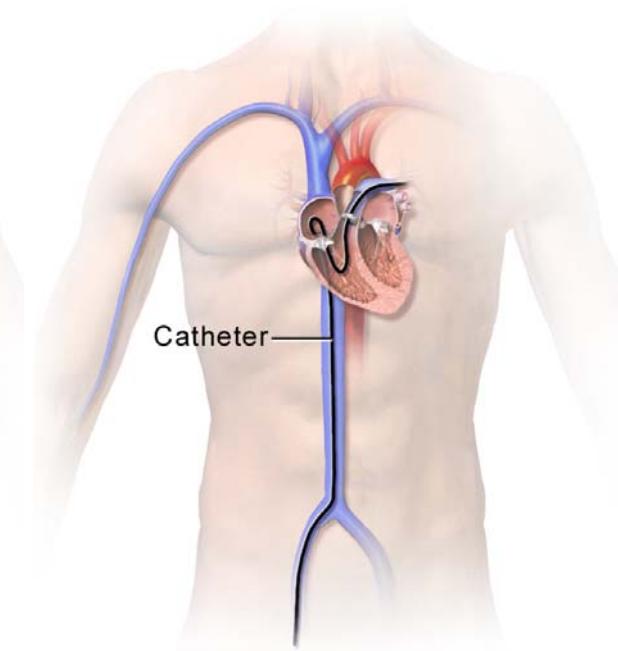


Werner Forssmann
(沃纳·福斯曼)

1956诺贝尔医学奖



Left Heart Catheter



Right Heart Catheter



冠脉造影

计算层析成像 (Computed Tomography, CT)

- X射线成像的缺点：受制于深浅组织的影像相互重叠和隐藏，有时需要多次多角度拍摄X光片才能看清。
- 如果从许多角度投射，是否可以重建出3D信息？

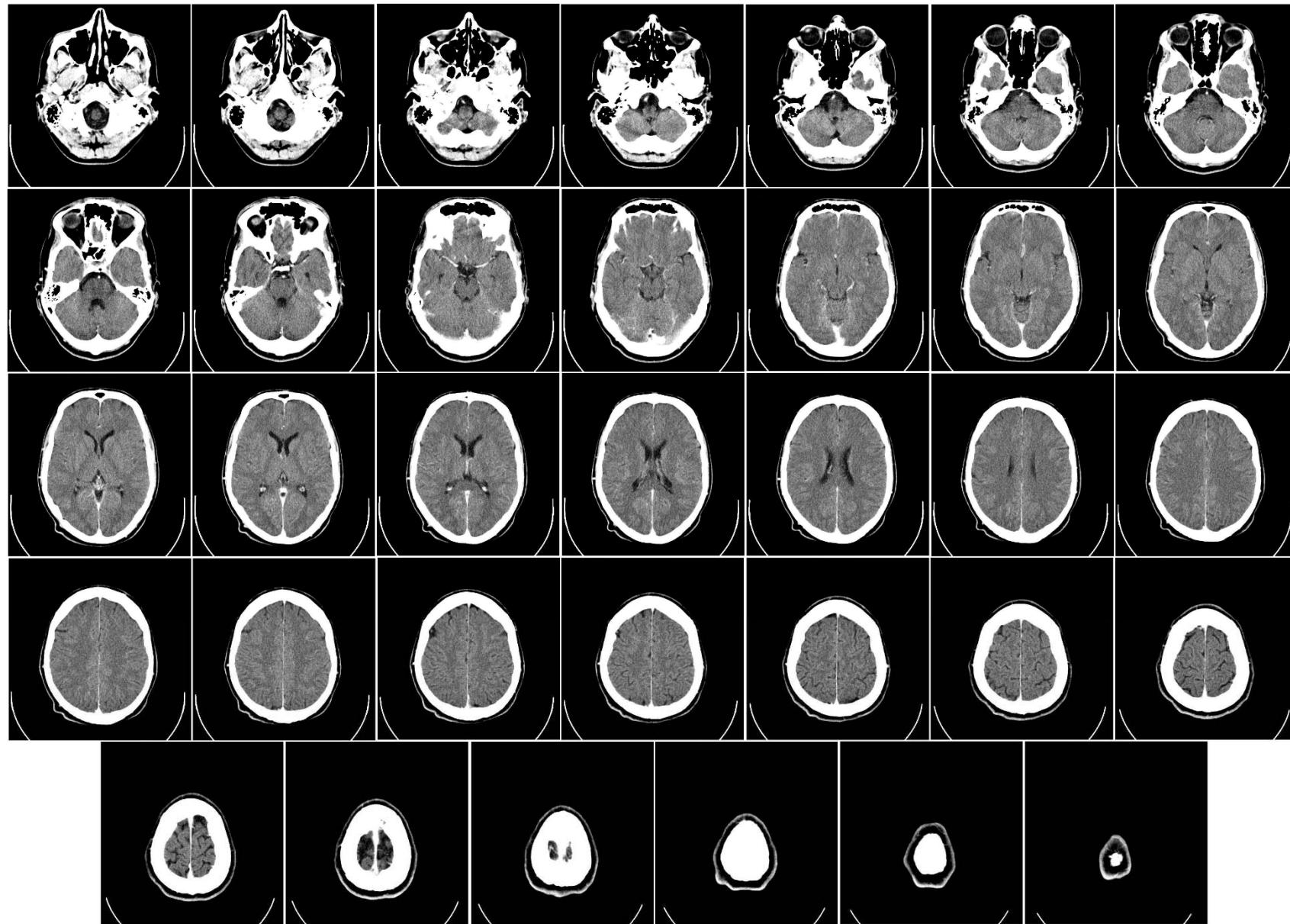


Allan M. Cormack Godfrey N. Hounsfield

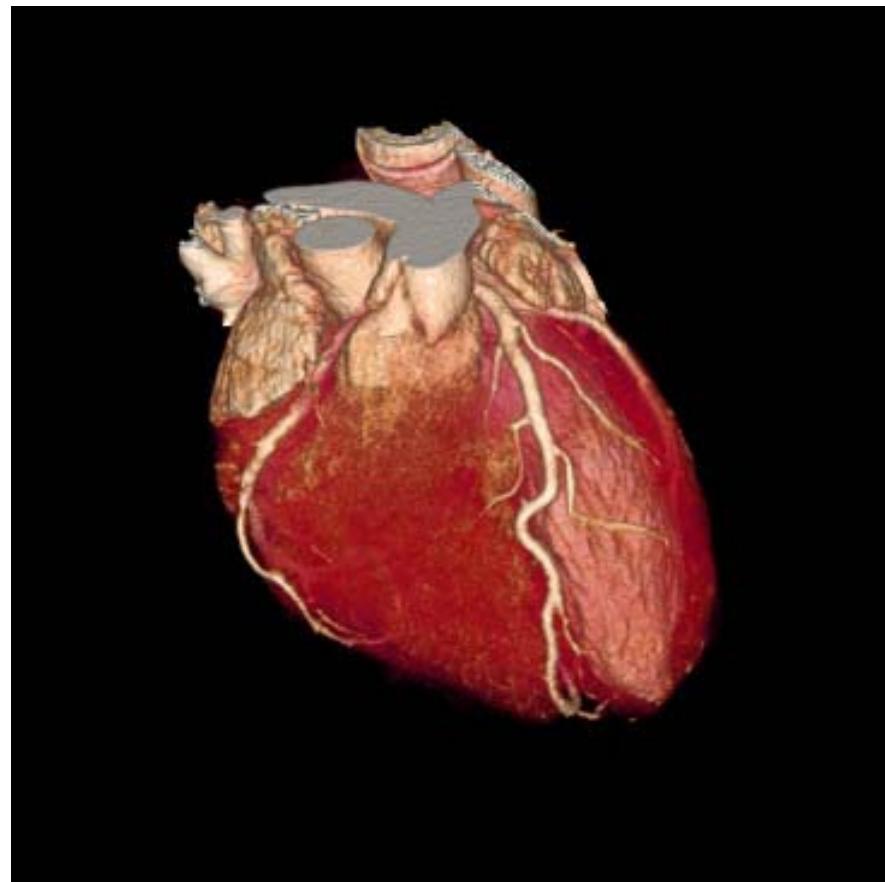
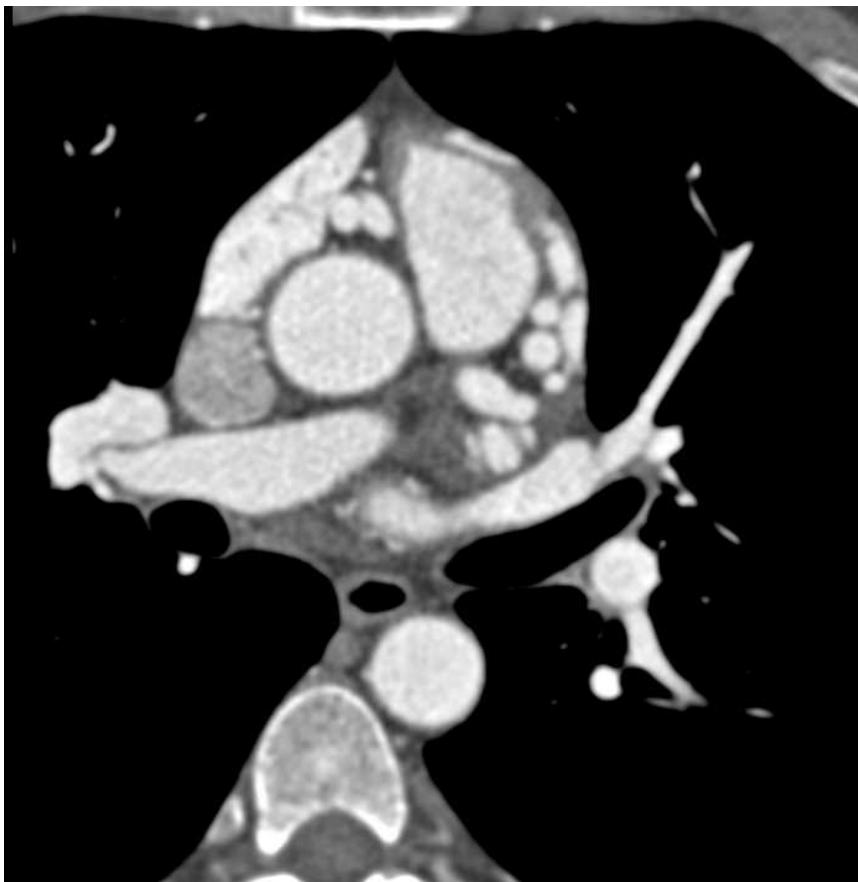
Cormack提出CT成像的方法，Hounsfield独立设计出第一台CT机。CT图像亮度单位就是以Hounsfield来表述的。获1979 Nobel医学奖。

https://en.wikipedia.org/wiki/CT_scan

头部CT



心脏CT



紫外线

- 紫外线在成像中的一个重要用途是荧光成像。
- 荧光：当某种常温物质经某种波长的紫外线照射，吸收光能后进入激发态，并且立即退激发并发出可见光；而且一旦停止入射光，发光现象也随之立即消失。
- 荧光在生命科学、防伪、刑侦中有广泛应用。



可见光 (Visible Light)

高清视频人脸识别系统

报警列表

处方

比化妆品还神奇 惊艳的自拍效果

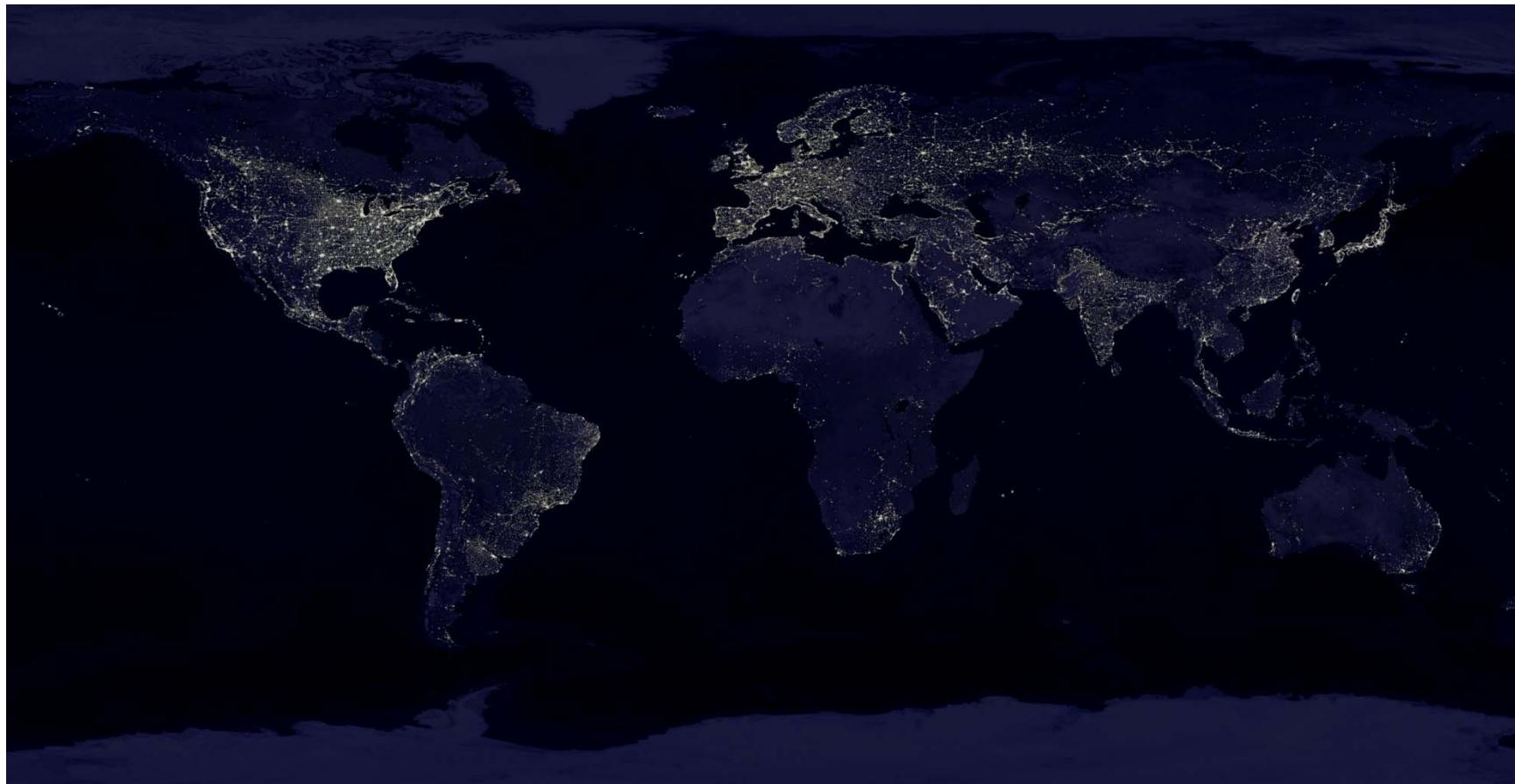
新智元

近红外 (Near Infrared)



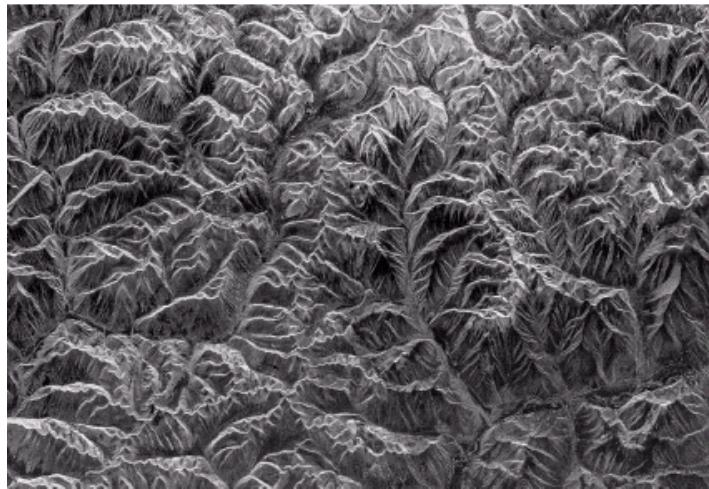
红外

非典时期，一些机场、火车站安装红外热像仪。能接收人体散发出来的红外线，然后把红外线转化成图像，不同的体温导致不同的图像颜色



<http://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a000000/a002200/a002276/index.html>

微波（Microwave）



西藏高原某区域的雷达图像

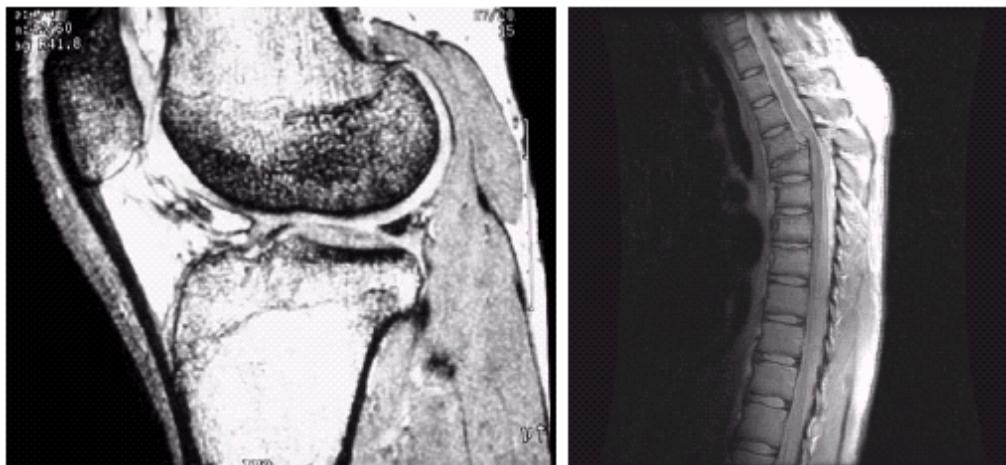
雷达的优点：白天黑夜均能探测远距离的目标，且不受雾、云和雨的阻挡，具有全天候、全天时的特点，并有一定的穿透能力。

小学语文四年级下册《蝙蝠和雷达》

实验顺序	试验方法	试验结果
第一次	把蝙蝠眼睛蒙上，让它在拉有许多绳子系有铃铛的屋子里飞。	铃铛一个也没响，绳子一根也没有碰着。
第二次	把蝙蝠的耳朵塞上。	蝙蝠到处乱撞，铃铛响个不停。
第三次	把蝙蝠的嘴巴封住。	蝙蝠到处乱撞，铃铛响个不停。

无线电波 (radio waves)

MRI基本原理：是将人体置于特殊的磁场中，用无线电射频脉冲激发人体内氢原子核，引起氢原子核共振，并吸收能量。在停止射频脉冲后，氢原子核按特定频率发出无线电信号，被接受器探测到，经计算机处理获得图像。



Paul C. Lauterbur, Sir Peter Mansfield,
2003 Nobel医学奖

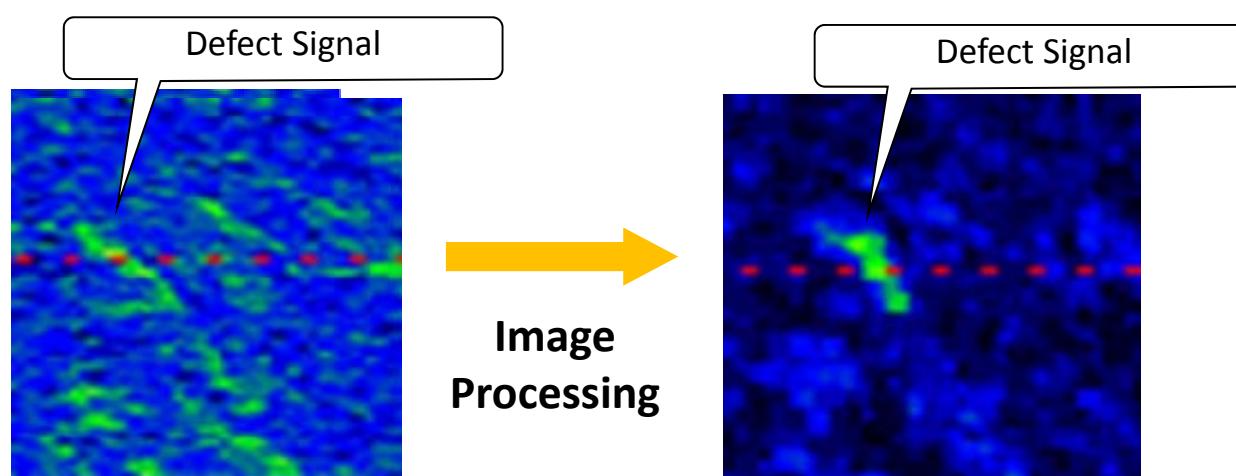
Raymond Damadian抗议

<http://articles.latimes.com/2003/oct/11/science/sci-flap11>

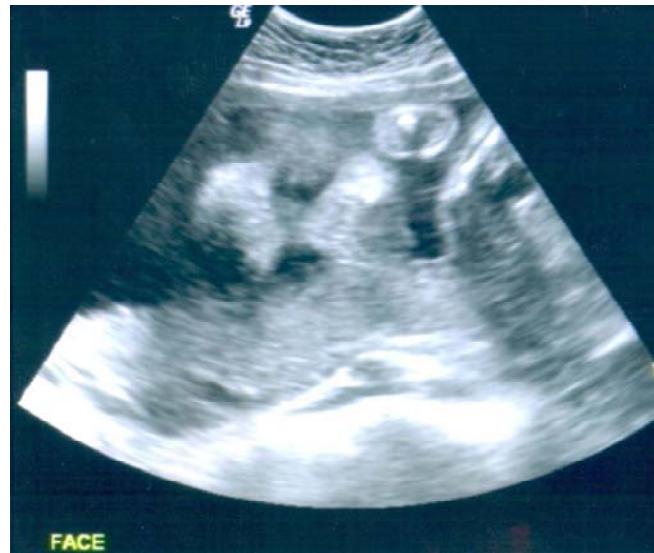
超声：产品缺陷检测



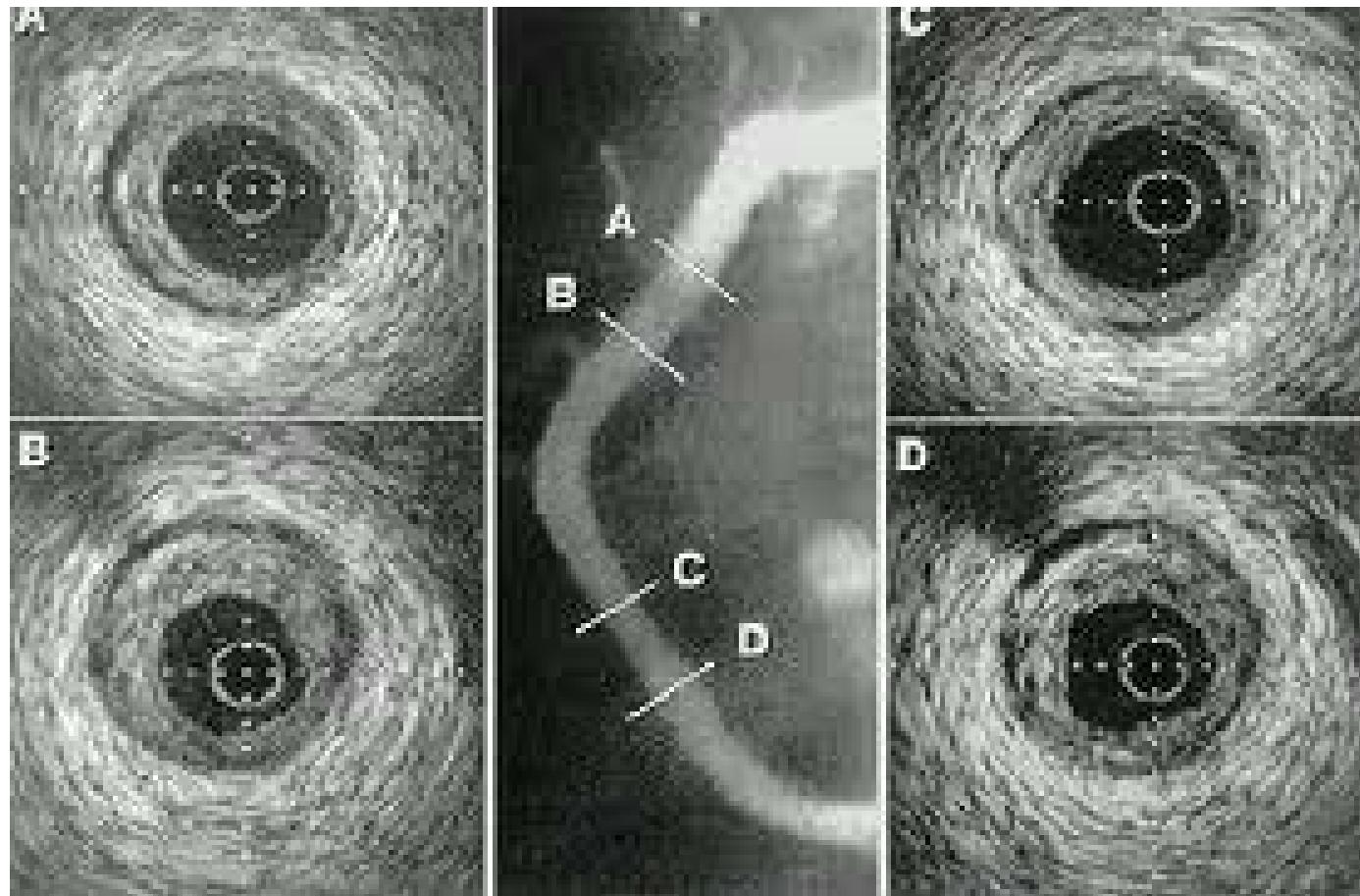
无创检测设备内部的裂
缝、空洞



超声：胎儿检查



超声：血管内超声



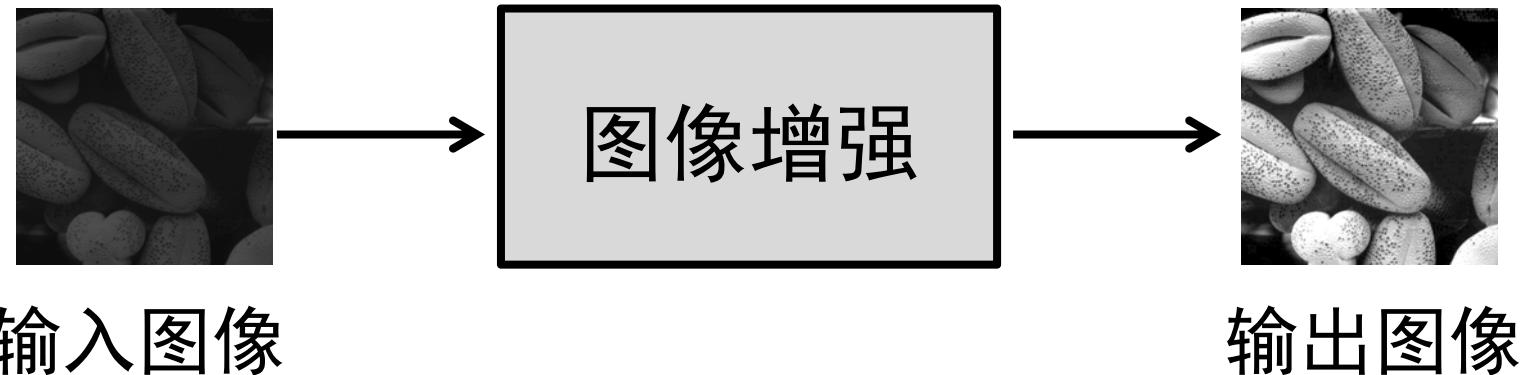
内容

1. 课程简介
2. 图像处理应用举例
3. 图像处理内容概述

图像处理运算

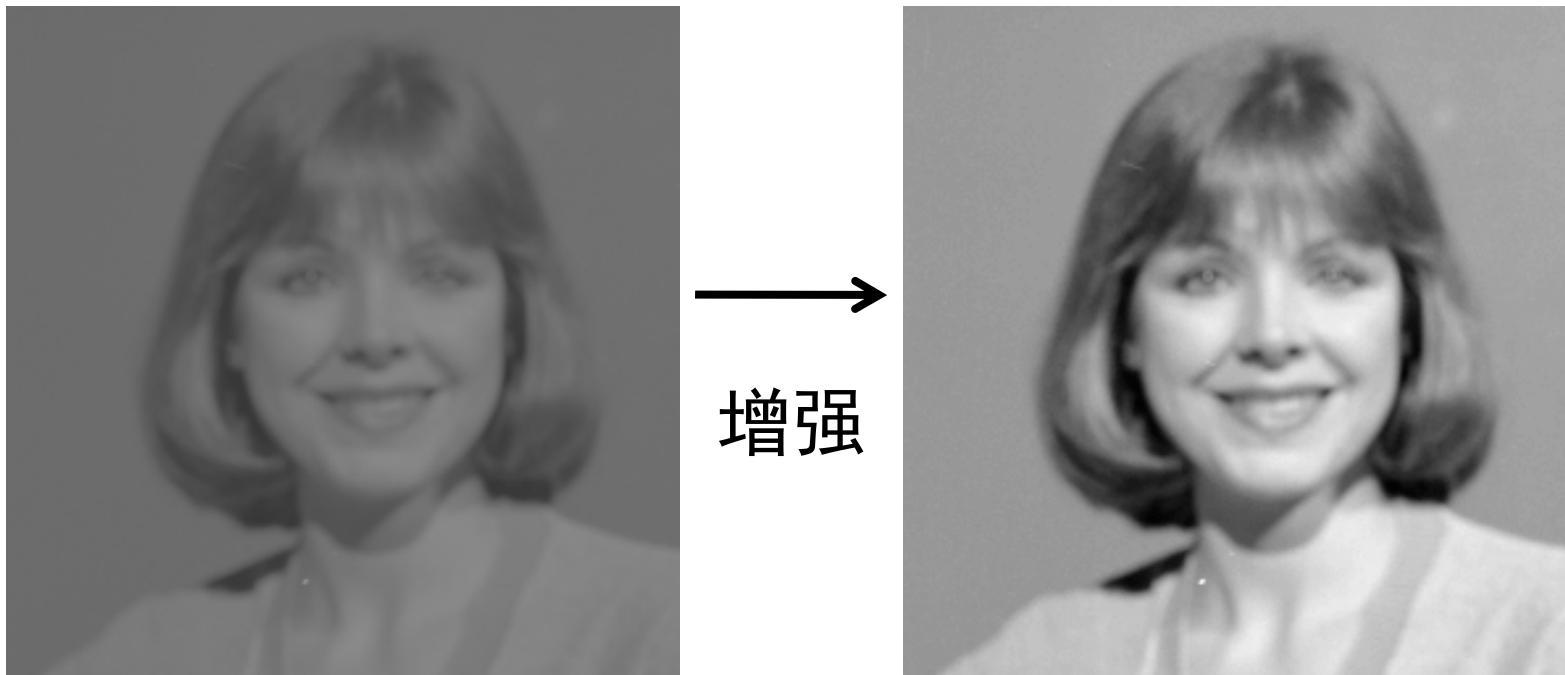
- 增强
- 恢复
- 彩色图像处理
- 压缩
- 形态学运算
- 分割
- 配准

图像增强



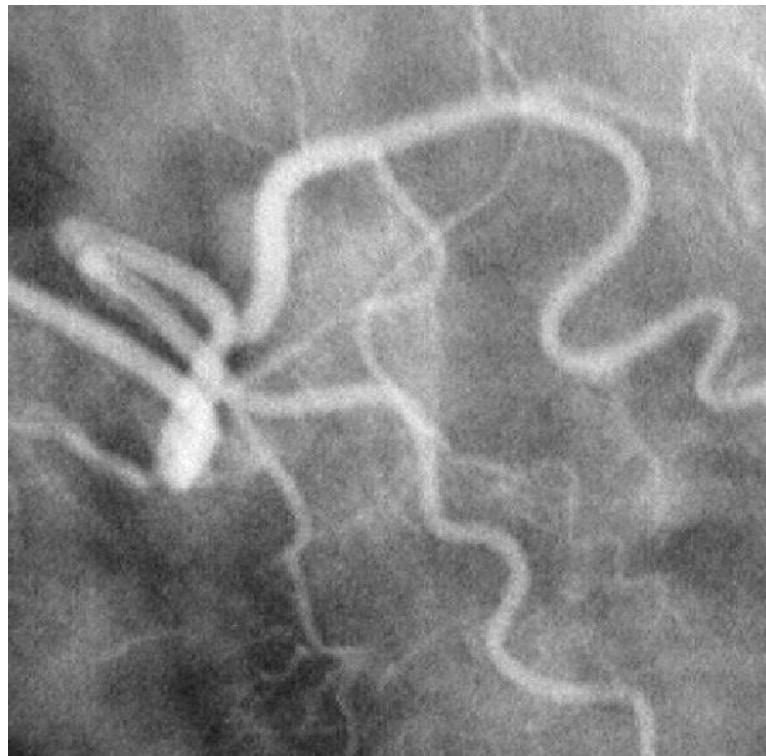
- 图像增强是一种图像处理技术，目的是改善图像，以便于人的观看或自动的图像分析与识别
- 评价标准：人的感觉或后续算法的性能

例1：增强图像便于观看

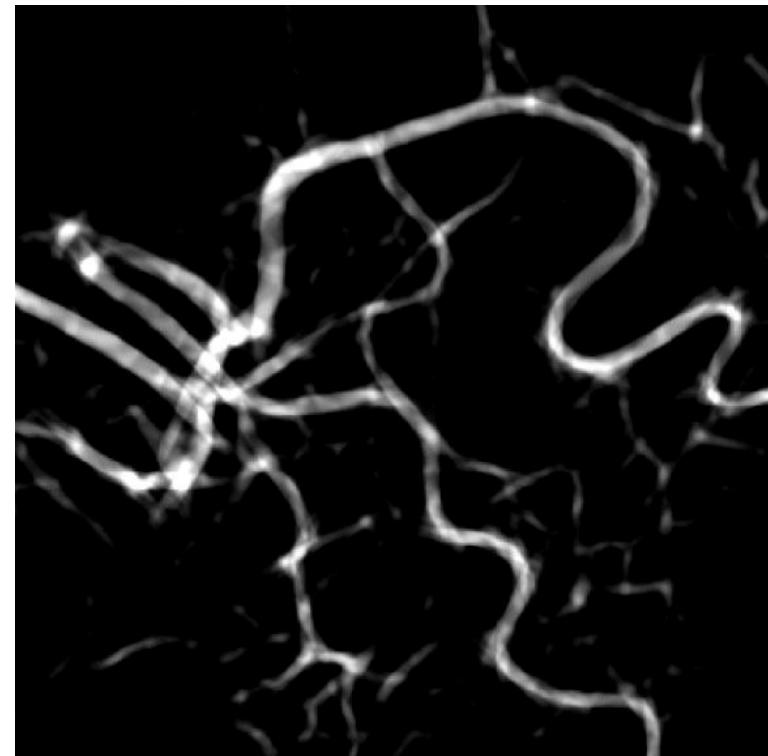


例2：增强图像便于分析

心血管造影图像的自动分析和诊断系统，需要准确分割血管。血管增强是分割前的关键步骤。



心血管造影

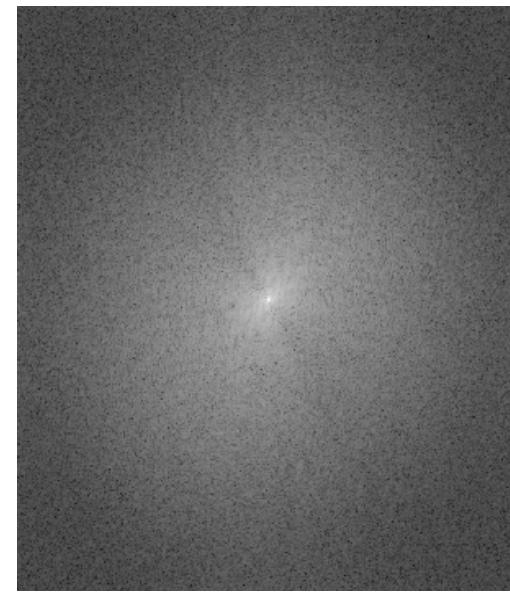


血管增强图

空域和频域的图像增强



月球图像



月球图像的傅里叶变换的幅度谱
(magnitude spectrum)

- 图像增强可在**空域** (*spatial domain*) 或**频域** (*frequency domain*) 进行
- 空域图像增强：直接修改像素值。
- 频域图像增强：先对输入图像做傅里叶变换（Fourier transform），然后修改频谱，最后做傅里叶反变换，得到增强的图像。

图像恢复

运动造成的
图像模糊



雾造成的图
像对比度低

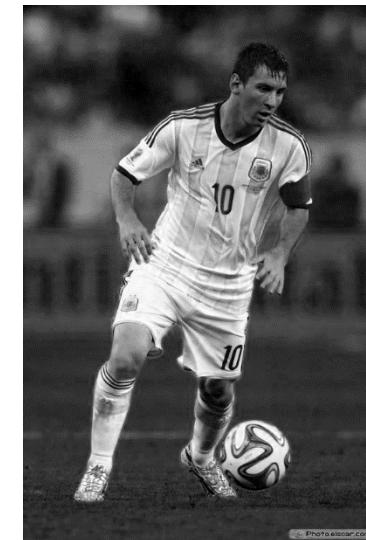
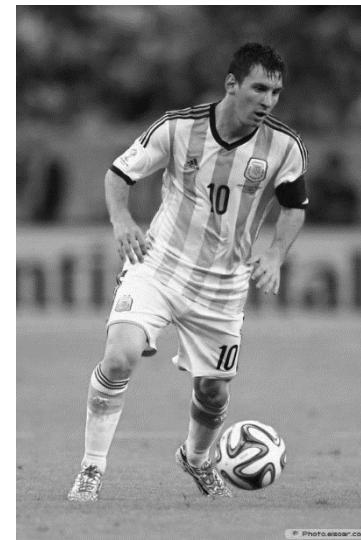
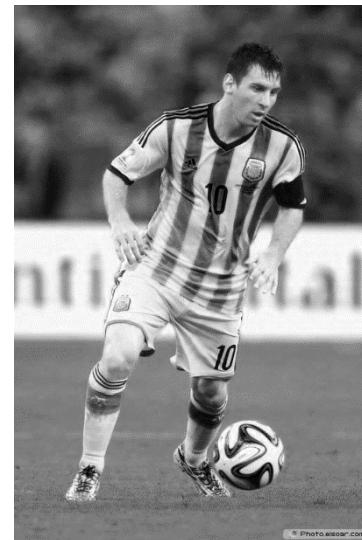


图像恢复

- 图像增强：改善图像质量，便于人观看或自动分析
- 图像恢复：认为图像在某种情况下退化了，根据相应的退化模型和知识，恢复原始图像
- 不同之处
 - 增强带有主观性，评价指标是人主观评价或后续算法性能
 - 恢复比较客观，评价标准是与原始图像的差异
- 相似之处
 - 可以改善图像质量
 - 有些滤波方法是相同的，例如空域滤波（均值滤波、中值滤波）、频域滤波（选择性滤波）
- 增强的含义更泛，可以包含恢复

彩色图像处理

- 日常生活的图像多数是彩色
- 本课程以灰度图像处理为主，因为不难推广到彩色图像
- 例如，分别处理不同通道的图像



R

G

B

彩色图像处理

一些彩色图像特有的处理技术，例如调整饱和度

减小饱和度



增加饱和度



图像压缩 (compression)

- 虽然存储、网络带宽按摩尔定律增长，但传感器的分辨率也按类似速度增长。
 - iPhone7的摄像头是1200万像素，一幅彩色图片的原始尺寸为3600万（36兆）字节。
 - 如果用移动流量，这得花多少钱？
- 因此，存储、带宽总是不够用。图像压缩依然很重要。
- 为什么图像可以被压缩？

编码冗余

r_k	$p_r(r_k)$	Code 1	$l_1(r_k)$	Code 2	$l_2(r_k)$
$r_0 = 0$	0.19	000	3	11	2
$r_1 = 1/7$	0.25	001	3	01	2
$r_2 = 2/7$	0.21	010	3	10	2
$r_3 = 3/7$	0.16	011	3	001	3
$r_4 = 4/7$	0.08	100	3	0001	4
$r_5 = 5/7$	0.06	101	3	00001	5
$r_6 = 6/7$	0.03	110	3	000001	6
$r_7 = 1$	0.02	111	3	000000	6

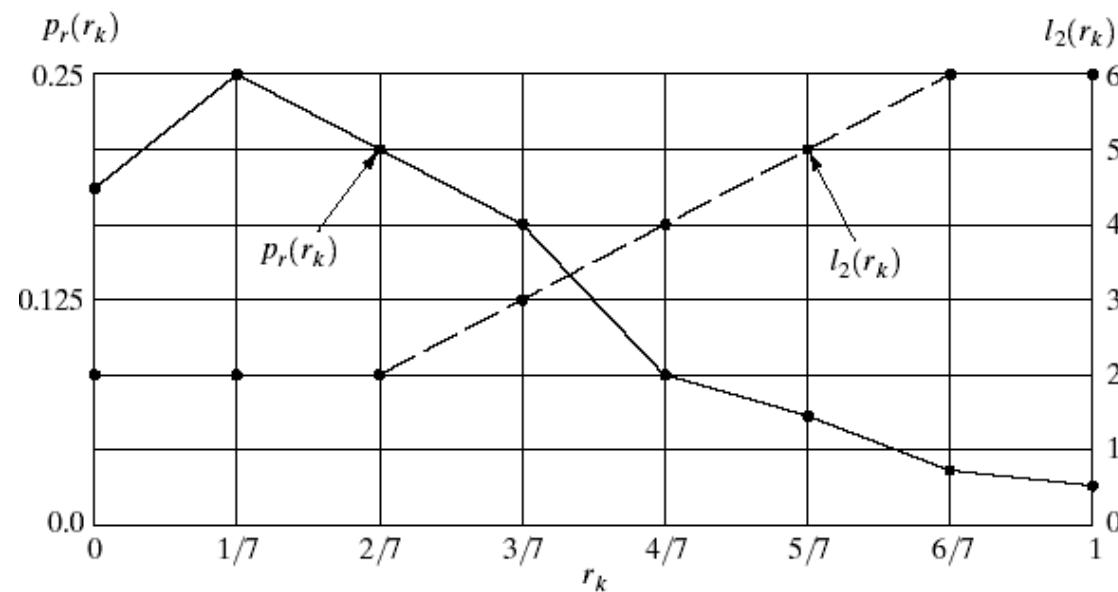
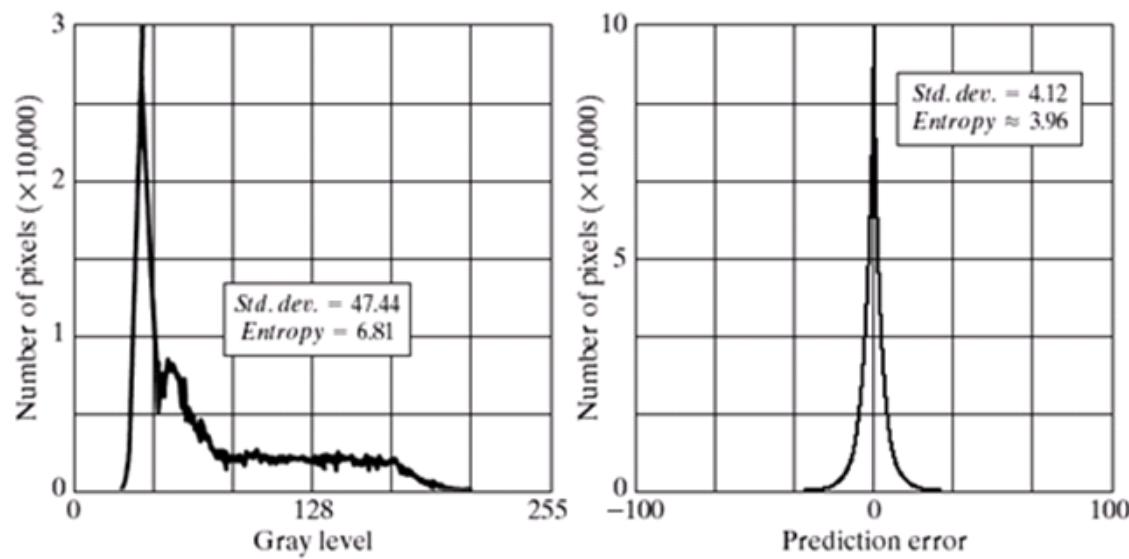


TABLE 8.1
Example of
variable-length
coding.

FIGURE 8.1
Graphic
representation of
the fundamental
basis of data
compression
through variable-
length coding.

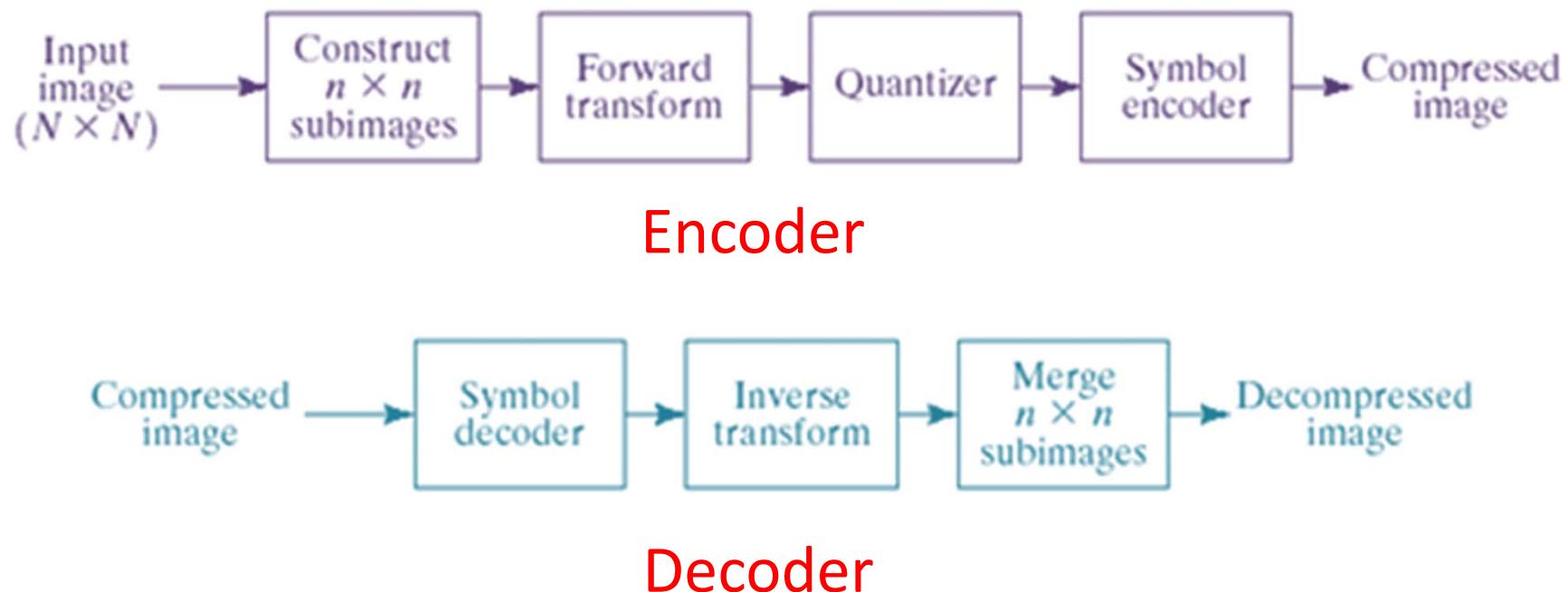
相邻像素值存在相关性

Predictor: $\hat{f}(x, y) = f(x, y - 1)$



变换编码 (Transform Coding)

Transform coding techniques operate on transform domain.



Compression is achieved during the quantization step.

JPEG采用的就是变换编码技术。作为通用的图像压缩技术，在20倍压缩比时，没有明显的质量下降。

形态学的开、闭运算

Original



opening



closing



opening+closing



形态学运算

ponents or broken connection paths. There is no point past the level of detail required to identify those components.

Segmentation of nontrivial images is one of the most difficult tasks in computer vision and image processing. Segmentation accuracy determines the eventual success of computerized analysis procedures. For this reason, care must be taken to improve the probability of rugged segments being detected, such as industrial inspection applications, at least some of the time. The experienced image processing designer invariably pays considerable attention to such

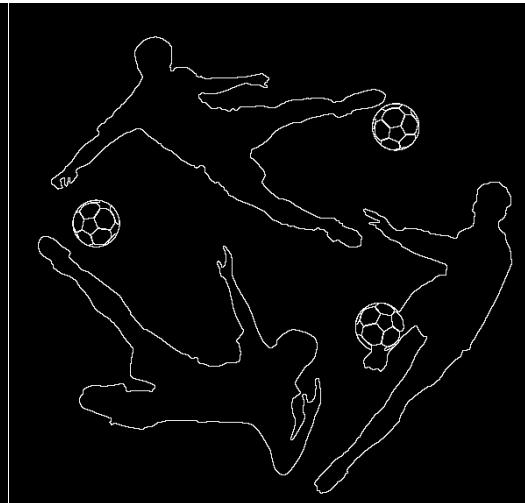
components or broken connection paths. There is no point past the level of detail required to identify those components.

Segmentation of nontrivial images is one of the most difficult tasks in computer vision and image processing. Segmentation accuracy determines the eventual success of computerized analysis procedures. For this reason, care must be taken to improve the probability of rugged segments being detected, such as industrial inspection applications, at least some of the time. The experienced image processing designer invariably pays considerable attention to such

Original

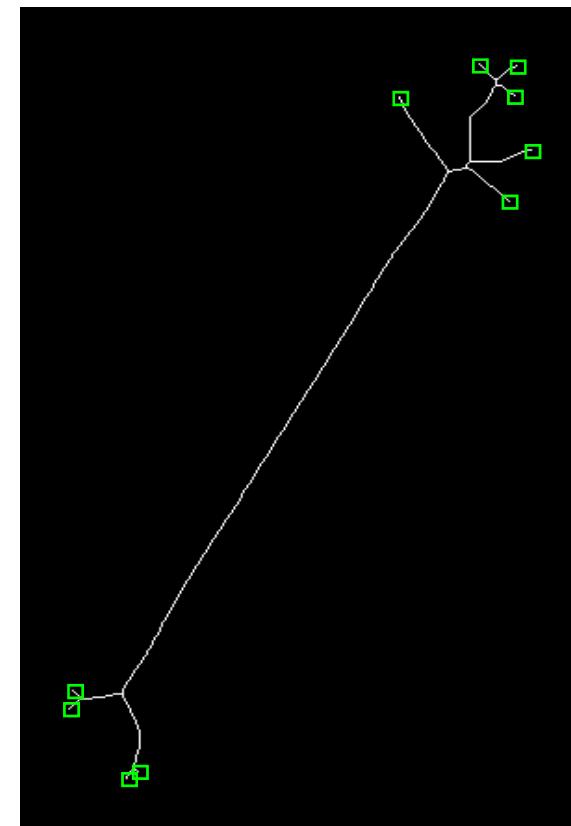


Original



检测边界

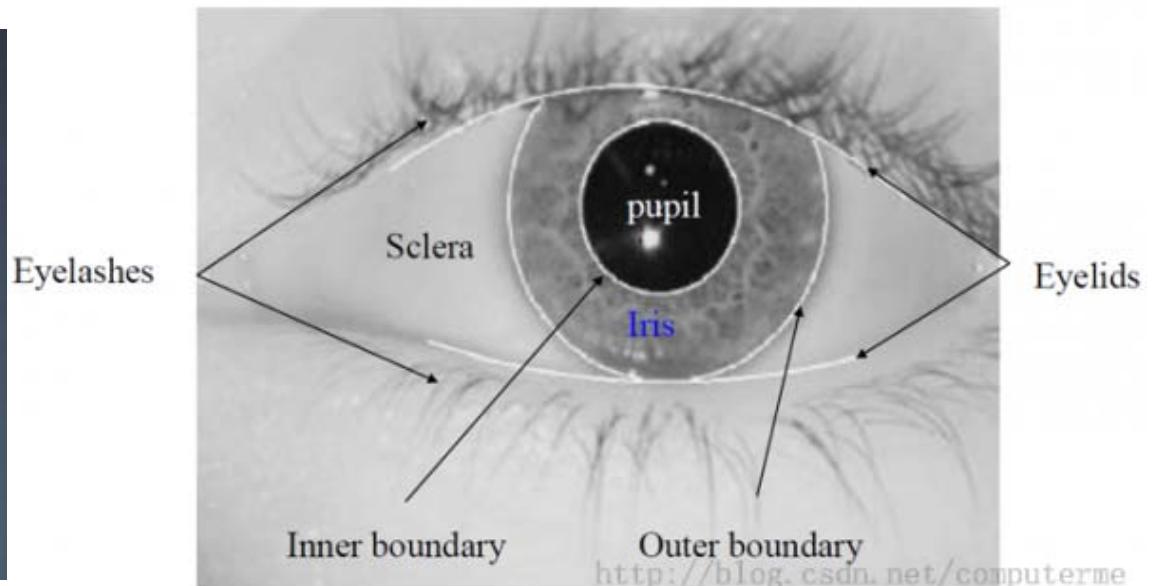
填洞



检测端点

图像分割（Segmentation）

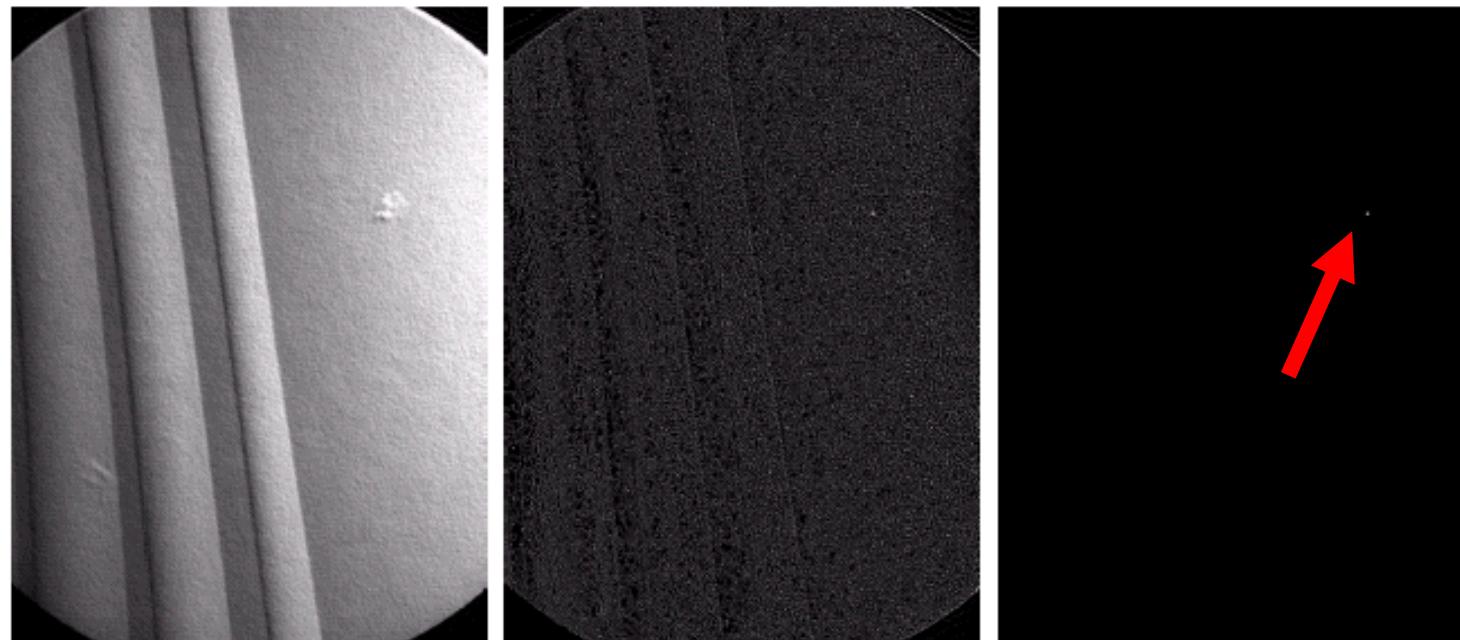
- 图像分割：将图像分为有意义的多个区域
- 意义：存在不同层次



<http://blog.csdn.net/computerme>

人脸检测，人脸子区域分割（关键点检测），眼部分割

点检测例子

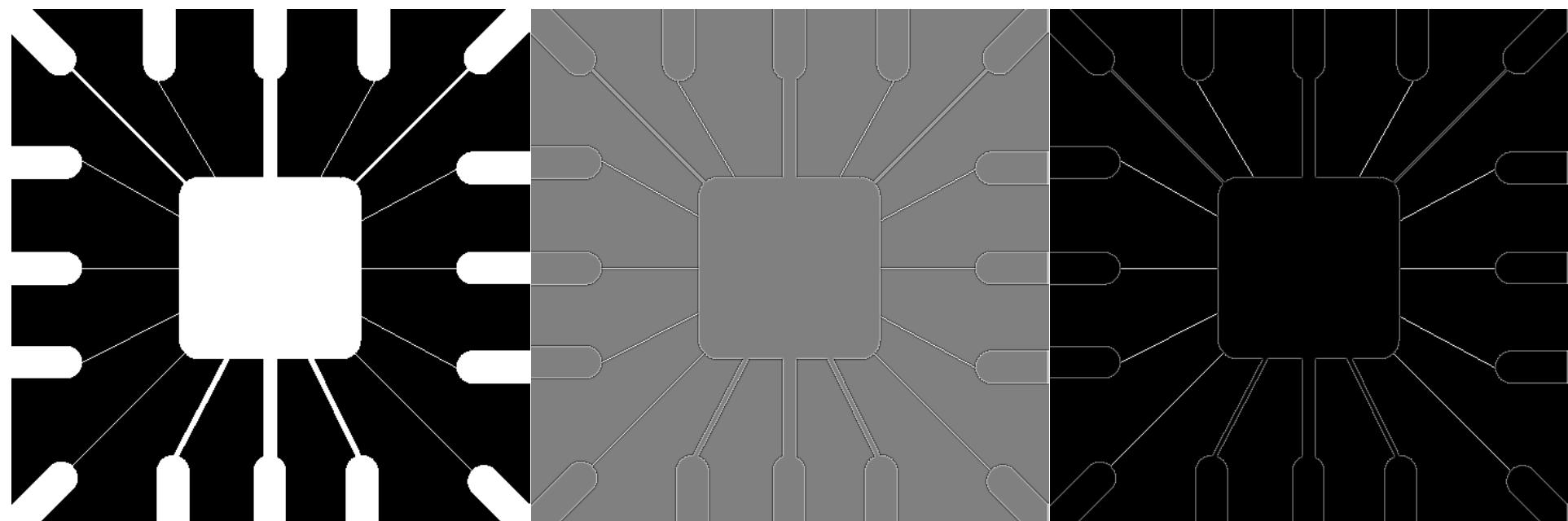


- 问题：检测飞机涡轮机叶片上的缺陷
- 左边为叶片的x光图像，右上方有一个很不明显的孔
- 利用拉普拉斯点检测器能检测出该孔

线的检测

- 一连串点组成直线
- 可用拉普拉斯算子检测线

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1



输入图像

拉普拉斯图像

拉普拉斯
图像的正值

边缘检测

- 前面介绍的点和线的检测，是一直比较特殊的图像分割（将图像中的点、线和背景分割开）
- 下面介绍的边缘检测更为通用

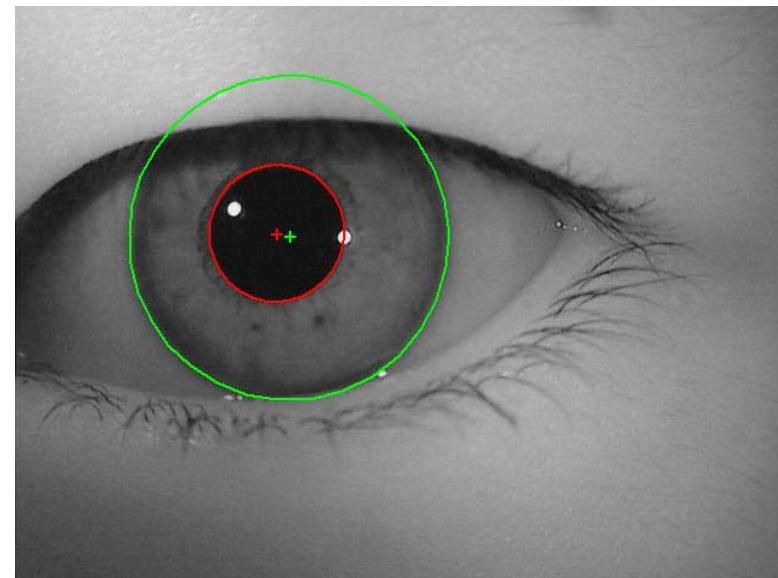


霍夫变换（Hough Transform）

- 边缘检测算法输出的边缘点往往不够连续，或包含许多错误边缘，或不适合后续的图像分析任务
- 如果我们将边缘构成的形状有某种先验知识（例如直线、圆、椭圆等），可以利用霍夫变换估计形状的参数，提高边缘的质量，或者用于图像分析任务



无人驾驶中的车道线检测



虹膜分割

图像配准

- 前面都是对于单幅图像进行处理
- 图像配准：将同一物体或场景的两幅不同图像中的对应点关联起来



全景图

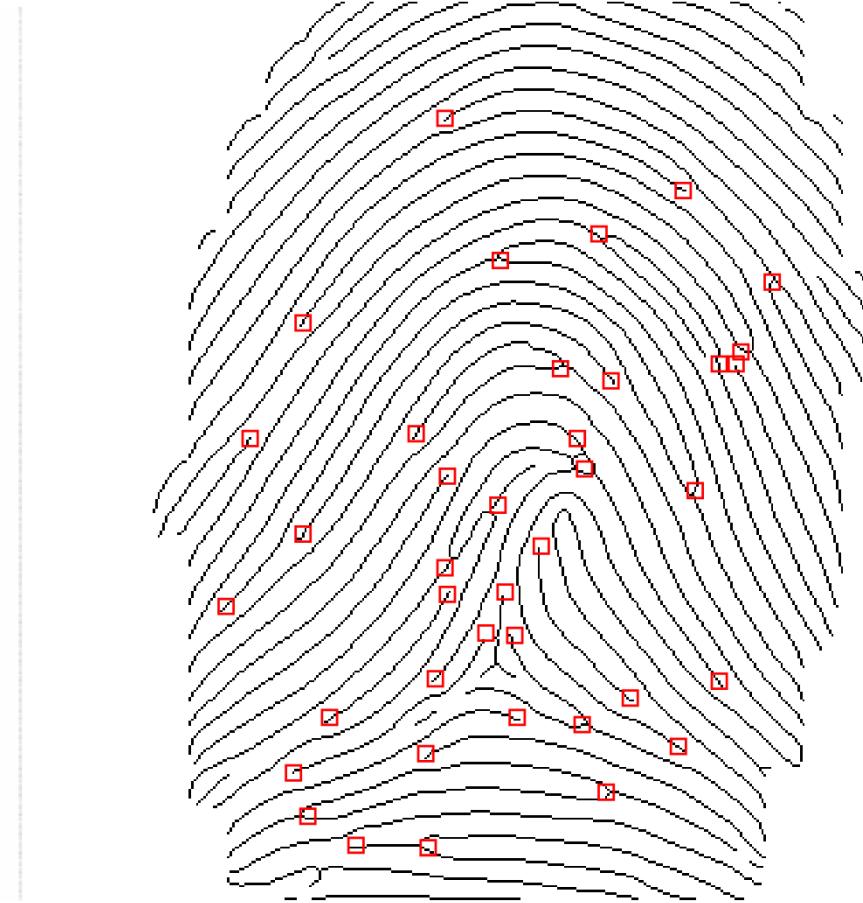


- 前面以多种图像为例，解释图像处理各步骤
- 这反应了图像处理应用非常广泛
- 下面以指纹为例，贯穿解释图像处理各步骤
- 指纹是一个很好的例子，指纹识别系统几乎涵盖了所有的图像处理步骤（彩色图像处理和图像恢复的用途较少）

图像处理运算

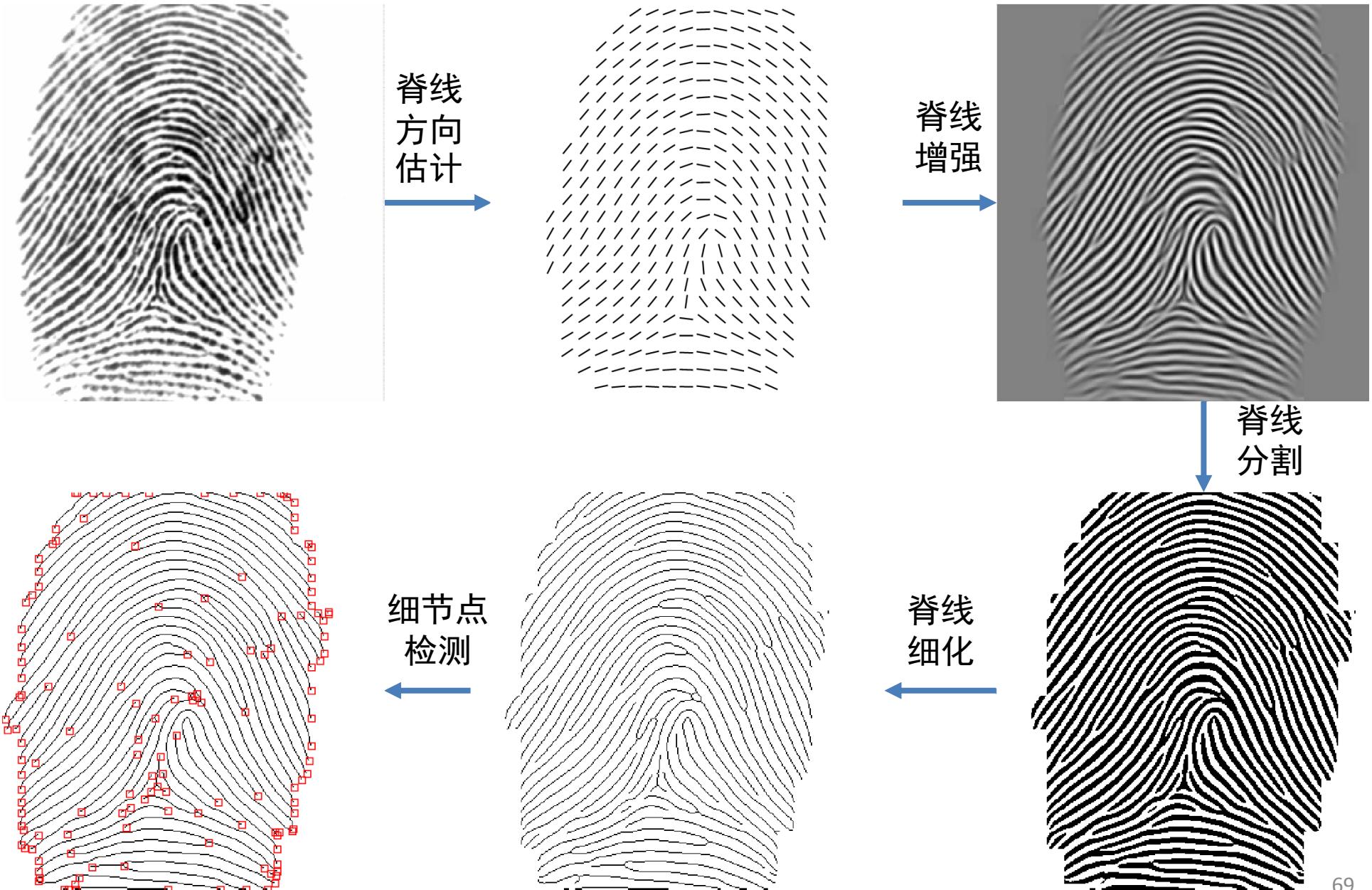
- 增强
- ~~恢复~~
- ~~彩色图像处理~~
- 压缩
- 形态学运算
- 分割
- 配准

指纹细节点提取



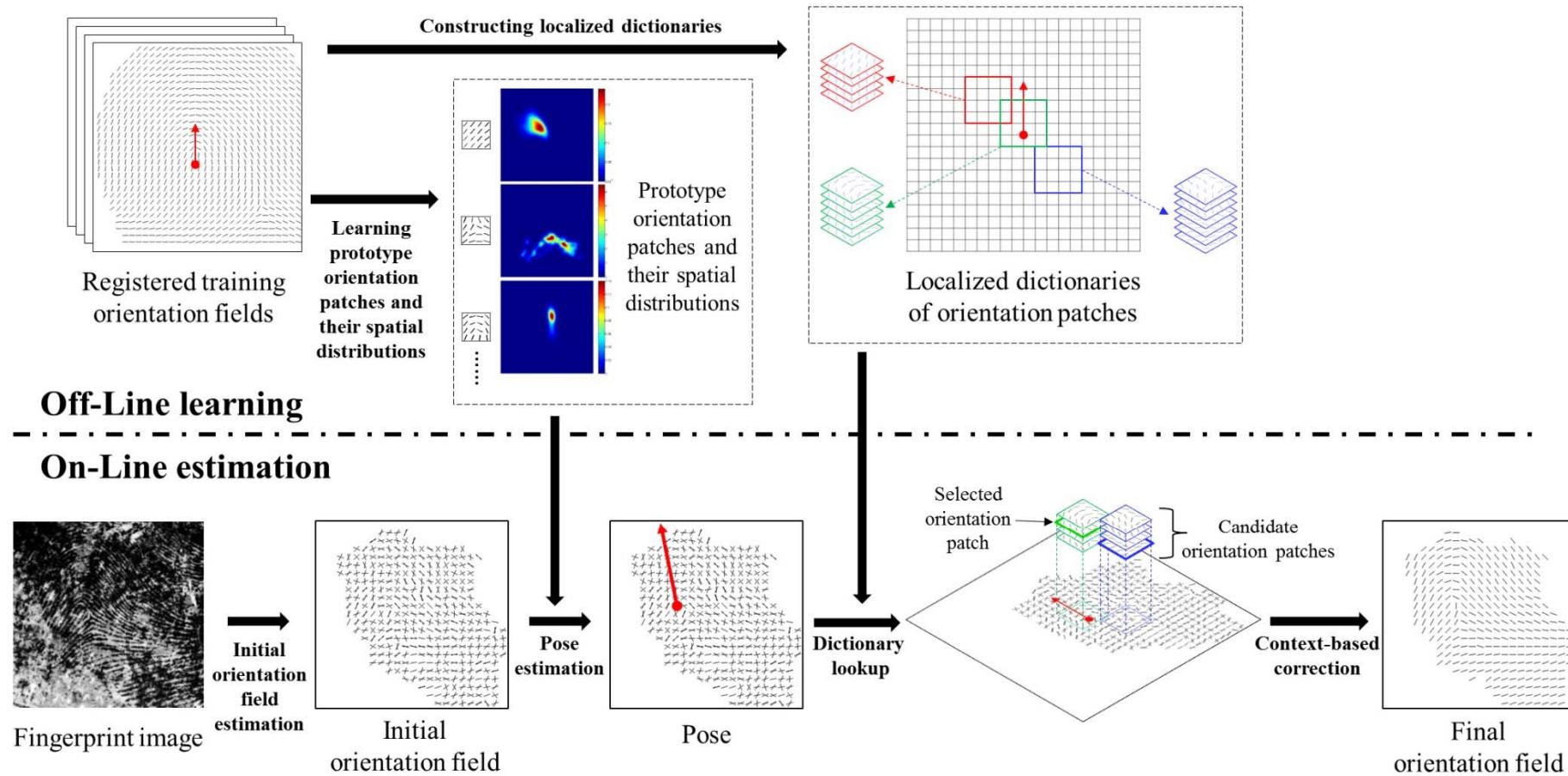
- 细节点是指纹识别系统的标准模板之一（如身份证）
- 细节点提取系统是指纹识别系统的重要部分
- 细节点提取系统包括许多模块（系统）

指纹细节点提取



基于局部字典的现场指纹方向场估计

指纹脊线方向场估计系统又由许多模块组成



Xiao Yang, Jianjiang Feng, Jie Zhou.

Localized Dictionaries Based Orientation Field Estimation for Latent Fingerprints.

IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI). 36(5): 955-969 (2014)

指纹压缩

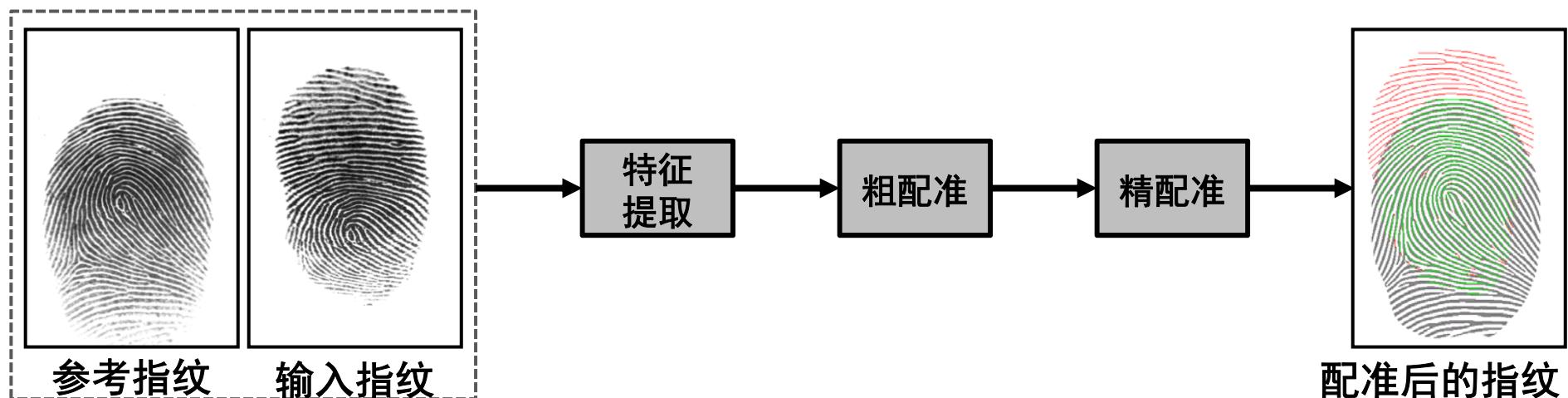
- 主流：小波标量量化（WSQ）、JPEG 2000
- 特定类别图像的压缩可以采用更有针对性的方法



Fig. 6. Decompressed (239x) fingerprint (1095 bytes) on the left, and the original (right).

指纹配准

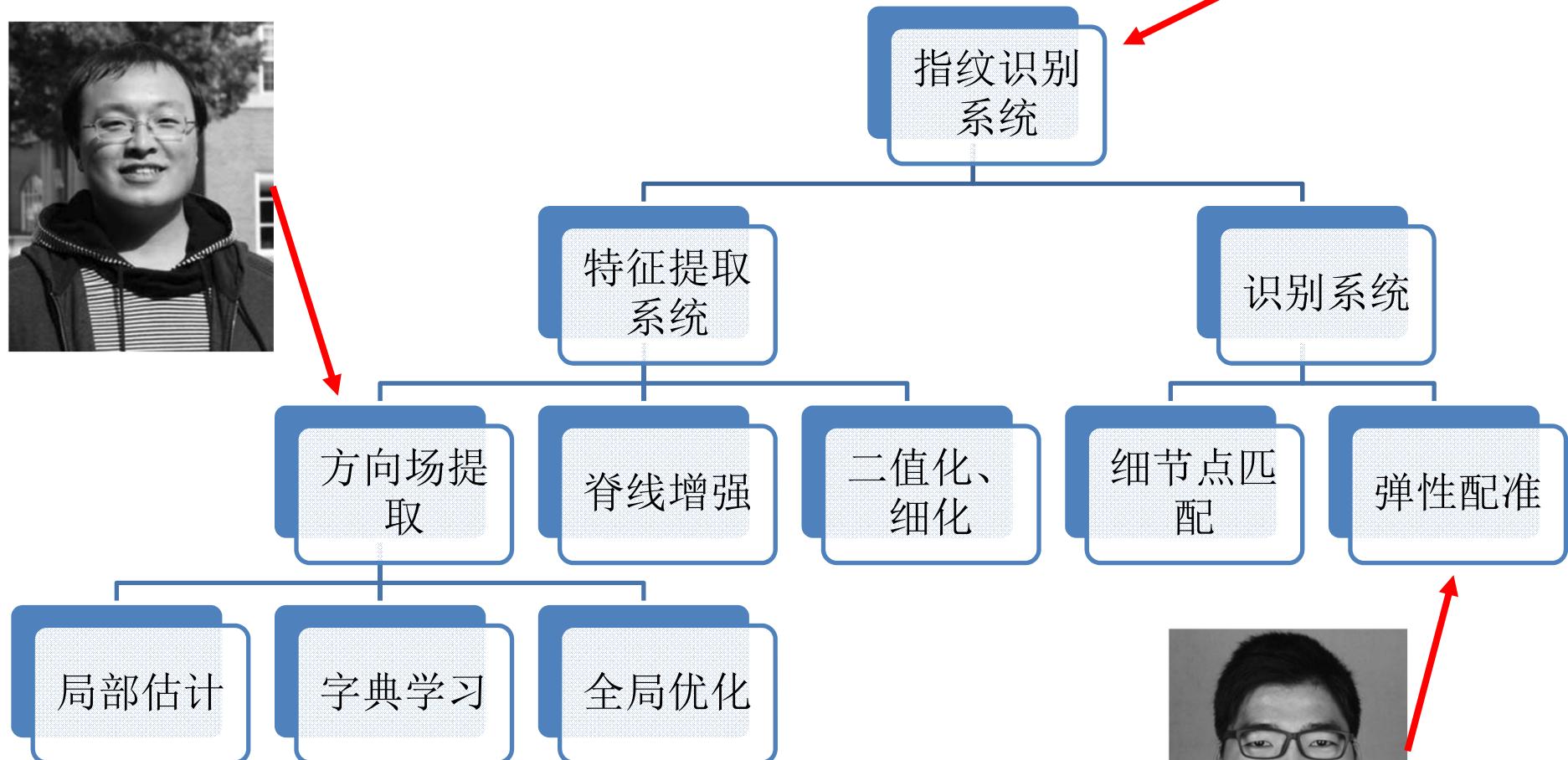
- **粗配准（初配准）**：利用细节点匹配，估计全局空间变换，将输入指纹和参考指纹粗略配准
- **精配准**：将指纹分块匹配，估计局部变形



X. Si, et al., "Dense registration of fingerprints", Pattern Recognition, 2016

指纹识别系统

输入：指纹图像
输出：分数
测试者：华为、公安



- 不完整（只显示一部分模块）
- 不同指纹识别系统的组成未必相同

