

图象工程（上）

# 图 象 处 理

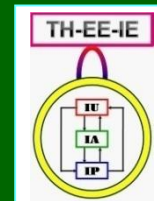
（第4版）

章毓晋

清华大学电子工程系 100084 北京



# 教材和主要参考资料



## 图象工程（第4版）

第1版：全国普通高等学校  
优秀教材一等奖

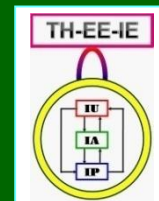


第2版：2008年北京高等教育精品教材  
全国普通高等教育“十一五”精品教材

第3版：2013年北京高等教育精品教材  
全国普通高等教育“十二五”规划教材



# 教材和主要参考资料

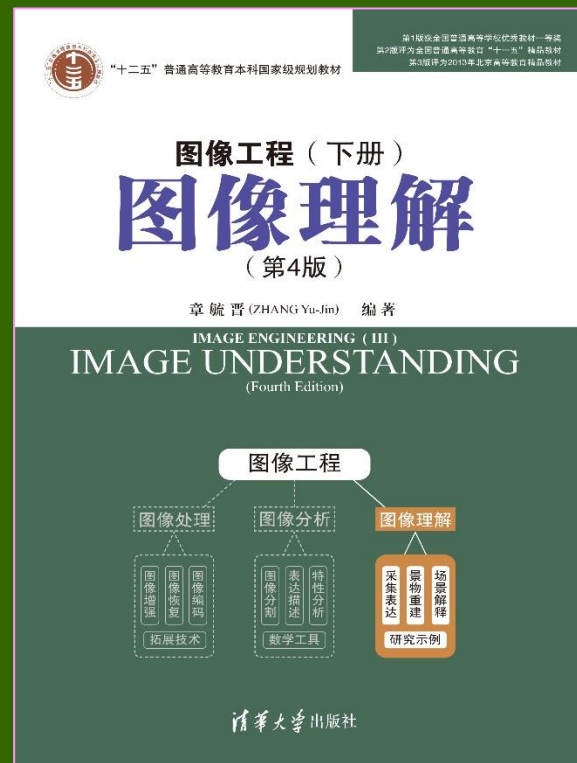
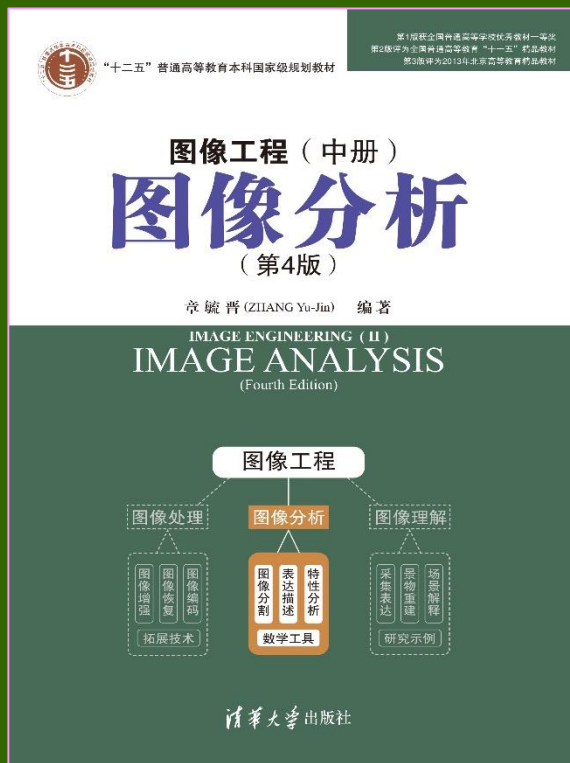
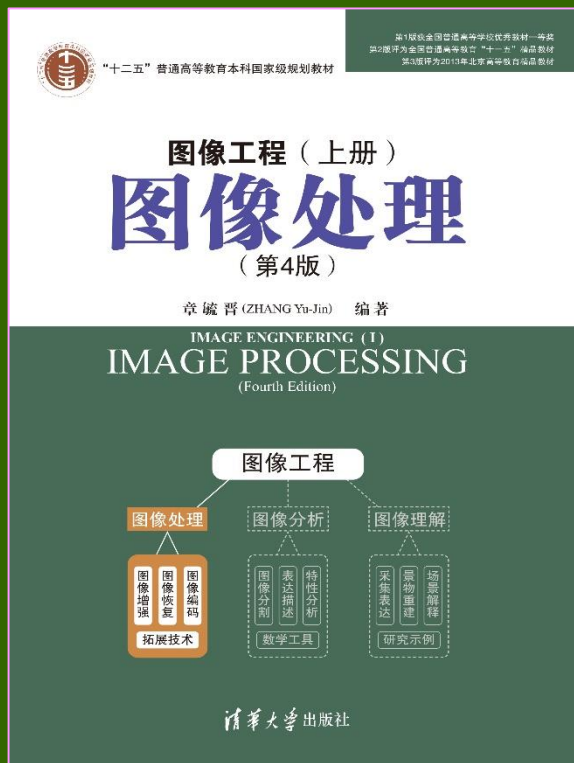


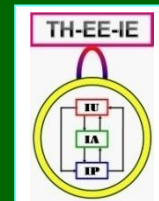
## 图象工程（第4版）

上册

中册

下册



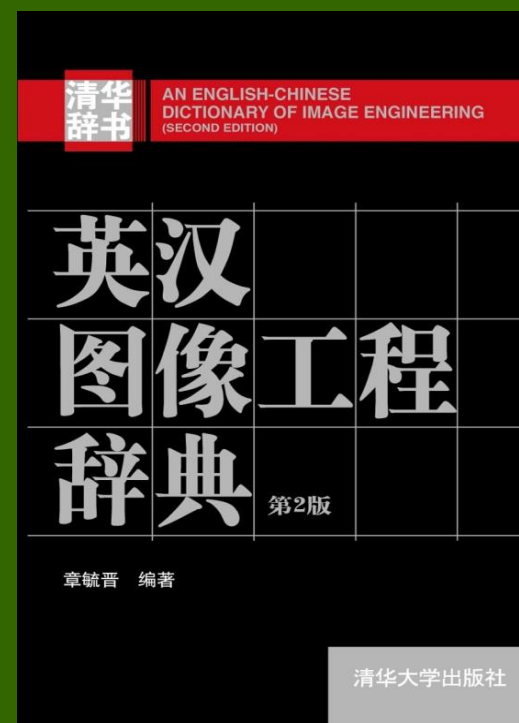


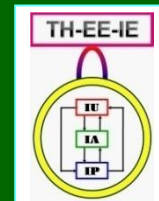
# 教材和主要参考资料



章毓晋。英汉图象工程辞典，第2版。  
北京：清华大学出版社，2015。

- 对图象工程学科（包括图象处理、图象分析、图象理解及其技术应用）中5200个常用概念和术语进行定义、介绍、注释和解读的辞典



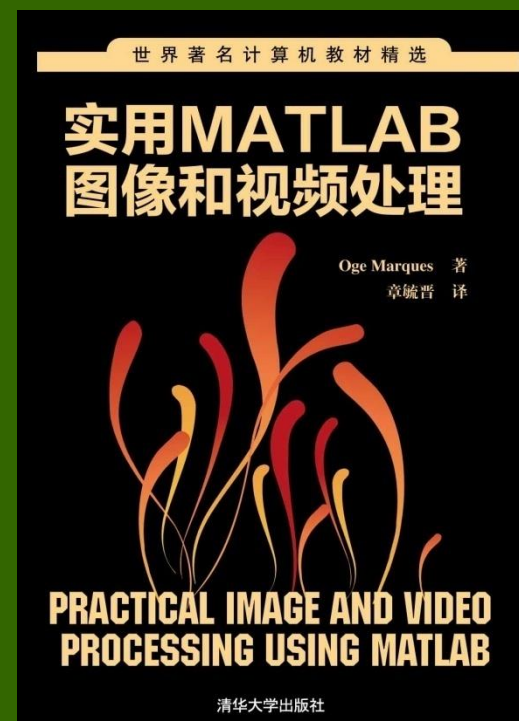


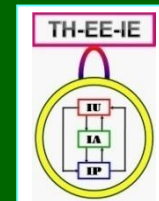
# 教材和主要参考资料



马奎斯(美). 实用MATLAB图象和视频处理.  
章毓晋(译). 北京: 清华大学出版社, 2013.

- 一本介绍图象和视频处理技术并辅以MATLAB算法实现的书籍。算法实现一方面可帮助进一步理解原理, 另一方面也有助于借助图象处理技术解决实际问题





# 教材和主要参考资料





<http://oa.ee.tsinghua.edu.cn/~zhangyujin/>

## HOMEPAGE

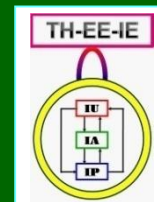
<http://oa.ee.tsinghua.edu.cn/~zhangyujin/>

### Contents

讲义

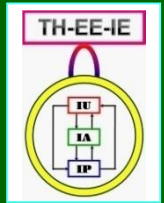
章毓晋		Yu-Jin ZHANG	
<a href="#">工作信息</a>		<a href="#">Information</a>	
 <a href="#">教学课程</a>		<a href="#">Teaching</a>	
<a href="#">编著书籍</a>		<a href="#">Books</a>	
<a href="#">研究文章</a>		<a href="#">Papers</a>	
<a href="#">个人简历</a>		<a href="#">Biography</a>	
上次修改：2017年12月31日		Last modified: Dec. 31st, 2017	
<a href="#">图象工程研究室成员</a>		<a href="#">Members of Image Engineering Laboratory</a>	

您是2011年10月1日起第  位访问本主页的学者



# 第1章 绪论

- 1.1 图象
- 1.2 图象工程简介
- 1.3 图象处理系统
- 1.4 内容框架和特点



# 1.1 图象

## 图象：

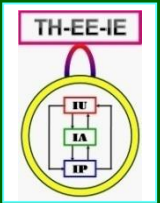
用各种观测系统以不同形式和手段观测客观世界而获得的，可以直接或间接作用于人眼并进而产生视知觉的实体

图象（广义/抽象） $\supset$  图像（狭义/具体）

## 图象和信息：

人类从外界（客观世界）获得的信息约有  
**75%**来自视觉系统





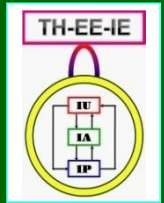
# 1.1 图象

图象种类很多：不同波段（辐射）  
不同类型（内容/形式）

1.1.1 图象表示和显示

1.1.2 空间分辨率和幅度分辨率

1.1.3 图象质量



# 1.1.1 图象表示和显示

## 图象类型

{广义}

照片，图片，动画，绘图，文字/档，...

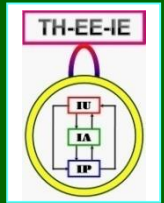
{狭义}

单幅  $\Rightarrow$  序列图象，...

静止  $\Rightarrow$  运动图象（视频），...

2-D  $\Rightarrow$  3-D，立体对，时空体，  
多光谱，多视场图象，...

灰度  $\Rightarrow$  彩色，深度，纹理图象，...



# 1.1.1 图象表示和显示

## 图象类型

{基本}

单幅，静止，2-D，灰度图象  $f(x, y)$

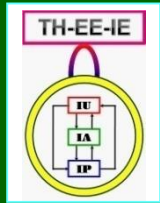
- 一般的图象表达函数（5-D有限函数）

$$T(x, y, z, t, l)$$

其中  $x$ 、 $y$ 、 $z$  是空间变量

$t$  代表时间变量

$l$  是波长（对应频谱变量）



# 1.1.1 图象表示和显示

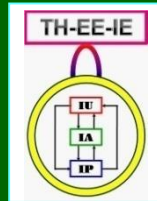
## 图象单元

一幅图象是许多图象单元的集合体

2-D图象： 像素（picture element）  
英文里常用pixel表示

3-D图象： 体素（volume element）  
英文里常用voxel表示

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



# 1.1.1 图象表示和显示

## 图象表示

2-D数组  $f(x, y)$

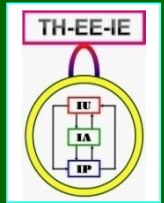
$x, y$ : 2-D空间 $XY$ 中坐标点的位置

$f$ : 代表图象在 $(x, y)$ 的性质 $F$ 的数值

$f, x, y$  的值在计算机内取整数

性质 $F$ : 可对应不同物理量

灰度图象里用灰度表示



# 1.1.1 图象表示和显示

## 图象表示

矩阵

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \cdots & f_{1N} \\ f_{21} & f_{22} & \cdots & f_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{M1} & f_{M2} & \cdots & f_{MN} \end{bmatrix}$$

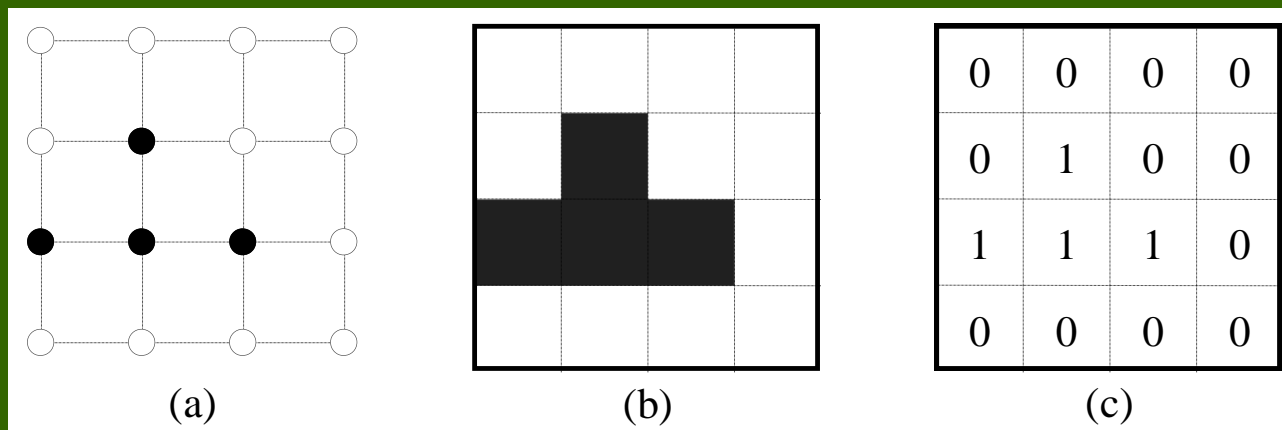
矢量

$$\mathbf{F} = [\mathbf{f}_1 \quad \mathbf{f}_2 \quad \cdots \quad \mathbf{f}_N]$$

$$\mathbf{f}_i = [f_{1i} \quad f_{2i} \quad \cdots \quad f_{Mi}]^T \quad i = 1, 2, \cdots, N$$

# 1.1.1 图象表示和显示

## 图象表示 (纸面)



- (a) 平面上的离散点集 (二值图)
- (b) 像素区域 (二值图)
- (c) 类似矩阵的结果 (也可灰度图)

# 1.1.1 图象表示和显示

## 图象显示

Camerman



Lena

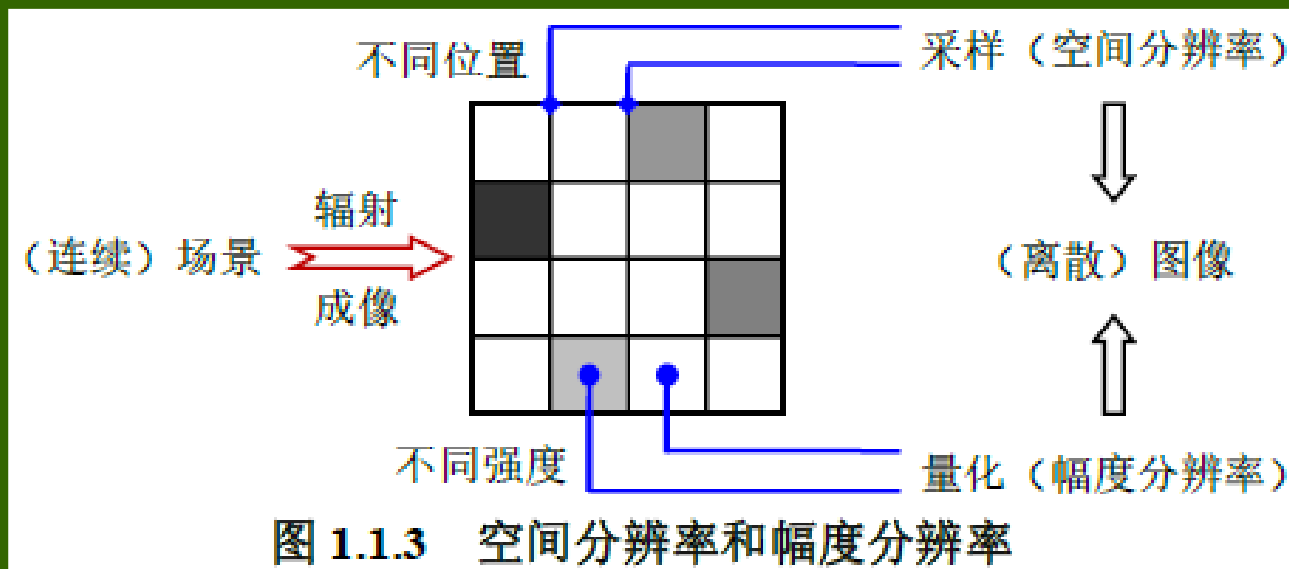


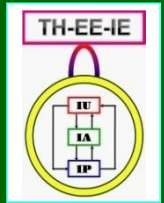


## 1.1.2 空间分辨率和幅度分辨率

几何成象模型确定了图象所对应的空间视场，  
而亮度成象模型确定了图象的幅度范围

空间视场中的精度对应其空间分辨率，而幅  
度范围中的精度对应其幅度分辨率





## 1.1.2 空间分辨率和幅度分辨率

分辨率  
与  
数据量

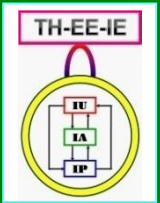
$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \cdots & f(0,M-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \cdots & f(1,M-1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(N-1,0) & f(N-1,1) & \cdots & f(N-1,M-1) \end{bmatrix}$$

图象（水平）尺寸  $M$ :  $M = 2^m$

图象（垂直）尺寸  $N$ :  $N = 2^n$

象素灰度级数  $G$  ( $k$ -bit):  $G = 2^k$

图象所需的位数  $b$ :  $b = M \times N \times k = N^2 k$



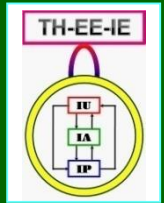
## 1.1.2 空间分辨率和幅度分辨率

### ➤ 采样:

1000×1000单元的传感器矩阵只有 $10^{-3}$ 的相对分辨率，而长度、电压，频率等测量的相对分辨率常远高于 $10^{-6}$ ，但图象给出了信号的（多点）空间变化信息

### ➤ 量化级数的选择:

- (1) 人类视觉系统的分辨率（看得到连续的亮度变化而不要看出间断的量化级数）
- (2) 满足具体应用所需要的分辨率（如打印图象可只16个灰度级 < 屏幕显示的灰度级）



## 1.1.3 图象质量

### (1) 亮度

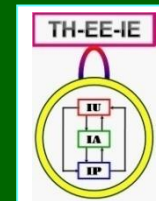
图象的亮度本身是一个客观量（人对它的感知是一个主观量）。图象的亮度常对应图象的灰度，较大的灰度值对应较高的亮度

### (2) 对比度

描述图象局部范围内相邻两部分之间的亮度差别（也称反差）

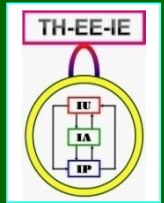
相对亮度对比度

$$RBC = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$



## 1.2 图象工程简介

- 1.2.1 图象技术和图象工程
- 1.2.2 图象工程的三个层次
- 1.2.3 图象工程相关学科和领域
- 1.2.4 图象工程的技术应用
- 1.2.5 图象工程文献统计分类



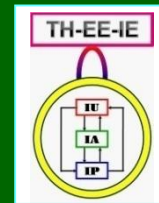
# 1.2.1 图象技术和图象工程

## 图象技术

图象技术在广义上是各种与图象有关的技术的总称

主要功能/作用包括：

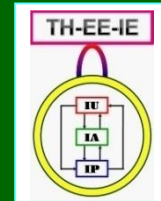
- 对图象的各种加工（见下）
- 基于加工结果的判断决策和行为规划
- 为此进行的硬件设计及制作



## 1.2.1 图象技术和图象工程

### 图象技术 《英汉图象工程辞典》

例如：图象的采集、获取、编码、存储和传输，合成和产生，显示和输出，变换、增强、修补/修复、校正、恢复/复原和重建，图象的分割，目标的检测、表达和描述，特征的提取和测量，序列图象的校正，3-D景物的重建复原，图象数据库的建立、索引、查询和抽取，图象和目标的分类、表示和识别，图象模型的建立和匹配，图象和场景的分类、解释和理解，……



## 1.2.2 图象工程的三个层次

### 图象工程：

一门系统地研究各种图象理论、技术和应用的新的交叉学科

不同层次图象技术的有机结合及应用

### 图象工程三层次：

图象处理（图象  $\Rightarrow$    $\Rightarrow$  图象）

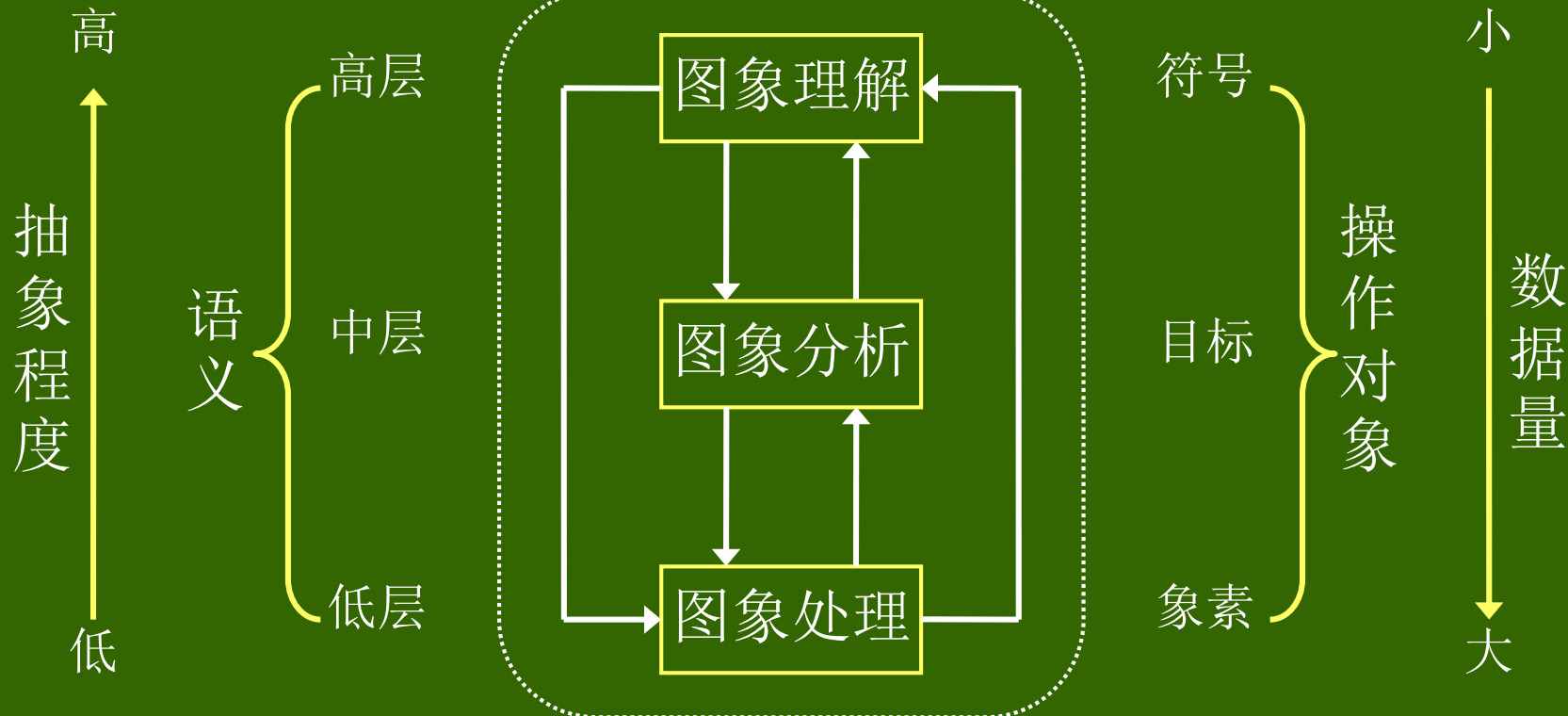
图象分析（图象  $\Rightarrow$    $\Rightarrow$  数据）

图象理解（图象  $\Rightarrow$    $\Rightarrow$  解释）



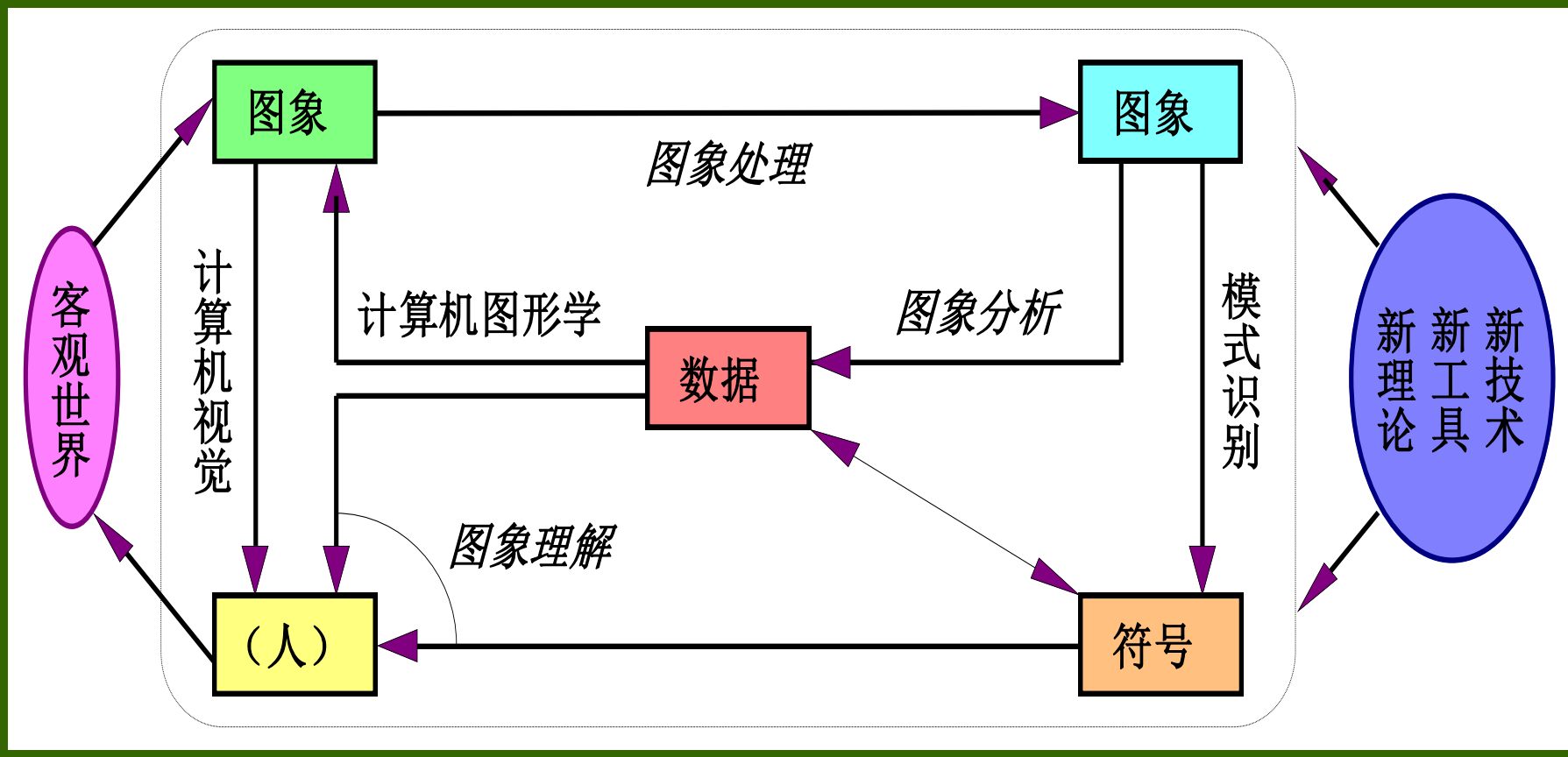
# 1.2.2 图象工程的三个层次

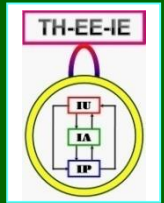
## 图象工程三层次



# 1.2.3 图象工程相关学科和领域

## 图象工程 与其他学科

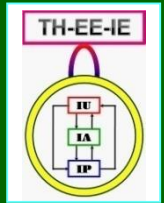




## 1.2.3 图象工程相关学科和领域

### 数学方法和模型的支撑:

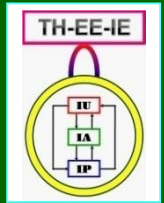
- ◆ 信号处理和矩阵理论
- ◆ 傅里叶变换和频谱分析
- ◆ 盖伯变换和空间-频率分析
- ◆ 小波变换和空间-尺度分析
- ◆ 随机 (stochastic) 建模, 统计和概率
- ◆ 机器学习、深度学习
- ◆ 变分方法, 形态学方法
- ◆ 偏微分方法
- ◆ 热力学和统计力学 (熵、势), 贝叶斯统计推理



## 1.2.4 图象工程的技术应用

### 应用领域示例:

- (1) 视频通信: 可视电话, 电视会议, 按需电视, 远程教育
- (2) 文字档案: 文字识别, 过期档案复原, 邮件分检, 支票, 签名辨伪, 办公自动化
- (3) 生物医学: 红白细胞计数, 染色体分析、X光、CT、MRI、PET图象分析, 医学手术模拟规划, 远程医疗
- (4) 遥感测绘: 巡航导弹制导, 无人驾驶飞机飞行, 精确制导, 矿藏勘探, 资源探测, 气象预报, 自然灾害监测
- (5) 工业生产: 工业检测, 工业探伤, 自动生产流水线监控, 移动机器人, 无损探测, 金相分析, 印刷板质量检验, 精细印刷品缺陷检测
- (6) 军事公安: 雷达图象分析、巡航导弹路径规划 / 制导, 罪犯脸型合成、识别, 指纹、印章的鉴定识别
- (7) 交通管理: 太空探测、航天飞行、公路交通管理



## 1.2.5 图象工程文献统计分类

### 中国图象工程综述

(中国图象图形学报, 5月期)

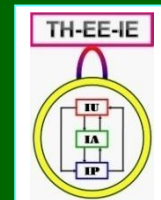
### 文献统计分类

共统计 **15** 种刊物

已进行 **23** 年 (1995-2017)

涉及到 **59323** 篇论文

选取了 **14348** 篇论文



## 1.2.5 图象工程文献统计分类

### 当前文献比较集中的领域

#### A: 图象处理

- A1: 图象采集和获取 (成象方法、摄象机校正等)
- A3: 图象增强/恢复 (变换, 滤波, 修补, 校正)
- A4: 图象压缩编码 (算法研究、国际标准实现等)
- A5: 图象数字水印和图象信息隐藏
- A6: 图象多分辨率处理

#### B: 图象分析

- B1: 图象分割, 边缘及感兴趣点等基元检测
- B4: 目标检测和识别 (2-D定位、追踪、分类等)
- B5: 人体生物特征提取和验证

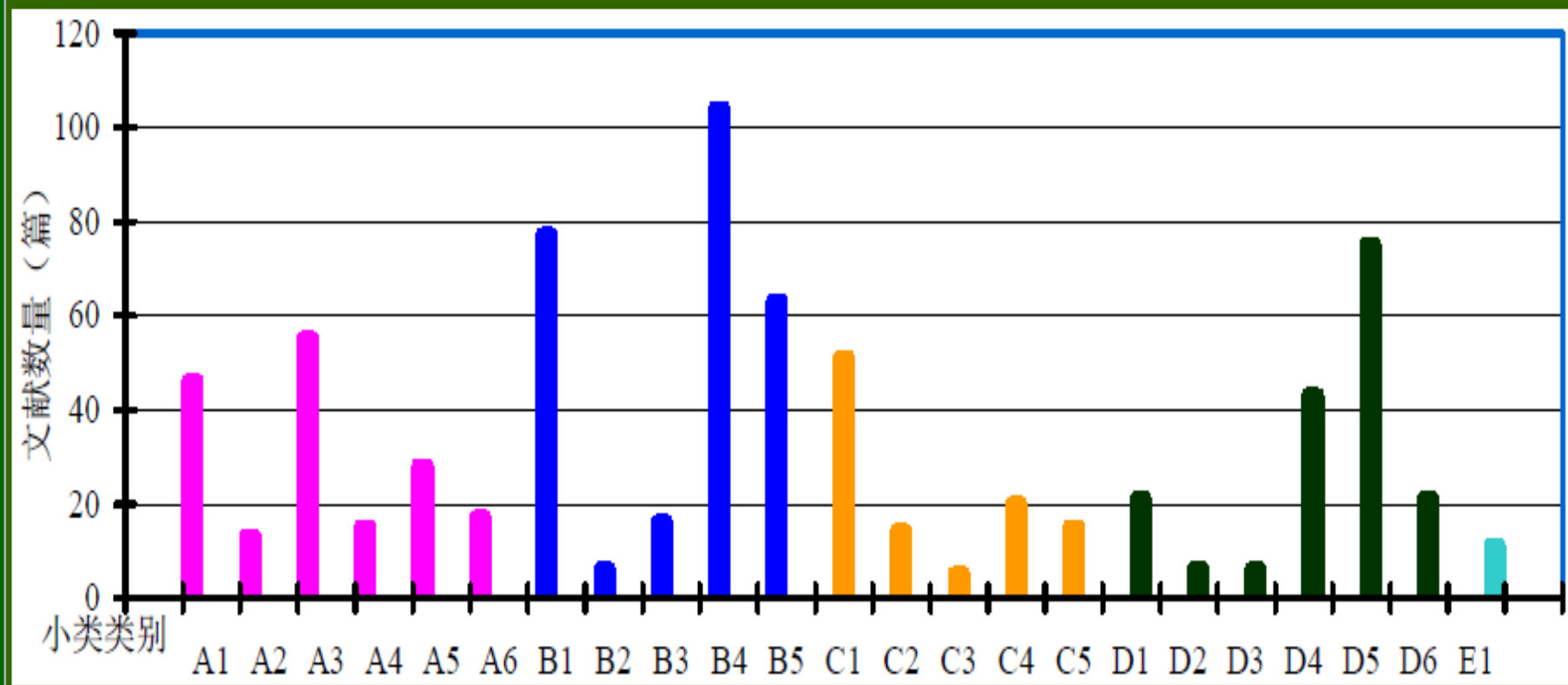
#### C: 图象理解

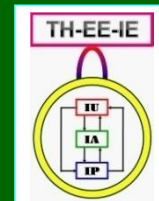
- C1: 图象匹配、融合 (序列、立体图配准、镶嵌)
- C4: 基于内容的图象和视频检索

## 1.2.5 图象工程文献统计分类

### 当前文献比较集中的领域

2016年对23个小类进行文献分类的结果图





## 1.3 图象处理系统

1.3.1 系统构成框图

1.3.2 图象采集

1.3.3 图象显示打印

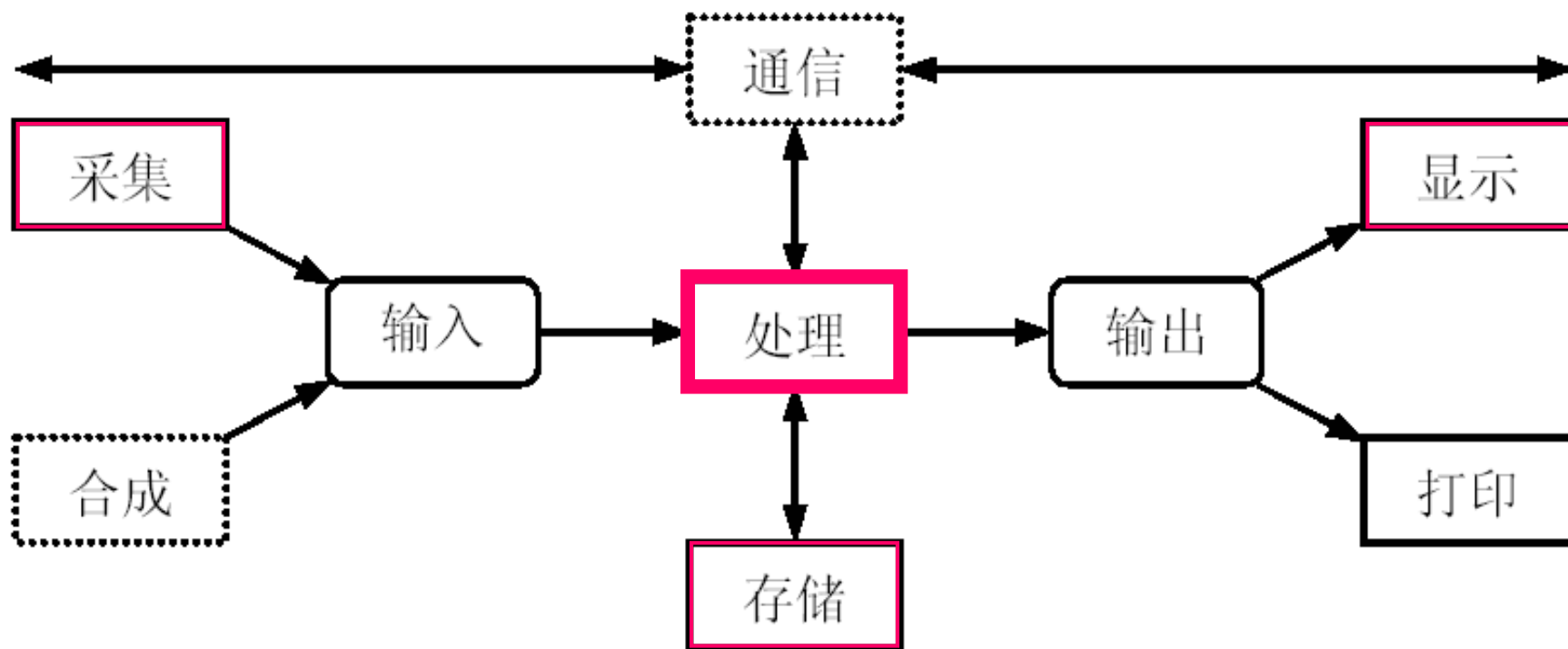
1.3.4 图象存储

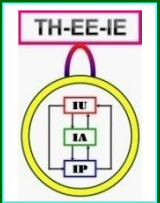
1.3.5 图象处理



# 1.3.1 系统构成框图

## 系统构成框图



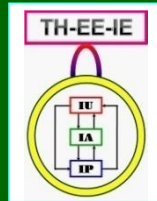


## 1.3.2 图象采集

### 图象采集装置

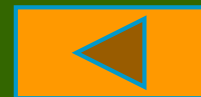
为采集数字图象，需要两种装置（器件）：

- (1) 对某个电磁能量谱波段（如X射线、紫外线、可见光、红外线等）敏感的物理器件，它能产生与所接收到的电磁能量成正比的（模拟）电信号
- (2) 数字化器，它能将上述（模拟）电信号转化为数字（离散）的形式



## 1.3.2 图象采集

### 图象采集设备



#### 电荷耦合器件CCD (Charge-Coupled Device)

利用电荷存储传送和读出方式工作

(1) 固态阵：由感光基元构成

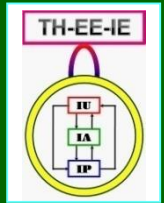
感光基元产生正比于光强的电压

摄象机空间分辨率取决于基元排列

(2) 数字化器

摄象机幅度分辨率取决于量化级数

(CMOS, CID)



## 1.3.3 图象显示打印

### 图象显示

图象处理的结果多是供观察的  
图象数据  $\Rightarrow$  亮度模式显示

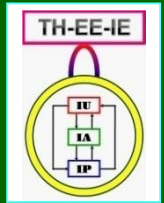
### 显示设备

电视显示器，液晶显示器，LED

阴极射线管（CRT）

打印设备

转换到幻灯片、照片或透明胶片上



## 1.3.3 图象显示打印

### 半调 (halftone) 输出技术

多数打印设备仅能直接显示输出二值图

半调技术：利用人眼的集成特性，通过控制二值点模式的形式（包括数量，尺寸，形状等）来获得视觉上不同的灰度感觉

一种用二值输出设备获得灰度图象的技术  
用黑白二值（墨粉有无）打印出多个灰度

## 1.3.3 图象显示打印

### 幅度调制 (AM)



通过调整输出黑点的尺寸来显示不同的灰度

例如，早期报纸上的图片

在每个空间位置打印一个其尺寸反比于该处灰度的黑圆点

所有二值点规则地排成网格

点的形状并不是决定性的因素

## 1.3.3 图象显示打印

### 频率调制 (FM)



输出黑点的尺寸是固定的

其在空间的分布（点间的间隔或一定区域内点出现的频率）取决于所需表示的灰度

分布密：较暗；分布稀：较亮

缺点：点增益（打印单元尺寸相对于原始单元尺寸的增加量）增加导致打印图灰度范围的减少或压缩

## 1.3.3 图象显示打印

### 抖动 (dithering) 输出技术

半调技术

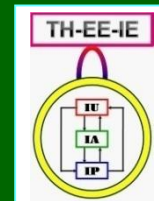
⇒ 利用随机变化

牺牲图象的空间  
点数而增加图象的灰  
度级数

要保持细节，灰  
度级数就有限，有可  
能出现虚假轮廓现象

$$f(x, y) + \begin{cases} -2^{(6-b)} \\ -2^{(5-b)} \\ 0 \\ 2^{(5-b)} \\ 2^{(6-b)} \end{cases}$$





## 1.3.4 图象存储

### 图象存储

数据量度单位

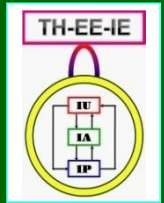
比特 (bit) , 字节 (byte = 8 bit)

千字节 ( K byte)

兆 ( $10^6$ ) 字节 (M byte)

吉 ( $10^9$ ) 字节 (G byte)

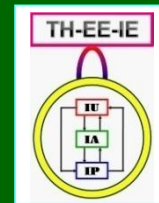
太 ( $10^{12}$ ) 字节 (T byte)



## 1.3.4 图象存储

### 图象存储器

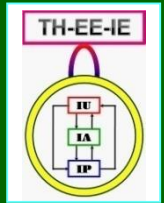
- (1) 处理过程中使用的快速存储器  
计算机内存，帧缓存
- (2) 较快重新调用的在线或联机存储器  
磁盘，磁光盘
- (3) 不经常使用的数据库（档案库）存储器  
磁带，光盘，光盘塔



## 1.3.5 图象处理

### 图象处理

- 增强图象以改善图象的视觉质量
- 恢复退化图象以消除各种降质干扰的影响
- 根据对景物的投影来获得景物内部的图象
- 对图象进行编码以减少表达图象的数据量，  
以有利于存储和传输
- 给图象加入数字水印以保护图象的所有权



# 1.4 内容框架和特点

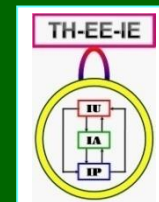
## 图象处理

第1单元：图象增强

第2单元：图象恢复

第3单元：图象编码

第4单元：扩展技术



# 1.4 内容框架和特点

## ✪ 授课进度和安排

第1章 绪论

第2章 空域增强：点操作

第3章 空域增强：模板操作

第4章 频域图象增强

第5章 图象消噪和恢复

第6章 图象校正和修补

第7章 图象去雾

第8章 图象投影重建

第9章 图象编码基础

第10章 图象变换编码

第11章 其他图象编码方法

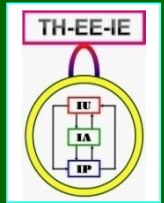
第12章 图象水印

第13章 彩色图象处理

第14章 视频图象处理

第15章 多尺度图象处理

附录A 图象国际标准



# 1.4 内容框架和特点

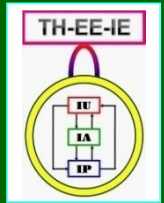
## ✪ 总结和复习

### 1. 各节小结和文献介绍

- 每节主要内容的概况
- 进一步深入学习的参考（280篇文献）

### 2. 思考题和练习题

- 每章12个，全书共180个，对其中30个（每章2个）提供了参考解答



# 1.4 内容框架和特点



## 学习图象工程所需的基础知识

- 数学：线性代数，随机过程，概率统计
- 计算机科学：数据结构，软件编程
- 电子工程：信号处理，电路原理



## 图象工程

- 数学、计算机的应用领域
- 1-D信号的推广，特殊的模式识别技术



# 联系信息

- ☞ 通信地址：北京清华大学电子工程系
- ☞ 邮政编码：100084
- ☞ 办公地址：清华大学，罗姆楼，6层305室
- ☞ 办公电话：(010) 62798540
- ☞ 传真号码：(010) 62770317
- ☞ 电子邮件：[zhang-yj@tsinghua.edu.cn](mailto:zhang-yj@tsinghua.edu.cn)
- ☞ 个人主页：[oa.ee.tsinghua.edu.cn/~zhangyujin/](http://oa.ee.tsinghua.edu.cn/~zhangyujin/)