

图象工程（中）

# 图 象 分 析

（第4版）

章毓晋

清华大学电子工程系 100084 北京

# 第1单元 图象分割

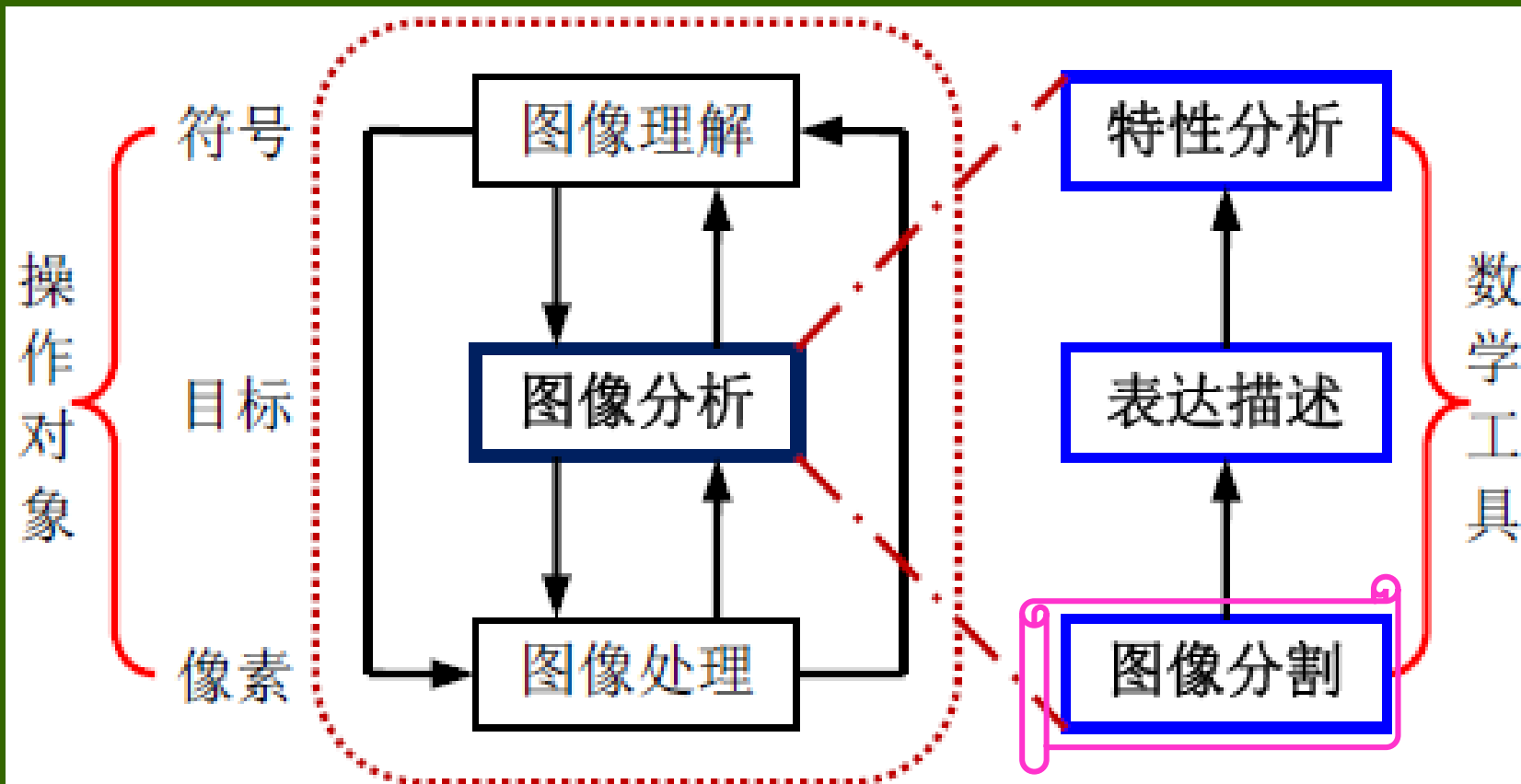
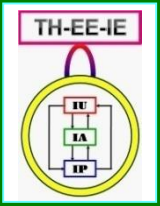


图 1.2.2 图像分析主要功能模块

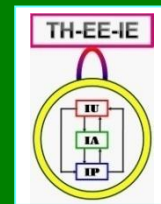


# 第1单元 图象分割

- 第2章 图象分割基础
- 第3章 典型分割算法
- 第4章 分割技术扩展
- 第5章 分割评价比较

图象分割是由图象处理进到图象分析的关键步骤

很多时候关注的仅是图象中的目标或前景（其他部分称为背景），它们一般对应图象中特定的、具有独特性质的区域

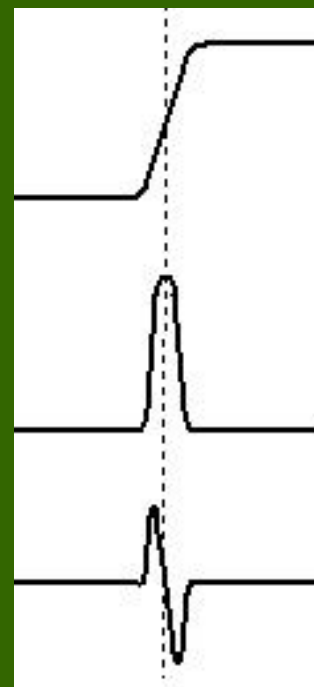


# 第5章 分割评价比较

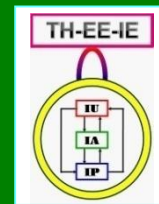
## 图象分割的评价

对图象分割研究的三个层次

- (1) 图象分割
- (2) 对图象分割的评价  
帮助把握不同分割算法的性能
- (3) 对评价方法和准则的系统比较  
帮助把握不同评价方法的性能

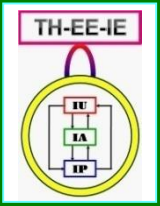


$$Y = f(x) \longrightarrow Y' = f'(x) \longrightarrow Y'' = f''(x)$$



# 第5章 分割评价比较

- 5.1 分割评价研究分类
- 5.2 分割算法评价框架
- 5.3 分割评价准则
- 5.4 分割算法评价示例
- 5.5 评价方法和准则比较
- 5.6 基于评价的算法优选系统



# 5.1 分割评价研究分类

## 图象分割的评价

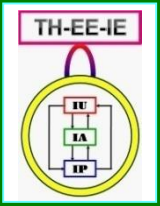
分割评价 (evaluation) 可以分成两种情况:

### (1) 性能刻画 (characterization) :

掌握某种算法 (自身) 在不同分割情况中的表现, 以通过选择算法参数来适应分割具有不同内容的图象和分割在不同条件下采集到的图象的需要

### (2) 性能比较 (comparison) :

比较不同算法 (之间) 在分割给定图象时的性能, 以帮助在具体分割应用中选取合适算法或改进已有算法



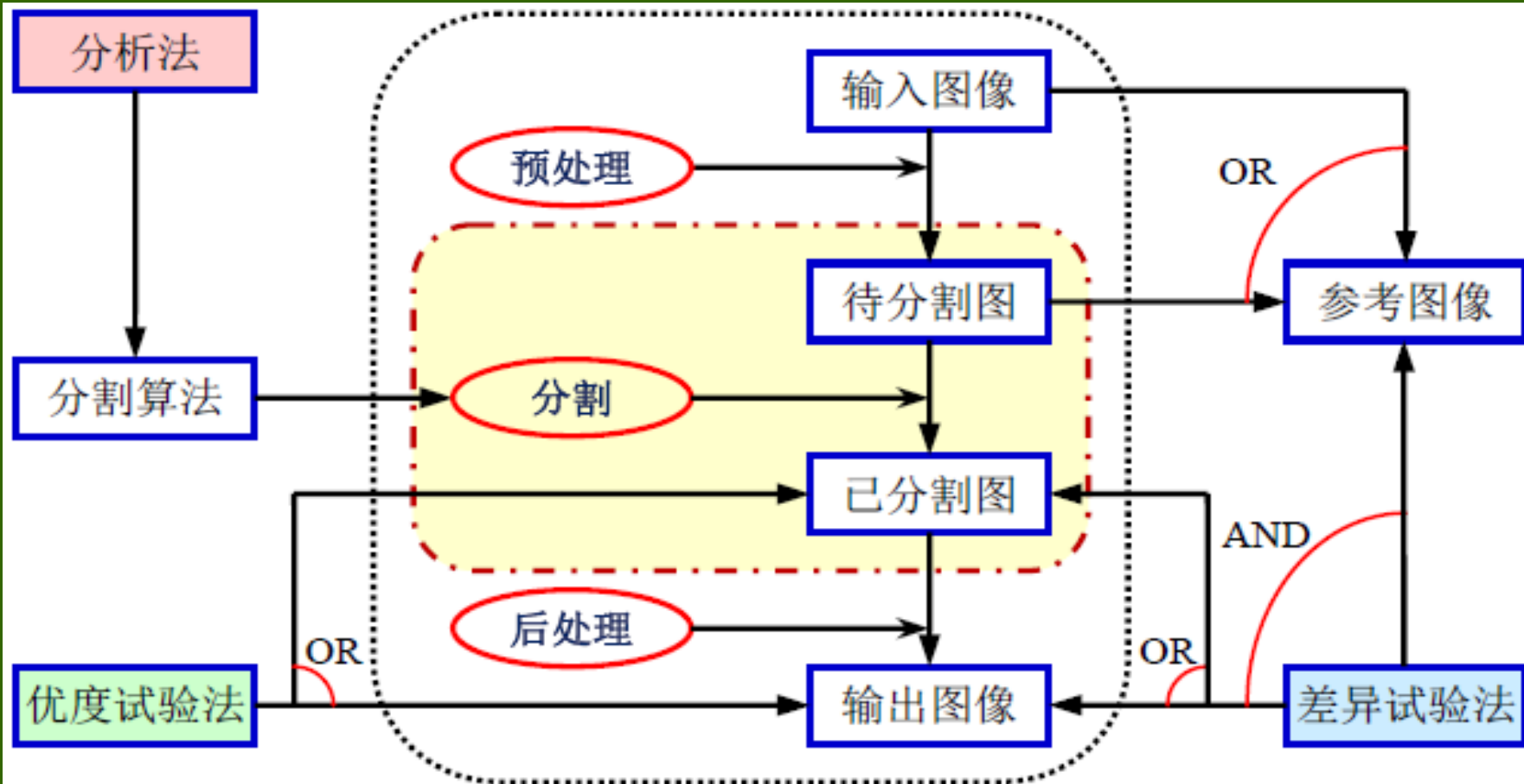
# 5.1 分割评价研究分类

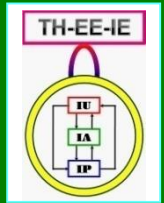
## 图象分割的评价

对评价方法的基本要求

- (1) 应具有广泛的**通用性**，即评价方法要适于评价不同类型的分割算法并适合各种应用领域情况
- (2) 应采用**定量的和客观的性能评价准则**，这里定量是指可以精确地描述算法的性能，客观是指评判应该摆脱人为因素的影响
- (3) 应选取**标准的图象**进行测试以使评价结果具有可比性和可移植性，同时这些图象应尽可能反映客观世界的真实情况和实际应用领域的共同特点

# 5.1 分割评价研究分类





# 5.1 分割评价研究分类

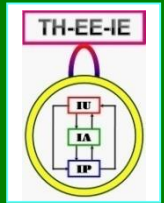
## 两大类评价方法

### (1) 直接法/分析法

- 直接研究分割算法本身的原理特性，通过分析推理得到分割算法性能

### (2) 间接法/实验法

- 根据已分割图象的质量间接地评判分割算法的性能
- 具体用待评价的算法去分割图象，然后借助一定的质量测度来判断分割结果的优劣，据此转而得出所用分割算法的性能



# 5.1 分割评价研究分类

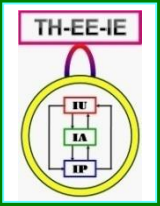
## 两类实验评价方法

### (1) 优度实验法

采用优度（goodness）参数描述已分割图的特征，然后根据优度数值来判定进行分割的算法的性能

### (2) 差异实验法

先确定理想的或期望的分割结果参考图，然后通过比较实际分割图与参考图之间的差异值来判定分割算法的性能



## 5.1 分割评价研究分类

### 评价工作的两个关键

- (1) 对分割算法进行分析或实验的机制、途径或方案（即机理和程序，或框架）

对同一类方法的评价有类似之处

- (2) 用来评判算法特性的评价准则（也常叫测度或指标）

同一类方法中的各个实际方案各有特点

## 5.2 分割算法评价框架

### 三个模块

性能（分析）评判、图象合成、算法测试

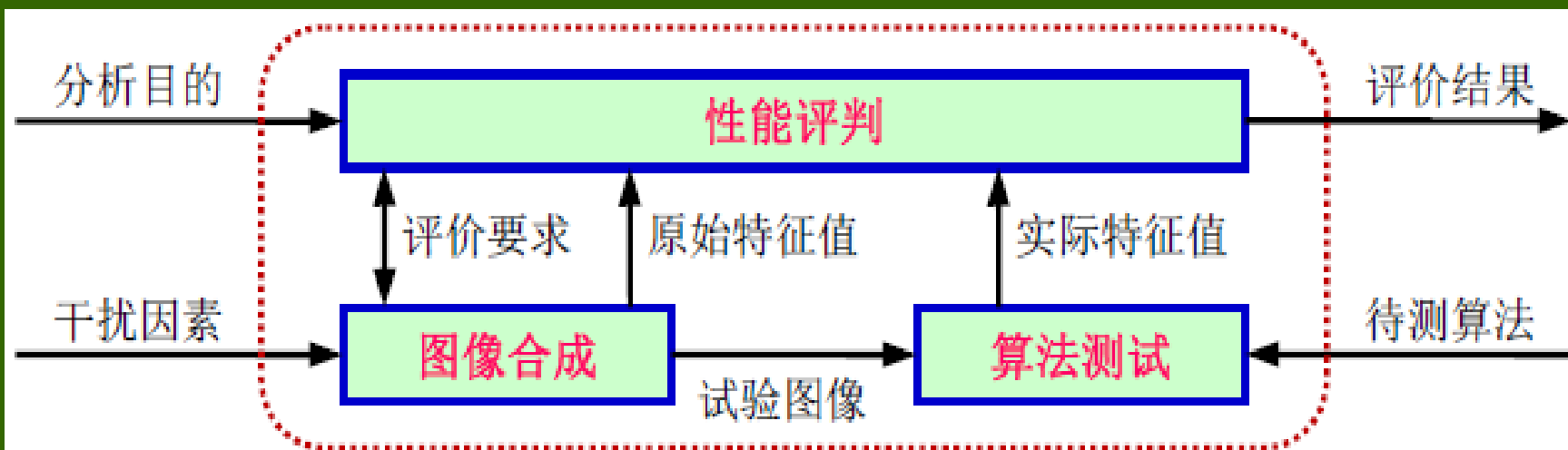


图 5.2.1 分割算法评价框架

## 5.2 分割算法评价框架

### 1. 性能评判

- (1) 特征选取：根据分割目的进行
- (2) 差异计算：原始和实测特征值
- (3) 性能描述：结合图象合成条件

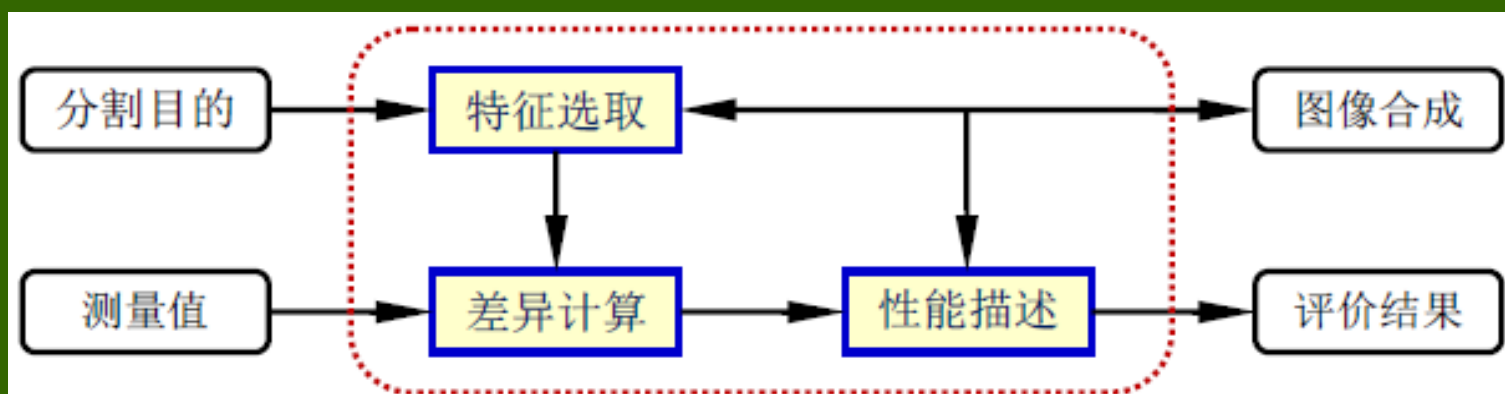
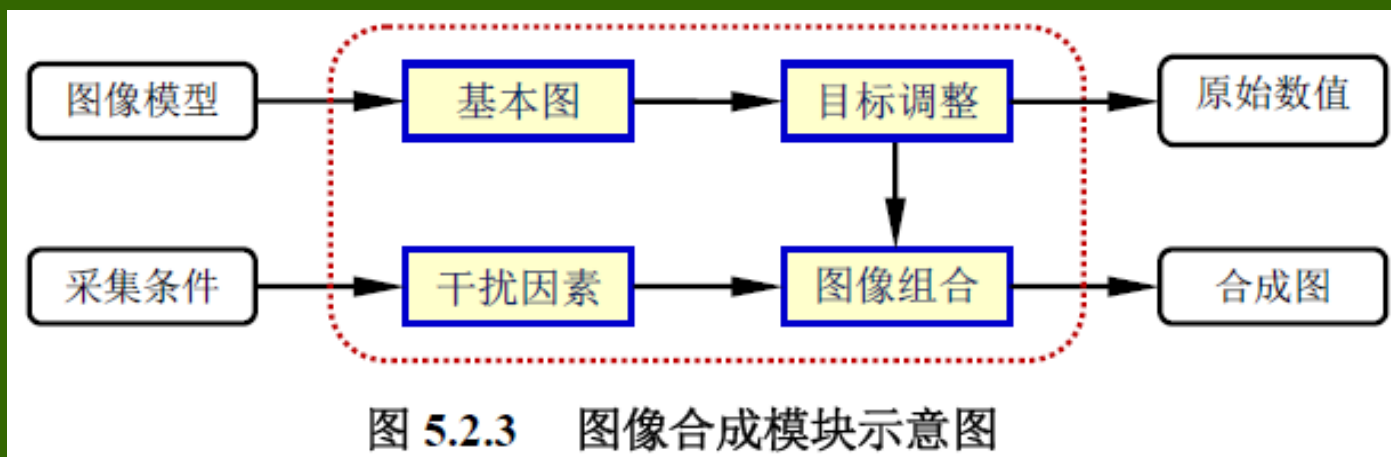


图 5.2.2 性能评判模块示意图

## 5.2 分割算法评价框架

### 2. 图象合成

- (1) 组建基本图：根据实际应用领域的模型
- (2) 目标调整：模拟实际图象
- (3) 叠加干扰：模拟采集条件
- (4) 图象组合：按一定次序结合不同因素



## 5.2 分割算法评价框架

### 3. 算法测试

- 典型的图象分析模块

分割：被测算法 → “黑盒子”

测量：分割目标/实际目标的特征值 → “性能评判”

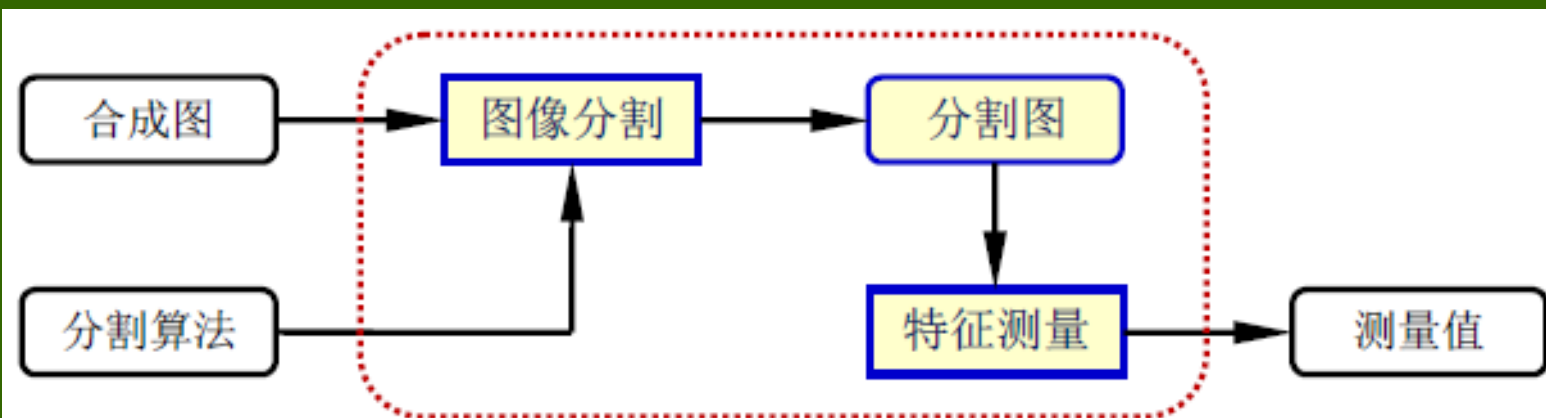
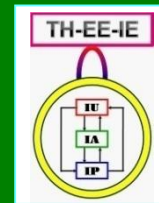


图 5.2.5 算法测试流程框图



## 5.3 分割评价准则

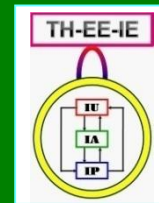
分割评价方法分三类

不同方法所采用的评价准则各有特点

5.3.1 分析法准则

5.3.2 优度试验法准则

5.3.3 差异试验法准则



## 5.3.1 分析法准则

### A-1: 所结合的先验信息

高层知识的指导作用

所要分割图象自身的特性信息

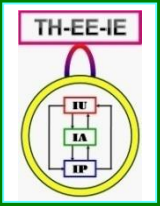
很难定量描述，主要用于定性分析算法性能

### A-2: 处理策略

串行，并行，迭代或混合

### A-3: 计算费用/复杂度

可按不同操作处理的类型和数量来计算



## 5.3.1 分析法准则

### A-4: 检测概率比

正确检测概率 $P_c$

$$P_c = \int_T^{\infty} P(t | edge) dt$$

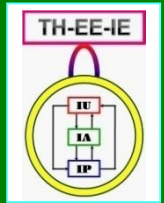
错误检测概率 $P_f$

$$P_f = \int_T^{\infty} P(t | no - edge) dt$$

分析所得到的 $P_c$ 和 $P_f$ 的比值

### A-5: 分辨率

像素，像素组，像素若干分之一（亚像素）



## 5.3.2 优度试验法准则

### G-1: 区域间对比度

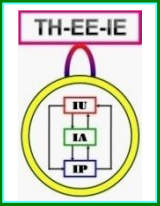
灰度对比度

$$GC = \frac{|f_1 - f_2|}{f_1 + f_2}$$

### G-2: 区域内部均匀性

内部均匀性测度

$$UM = 1 - \frac{1}{C} \sum_i \left\{ \sum_{(x,y) \in R_i} \left[ f(x,y) - \frac{1}{A_i} \sum_{(x,y) \in R_i} f(x,y) \right]^2 \right\}$$



## 5.3.2 优度试验法准则

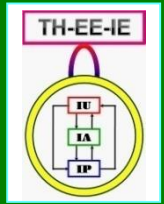
### G-3: 形状测度

衡量目标外轮廓的光滑程度

$$SM = \frac{1}{C} \left\{ \sum_{x,y} \text{Sgn}[f(x,y) - f_{N(x,y)}] g(x,y) \text{Sgn}[f(x,y) - T] \right\}$$

$f_N(x, y)$ 表示像素 $(x, y)$ 的邻域 $N(x, y)$ 中的平均灰度， $g(x, y)$ 表示像素 $(x, y)$ 处的梯度

$C$ 是一个归一化系数， $\text{Sgn}(\cdot)$ 代表单位阶跃函数， $T$ 是预先确定的阈值



## 5.3.3 差异试验法准则

### D-1: 像素距离误差

用 $d(i)$ 代表第 $i$ 个错分像素与其正确位置的距离

质量因数

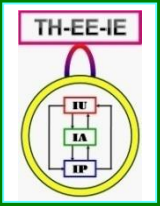
$$FOM = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{1 + p \times d^2(i)}$$

偏差的平均绝对值

$$MAVD = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |d(i)|$$

归一化距离测度

$$NDM = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N d^2(i)}}{A} \times 100\%$$



## 5.3.3 差异试验法准则

### D-2: 象素数量误差

误差概率

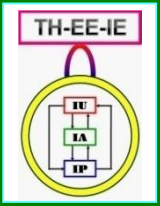
$$PE = P(o) \times P(b | o) + P(b) \times P(o | b)$$

象素分类误差，面积错分率，分类误差，正确分割百分数，噪声信号比，归一化平方误差，对称散度

### D-3: 目标计数一致性

图象的分块数

$$F = \frac{1}{1 + p|T_n - S_n|^q}$$



## 5.3.3 差异试验法准则

### D-4: 最终测量精度

图象分析：获得对图象中目标特征值的精确测量反映了分割图象的质量并可以用来评判算法的性能为描述目标的不同性质可以使用不同的目标特征

绝对

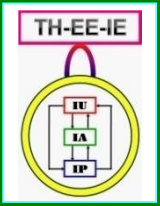
$$AUMA_f = | R_f - S_f |$$

相对

$$RUMA_f = \frac{| R_f - S_f |}{R_f} \times 100\%$$

$R_f$ ：原始特征量值， $S_f$ ：实际特征量值

优点：通用，定量和客观，计算简单

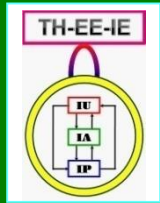


## 5.4 分割算法评价示例

借助评价框架和准则，对不同算法进行评价  
以一个实际评价工作为例

5.4.1 实验算法和图象

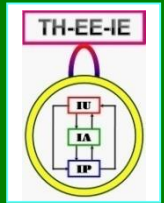
5.4.2 实验结果和讨论



## 5.4.1 实验算法和图象

### 实验算法

- (1) 算法甲 (① PB类, 见2.2节)  
坎尼算子边缘检测及边界闭合法
- (2) 算法乙 (② SB类, 参见2.3节)  
动态规划轮廓搜索法
- (3) 算法丙 (③ PR类, 见2.4节)  
改进的直方图凹面分析法
- (4) 算法丁 (④ SR类, 参见2.5节)  
分裂、合并和组合法



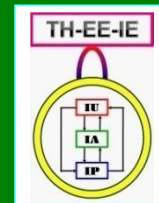
## 5.5 评价方法和准则比较

### 第三个层次的研究

评价方法和评价准则采用的原理和机理各有特点，因而评价方法和准则的性能也会不同

采用第二个层次研究中的一些概念和思路

- (1) 对评价方法的讨论比较
- (2) 对评价准则的分析比较
- (3) 对定量实验准则的实验比较



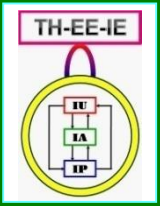
## 5.5 评价方法和准则比较

要评价对“分割的评价方法和评价准则”

5.5.1 方法讨论和对比

5.5.2 准则的分析比较

5.5.3 准则的实验比较



## 5.5.1 方法讨论和对比

### (1) 通用性

是否适用于研究各种不同类型的分割算法

### (2) 复杂性

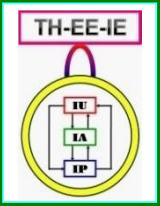
本身实现的复杂性，处理手段和工作量

### (3) 主客观性

主观或客观的考虑及结果

### (4) 对参考图的需求

涉及评价进行的实用性和可行性



## 5.5.1 方法讨论和对比

- 作用点和作用方式

分析法：不需要实现算法本身

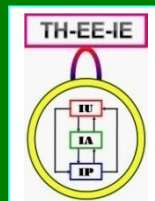
实验法：对输入图象需进行实际分割

- 应用领域（结合）

分析法：评价结果只与算法本身有关

优度实验法：结合了已分割图象的某些期望性指标

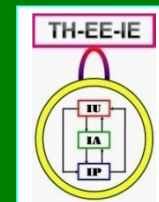
差异实验法：（参考图）已充分考虑了特定的应用情况



## 5.5.2 准则的分析比较

表 5.5.1 分割评价准则的比较

组	评价准则	通用性	复杂性	主客观性	其他特点
A-1	先验知识	部分算法	低	主观	不同种类知识很难比较
A-2	处理策略	所有算法	低	客观	算法效率或复杂度的指示参数
A-3	计算费用	部分简单算法	低	客观	相对测度，未考虑硬件和软件实现情况
A-4	检测概率比	部分简单算法	中	客观	对复杂算法难于分析
A-5	分辨率	所有算法	低	客观	算法能力的指示参数
G-1	区域间的对比度	所有算法	中	主观	模拟人类评价能力的动态在线测度
G-2	区域内的均匀性	所有算法	高	主观	动态在线测度
G-3	形状测度	阈值化算法	高	主观	只与目标边界粗糙度有关
D-1	像素距离误差	所有算法	高	客观	需要与其他准则配合使用
D-2	像素数量误差	所有算法	中	客观	没有利用空间信息
D-3	目标计数一致性	所有算法	低	客观	简单但粗糙，当图像中目标数较少时不易精确
D-4	最终测量精度	所有算法	中	客观	一组与分割目的直接相关的测度
D-5	各种目标特性	所有算法	中	客观	一组表示分割目标特性的测度
D-6	区域一致性	部分算法	高	客观	与区域之间的相似性有关
D-7	灰度差别	所有算法	中	客观	平均灰度在分割前后的变化
D-8	对称散度（交叉熵）	所有算法	高	客观	反映图像之间的信息联系



## 5.5.2 准则的分析比较

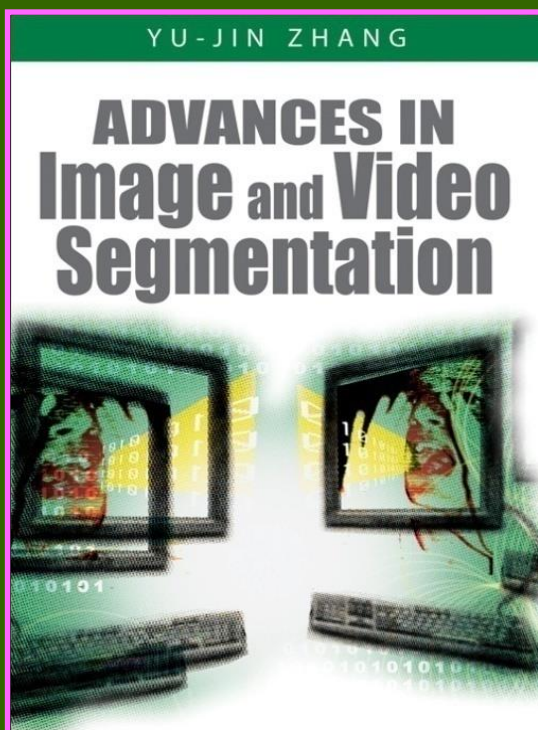
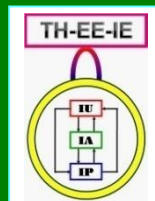


表 5.5.2 对 21 世纪一些新评价方法和准则的分析比较

编号	参考文献	主要准则	通用性	复杂性
1	[Oberti 2001]	D-1	所有算法	中
2	[Cavallaro 2002]	D-1, D-2	视频 <sup>1</sup>	中/高
3	[Udupa 2002]	D-1, S	所有算法	中
4	[Li 2003]	D-1, D-2, S	所有算法	高 <sup>2</sup>
5	[Carleer 2004]	D-1, D-3	多目标 <sup>3</sup>	低/中
6	[Erdem 2004]	G-1, G-2	视频	高
7	[Kim 2004]	D-1	视频	中
8	[Ladak 2004]	D-1, S	所有算法	高 <sup>3</sup>
9	[Lievers 2004]	G-1	阈值化算法	中
10	[Niemeijer 2004]	D-1	所有算法	中
11	[Prati, 2003]	D-1	所有算法	高
12	[Renno 2004]	D-1, D-4	所有算法	中/高
13	[Rosin 2003]	D-1	视频	中
14	[Udupa 2004]	D-1	所有算法	中



## 5.5.2 准则的分析比较

表 5.5.2 对 21 世纪一些新评价方法和准则的分析比较

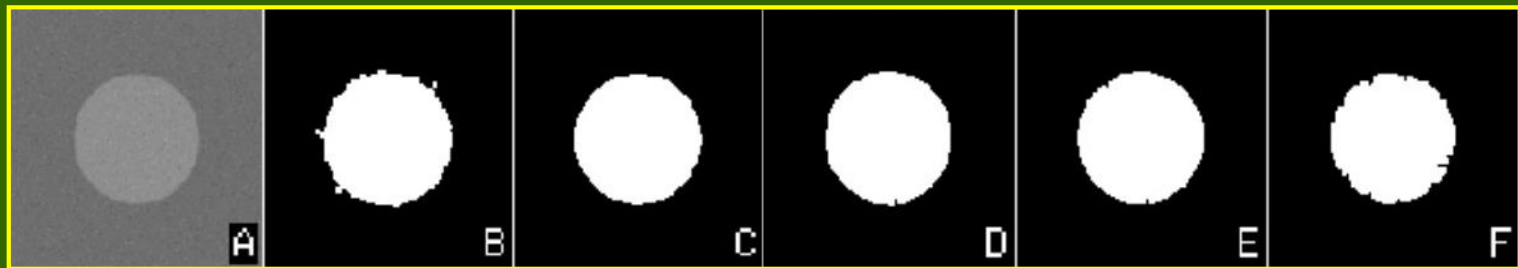
编号	参考文献	主要准则	通用性	复杂性	编号	参考文献	主要准则	通用性	复杂性
1	[Oberti 2001]	D-1	所有算法	中	18	[Ortiz, 2006]	D-1	所有算法	高
2	[Cavallaro 2002]	D-1, D-2	视频 <sup>1</sup>	中/高	19	[Udupa, 2006]	D-2	所有算法	中
3	[Udupa 2002]	D-1	所有算法	中	20	[Ge, 2007]	D-3	所有算法	低
4	[Li 2003]	D-1, D-2	所有算法	高 <sup>2</sup>	21	[Unnikrishnan, 2007]	D-2	所有算法	中
5	[Prati, 2003]	D-1	所有算法	高	22	[Philipp, 2008]	G-1, G-3	所有算法	中/高
6	[Rosin 2003]	D-1	视频 <sup>1</sup>	中	23	[Xu, 2008]	D-5, D-6	所有算法	中/高
7	[Carleer 2004]	D-1, D-3	多目标 <sup>3</sup>	低/中	24	[Zhang, 2008]	G-1, G-2	所有算法	高
8	[Erdem 2004]	G-1, G-2	视频 <sup>1</sup>	高	25	[Cárdenes, 2009]	D-2, D-7	所有算法	中
9	[Kim 2004]	D-1	视频 <sup>1</sup>	中	26	[Hao, 2009]	G-1	所有算法	中
10	[Ladak 2004]	D-1	所有算法	高 <sup>3</sup>	27	[Marçal, 2009]	D-2	所有算法	中
11	[Lievers 2004]	G-1	阈值化算法	中	28	[Polak, 2009]	D-1, D-2, D-5	所有算法	高
12	[Niemeijer 2004]	D-1	所有算法	中	29	[Qu, 2010]	D-5	所有算法	中
13	[Renno 2004]	D-1, D-4	所有算法	中/高	30	[Casciaro, 2012]	D-1	所有算法	高
14	[Udupa 2004]	D-1	所有算法	中	31	[Khan, 2013]	D-8	所有算法	高
15	[Cardoso, 2005]	D-2	所有算法	中	32	[Peng, 2013]	D-5	所有算法	中
16	[Chabrier, 2006]	G-1, G-2, D-1	所有算法	中	33	[Pont-Tuset, 2013]	D-1	所有算法	高
17	[Jiang, 2006]	D-2	所有算法	中					

## 5.5.3 准则的实验比较

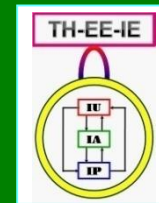
### 实验方法

借助对一系列分割图的评价来比较不同准则

计算各指标的一系列数值，从值的变化得到各准则不同的特性，然后通过比较特性来比较准则的优劣



准则 { 甲：区域间对比度，乙：区域内均匀性，  
丙：象素距离误差，丁：象素数量误差，  
戊：最终测量精度（目标面积）



## 5.5.3 准则的实验比较

### 评价准则比较曲线

- 1、谷的深度
- 2、曲线形状

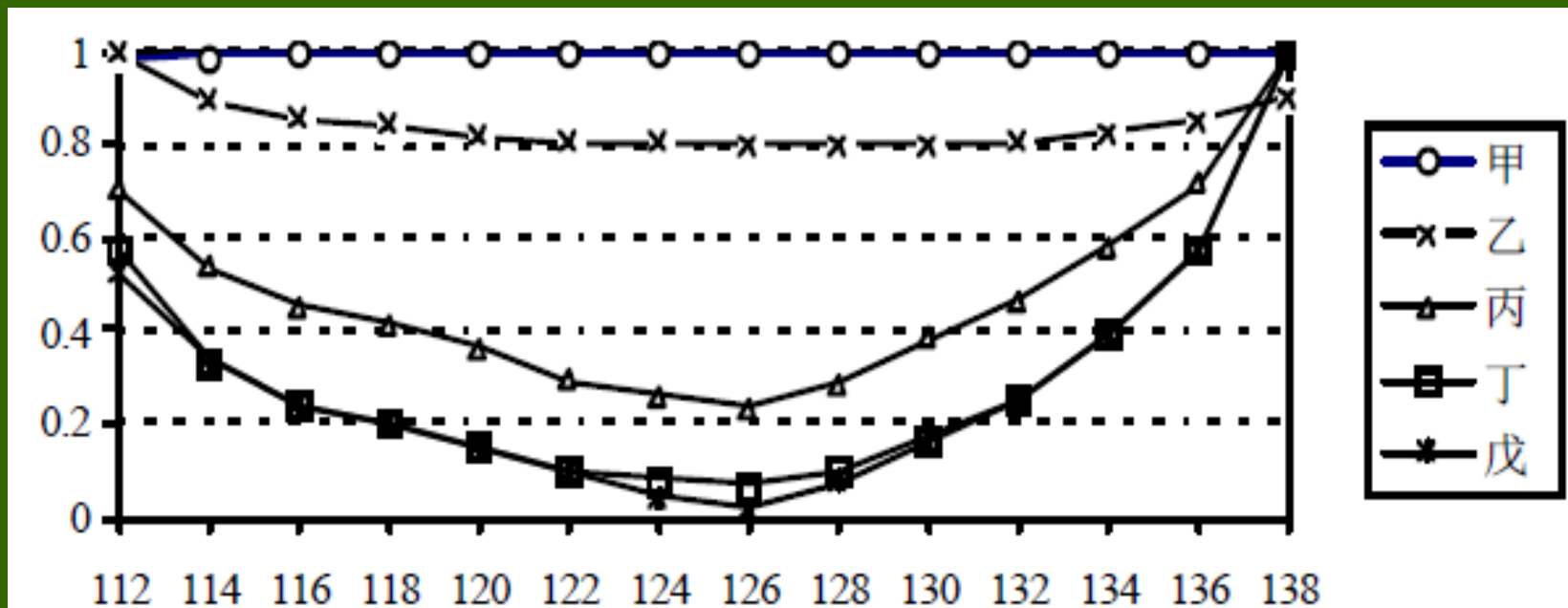
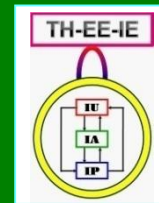


图 5.5.2 评价准则比较曲线



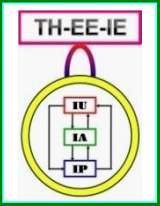
## 5.6 基于评价的算法优选系统

分割评价的目的是为了能指导，改进和提高分割算法的使用性能

建立分割专家系统以有效地利用评价结果进行归纳推理

5.6.1 算法优选思想和策略

5.6.2 优选系统的实现和效果



## 5.6.1 算法优选思想和策略

### 问题

没有一种适合于所有图象的通用的分割算法  
目标的变化和干扰因素的改变都有影响

### 思路

动态地适应变化，系统地选择恰当的算法

评价 → 待分割图象的特性参数与所用分割算法性能之间相关的知识 → 借助知识的指导，预测不同算法的分割效果 → 选择最优算法

# 5.6.1 算法优选思想和策略

图象分割算法优选系统框图

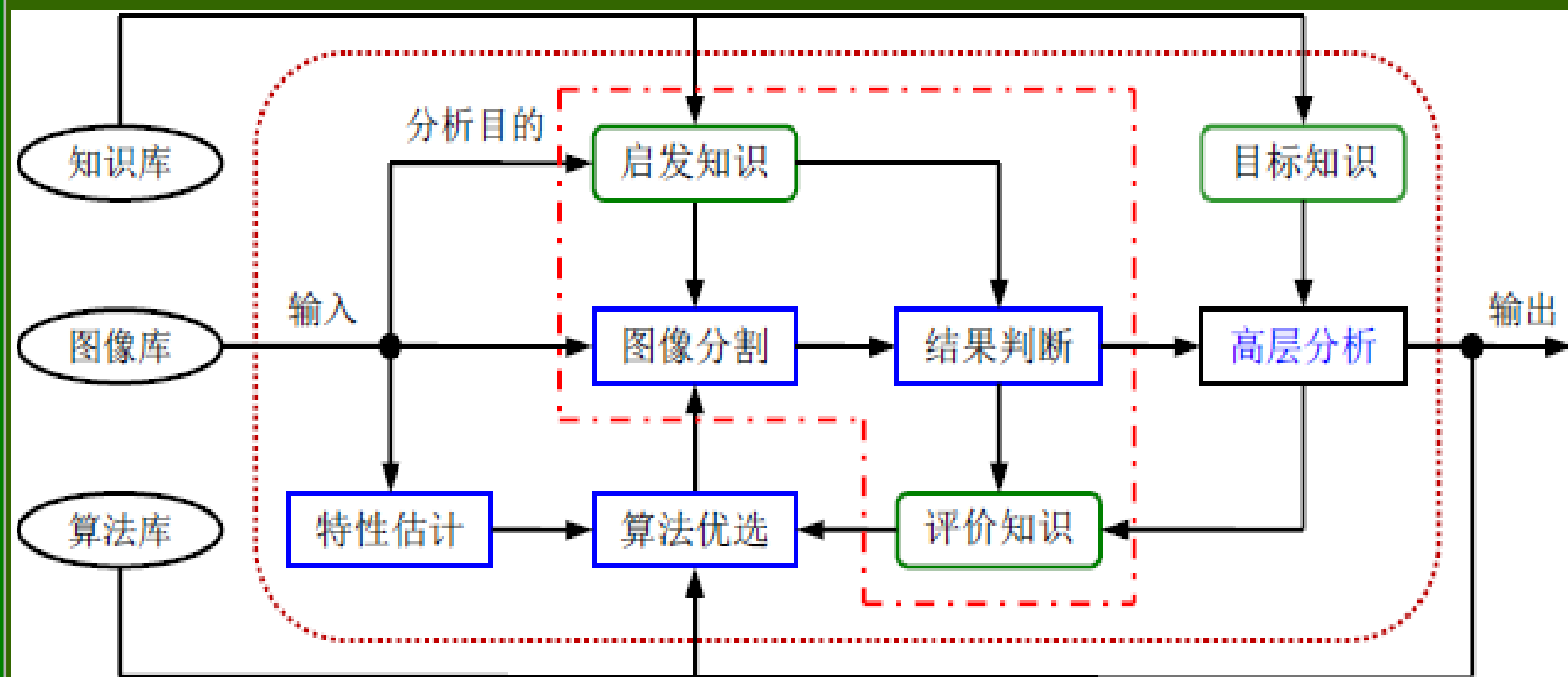
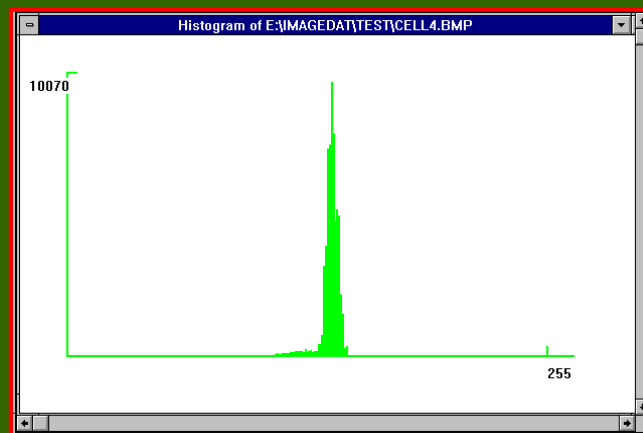
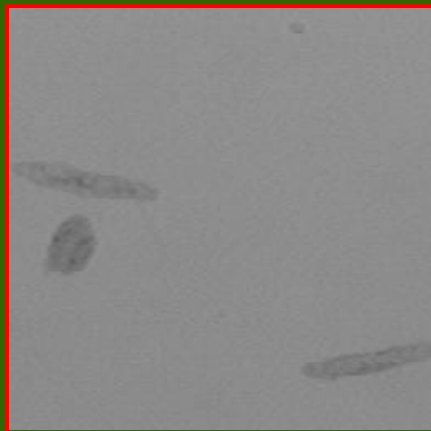


图 5.6.1 图像分割算法优选系统框图

## 5.6.2 优选系统的实现和效果

- 知识驱动的系统
- 基于公共数据黑板的控制系统结构
- 六种典型的阈值选取算法
- 参照评价框架对这些算法进行评价
- 将所得到的评价知识纳入到优选系统中

示例  
图  
象



## 5.6.2 优选系统的实现和效果

### 实验结果

经两次尝试即可自动选出对该图象的最优算法

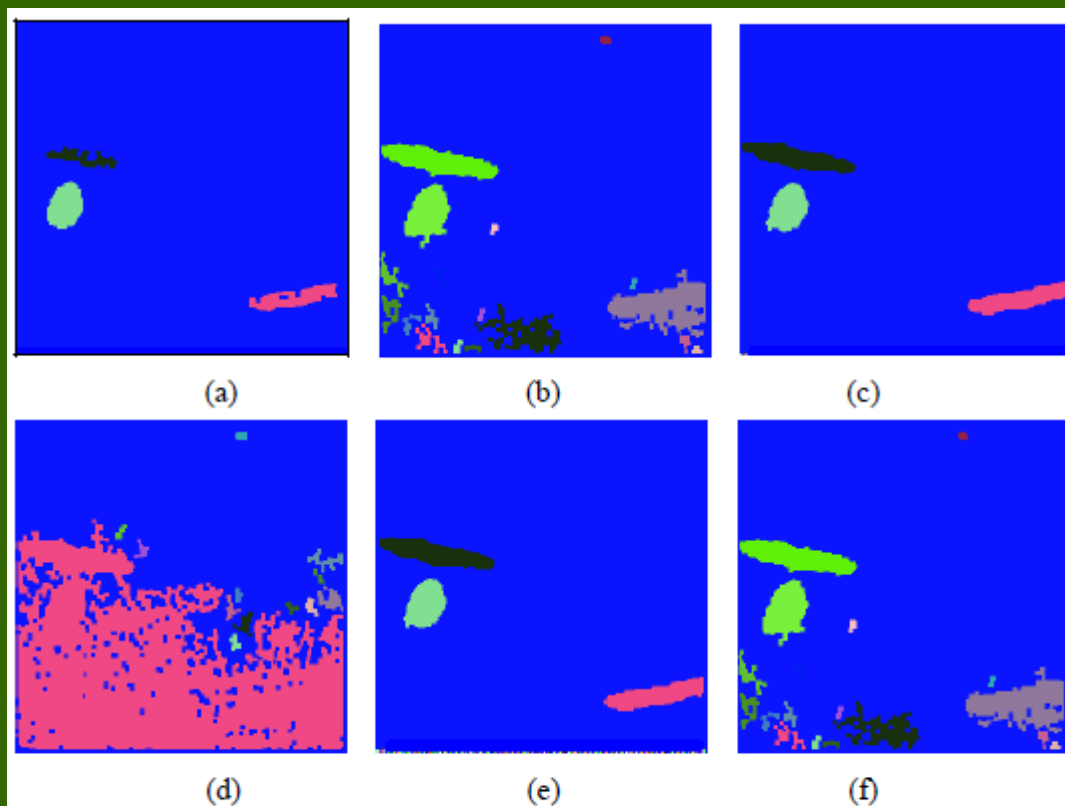
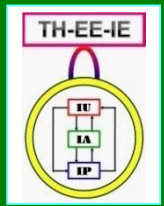


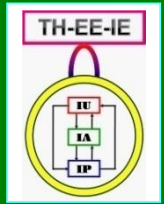
图 5.6.3 用六种阈值分割算法分别分割图 5.6.2(a)得到的结果



# Concluding Remarks

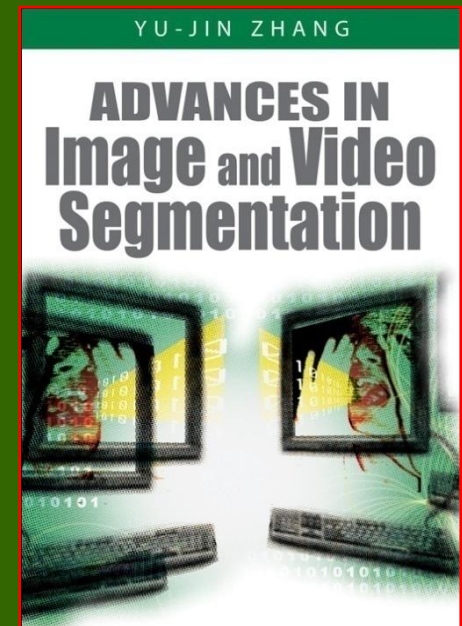
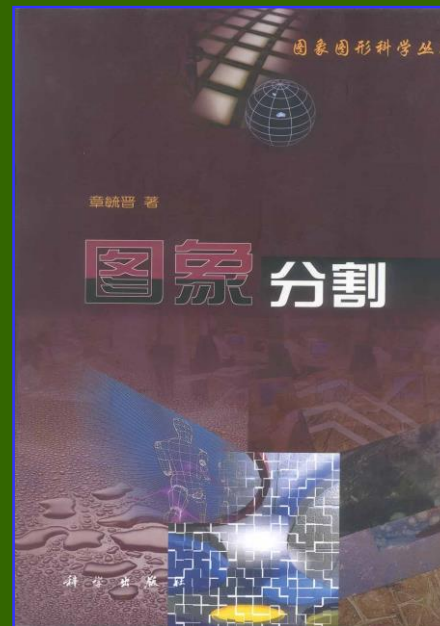
## ■ Numbers of Publications

Level	Description	Publication #
$0 \Leftrightarrow f(x)$	Segmentation Algorithms	$O(10^4)$
$1 \Leftrightarrow f'(x)$	Technique Evaluation	$O(10^2)$
$2 \Leftrightarrow f''(x)$	Comparison of Evaluation Methods	$O(10^1)$



# 图象分割书籍

- Gerbrands, J.J. **Segmentation of Noisy Images**. Ph.D. dissertation, Delft University, The Netherlands, 1988
- Medioni, G., Lee, M. S., Tang, C. K. A. **Computational Framework for Segmentation and Grouping**. Elsevier, 2000
- Zhang, Y.J. **Image Segmentation**. Science Press, 2001
- Zhang, Y.J (ed.), **Advances in Image and Video Segmentation**. IRM Press, 2006





# 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/)