

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

教材和主要参考书

● 图象工程（第4版）



<http://oa.cc.tsinghua.edu.cn/~zhangyujin/C3.htm>

第1讲

章毓晋 (TH-EE-4E) ZHANG YU JIN

第2页

教材和主要参考书

● 英汉图象工程辞典

对图象工
程学科中
常用概念
和术语进
行定义、
介绍、注
释和解读
的辞典



第1讲

章毓晋 (TH-EE-4E) ZHANG YU JIN

第3页

第1章 绪论

- 1.1 图象和图象工程
- 1.2 图象分析概论
- 1.3 图象分析中的数字化
- 1.4 距离变换
- 1.5 内容框架和特点

第1讲

章毓晋 (TH-EE-4E) ZHANG YU JIN

第4页

1.1 图象和图象工程

1.1.1 图象基础

1.1.2 图象工程

第1讲

章毓晋 (TH-EE-4E) ZHANG YU JIN

第5页

1.1.1 图象基础

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）获得的信息中约有75%来自视觉系统

第1讲

章毓晋 (TH-EE-4E) ZHANG YU JIN

第6页

1.1.1 图象基础

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 的值可以是任意实数
性质 F : 可对应不同物理量
灰度图象里用灰度表示

第1讲
章毓晋 (TH-EE-4E) ZHANG YU JIN
第7页

1.1.1 图象基础

一般的图象表达函数

- 一种辐射能量的空间分布

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

其中 x, y, z 是空间变量, t 代表时间变量,
 λ 是频谱变量 (波长)

- 实际图象在时空上都是有限的

所以 $f(x, y, z, t, \lambda)$ 是一个5-D有限函数

第1讲
章毓晋 (TH-EE-4E) ZHANG YU JIN
第8页

1.1.1 图象基础

$f(x, y) \Rightarrow f(x, y, z, t, \lambda)$

(1) $f(x, y, z)$: 将景物沿采集方向分成多片
(2) $f(x, y, t)$: 沿时间轴连续采集多幅图象
(3) $f(x, y, \lambda)$: 利用不同波长的辐射
(4) $f(x, y) = [f_r(x, y), f_g(x, y), f_b(x, y)]$: 彩色
(5) $z = f(x, y)$: 恢复深度 (或距离) 信息

第1讲
章毓晋 (TH-EE-4E) ZHANG YU JIN
第9页

1.1.1 图象基础

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

第1讲
章毓晋 (TH-EE-4E) ZHANG YU JIN
第10页

1.1.1 图象基础

图象的矩阵和矢量表示

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

$$F = [f_1 \ f_2 \ \cdots \ f_N]$$

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

第1讲
章毓晋 (TH-EE-4E) ZHANG YU JIN
第11页

1.1.2 图象工程

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

图象工程三层次:

图象处理 (图象 \Rightarrow 图象)

图象分析 (图象 \Rightarrow 数据)

图象理解 (图象 \Rightarrow 解释)

第1讲
章毓晋 (TH-EE-4E) ZHANG YU JIN
第12页

1.1.2 图象工程

高

↑

抽象性

低

高层

中层

低层

语义层次

图像理解

↓

图像分析

↓

图像处理

↑

图像分析

↑

图像理解

符号

↓

目标

↓

像素

操作对象

小

↓

数据量

大

图 1.1.2 图像工程 3 层次示意图

第1讲章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN第13页

1.1.2 图象工程

中国图象工程综述
(中国图象图形学报, 每年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

第1讲章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN第14页

1.2 图象分析概论

1.2.1 图象分析定义
和研究内容
1.2.2 图象分析系统

第1讲章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN第15页

1.2.1 图象分析定义和研究内容

1. 图象分析的定义 图象分析子类

B1	图象分割, 边缘及角点 (感兴趣点/控制点) 等基元的检测
B2	目标表达、描述、测量 (包括二值图象处理及分析等)
B3	目标特性 (颜色、纹理、形状、空间、结构、运动、显著性等) 的提取分析
B4	目标检测和识别 (目标2-D/3-D定位、追踪、提取、鉴别和分类等)
B5	人体生物特征提取和验证 (包括人体、人脸和器官的检测、定位与识别)

第1讲章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN第16页

1.2.1 图象分析定义和研究内容

2. 图象处理和图象分析的区别和联系

- 图象处理是一种重组 (rearrangement) 科学
对一个象素来说, 它的属性值有可能根据其相邻象素的值而改变, 或它本身被移动到图象中的其他地方, 但整幅图象中象素的绝对数量 (sheer quantity) 不会变
食品处理: 重组各种成分 (ingredient) 以产生美味 (palatable) 组合, 不是提炼各种成分的精华 (essence)
- 图象分析的目标则是试图找出那些精练地表达图象重要信息的描述系数

第1讲章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN第17页

1.2.1 图象分析定义和研究内容

3. 图象分析和模式识别

图象分析对象素间的联系和关系更为重视

输入图像 → 图像分割 → 兴趣目标 → 表达描述 → 测量数据 → 特性分析 → 目标特性

图 1.2.2 图像分析主要内容单元

输入图 → 图像分割 → 目标图 → 特征检测 → 特征测量 → 特征量 → 目标分类 → 目标类

图 1.2.3 图像模式识别流程

模式识别的目标主要是将不同的模式分类
分类的基础是特征测量数据

第1讲章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN第18页



1.2.2 图象分析系统



历史

- 第一个使用电视摄像机扫描图象进行分析的系统，其最早的模型系统诞生于1963年
- 电子纪元真正开始于1969年，那一年美国的一个公司生产了一种图象分析仪，它能在小型计算机中存储一幅完整的黑白图象
- 1977年，英国的Joyce LoebI提出了一种可称为第3代的图象分析系统，该系统采用软件替代了硬件

第1讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第19页



1.2.2 图象分析系统



分析系统框图

各模块都有特定的功能

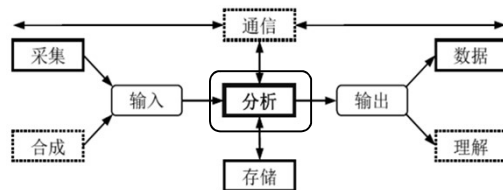


图 1.2.4 图像分析系统的构成示意图

第1讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第20页



1.3 图象分析中的数字化



1.3.1 离散距离

1.3.2 连通组元

1.3.3 数字化模型

1.3.4 数字弧和弦

第1讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第21页



1.3.1 离散距离



1、距离和邻域

- ① 4-邻域 $N_4(p) = \{r \mid d_4(p, r) = 1\}$ 城区距离
- ② 对角邻域 $N_D(p) = \{s\} \mid N_8(p) = N_4(p) \cup N_D(p)$
- ③ 8-邻域 $N_8(p) = \{r \mid d_8(p, r) = 1\}$ 棋盘距离

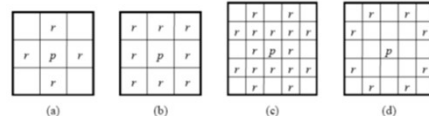


图 1.3.1 各种邻域示意

第1讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第22页



1.3.1 离散距离



1、距离和邻域

- ④ 16-邻域 $N_{16}(p) = N_8(p) \cup N_k(p)$
- ⑤ 马步邻域 $N_k(p) = \{r \mid d_k(p, r) = 1\}$

马步距离 ($\lceil \cdot \rceil$: 上取整函数)

$$d_k(p, r) = \begin{cases} \max \left\{ \left\lceil \frac{s}{2} \right\rceil, \left\lceil \frac{s+t}{3} \right\rceil \right\} + \left\lceil (s+t) - \max \left\{ \left\lceil \frac{s}{2} \right\rceil, \left\lceil \frac{s+t}{3} \right\rceil \right\} \right\rceil \bmod 2 & \begin{cases} (s, t) \neq (1, 0) \\ (s, t) \neq (2, 2) \end{cases} \\ 3 & (s, t) = (1, 0) \\ 4 & (s, t) = (2, 2) \end{cases}$$



第1讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第23页



1.3.1 离散距离



3、斜面距离

斜面 (chamfer) 距离是欧氏距离的整数近似

- 4-邻域: 斜面距离 d_a 就是 d_4 距离, 其中 $a = 1$
- 8-邻域: 斜面距离记为 $d_{a,b}$, 其中 $a = 3, b = 4$

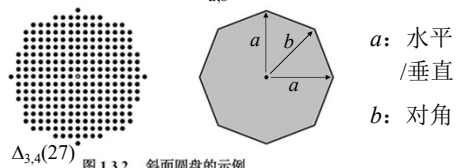


图 1.3.2 斜面圆盘的示例

第1讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第24页

1.3.2 连通组元

连接

两个像素之间的一种关系，其中既考虑它们相互的位置关系，也考虑它们相互的幅度关系

两个连接的像素在空间上是邻接的

4-连接（两个像素4-邻接 + 灰度相似）

8-连接（两个像素8-邻接 + 灰度相似）

m-连接

连通

连接的推广，连通的像素构成连通组元

第1讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第25页

1.3.3 数字化模型

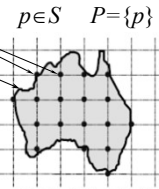
预图象 (pre-image)

给定一个离散点集合 P ，一个其数字化为 P 的连续点集合 S 称为 P 的预图象

域 (domain)

由所有可能的预图象 S 的并集所定义的区域称为 P 的域

数字化模型: $S \Rightarrow P$ 图 1.3.6 一个简单的数字化模型示例



像素为网格交点

第1讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第26页

1.3.3 数字化模型

不一致性问题 {图1.3.7}

- (1) 一个非空集合 S 有可能被映射到一个空的数字化集合中
- (2) 该数字化模型的结果 P 会随 S 平移而变化 (混叠)
- (3) 给定一个数字化集合 P ，并不能保证精确地刻画它的预图象 S

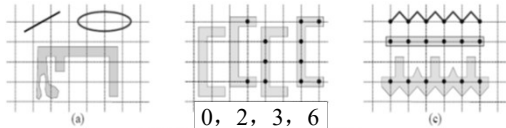


图 1.3.8 数字化模型的不一致性示例

第1讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第27页

1.3.3 数字化模型

数字化模型应有的一些特征:

- (1) 对一个非空的连续集合，其数字化结果应是非空的
- (2) 数字化模型应该尽可能对平移不变 (即混叠效应尽可能小)
- (3) 给定一个数字化集合 P ，其各个预图象应在一定准则下相似。更严格地说， P 的域应该有限且越小越好

第1讲

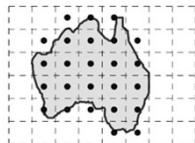
章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第28页

1.3.3 数字化模型

2、方盒量化 (SBQ)

- 对任何像素 $p_i = (x_i, y_i)$ ，都有一个对应的数字化盒 $B_i = [x_i - 1/2, x_i + 1/2) \times [y_i - 1/2, y_i + 1/2)$
- 数字化盒等价于中心为像素位置的分割多边形。一个像素 p_i 当且仅当 $B_i \cap S \neq \emptyset$ 时 (即它对应的数字化盒 B_i 与 S 相交) 处在 S 的数字化集合 P 中



第1讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第29页

1.3.3 数字化模型

2、方盒量化 (SBQ)

- 方盒量化的定义保证了非空集合 S 会被映射到非空离散集合 P ，因为可以保证每个实点都唯一地映射到一个离散点。但这并不保证完全的平移不变性

右图各点数:

9, 6, 9, 6

其他问题: 图1.3.11

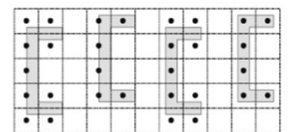


图 1.3.10 使用方盒量化可以减少混叠

第1讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第30页

1.3.3 数字化模型

3、网格相交量化 (GIQ)

- 给定一个连续的细目标 C ，它与网格线的交点定义一个实点 $t = (x_t, y_t)$ ，该点视 C 与垂直网格线相交或与水平网格线相交分别满足 $x_t \in \mathbf{I}$ 或 $y_t \in \mathbf{I}$



图 1.3.12 对连续曲线 C 的网格相交量化示例

混叠效
应：图
1.3.13

第1讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第31页

1.3.3 数字化模型

比较GIQ-域和SBQ-域

- GIQ减少了数字化集合中的像素个数
- SBQ-域的面积比GIQ-域的面积要小

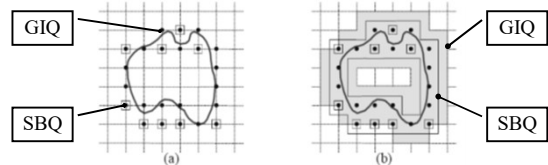


图 1.3.14 GIQ 和 SBQ 模型的比较

第1讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第32页

1.3.4 数字弧和弦

1、数字弧

从点 p 到点 q 的数字弧 A_{pq} 定义为满足下列条件的弧 $A_{pq} = \{p_i, i = 0, 1, \dots, n\}$ ：

- (1) $p_0 = p, p_n = q$
- (2) $\forall i = 1, \dots, n-1$ ，点 p_i 在弧 A_{pq} 中正好有两个相邻点： p_{i-1} 和 p_{i+1}
- (3) 端点 p_0 （或 p_n ）在弧 A_{pq} 中正好有一个相邻点： p_1 （或 p_{n-1} ）

第1讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第33页

1.3.4 数字弧和弦

1、数字弧

借助网格相交量化 (GIQ) 模型

在 $[\alpha, \beta]$ 之间与网格线相交的点都映射到它们最接近的整数点（相等时取 $[\alpha, \beta]$ 左边的那个点）

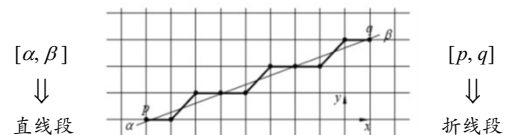


图 1.3.15 直线段用网格相交量化数字化的结果

第1讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第34页

1.3.4 数字弧和弦

2、数字弦

弦是连接圆锥曲线上任意两点间的直线段

给定一条从 $p=p_0$ 到 $q=p_n$ 的数字弧 $A_{pq} = \{p_i\}_{i=0, \dots, n}$ ，连续线段 $[p_i, p_j]$ 与各段之和 $\cup_i [p_i, p_{i+1}]$ 间的距离可用离散距离函数来测量，且不应该超过一定的阈值

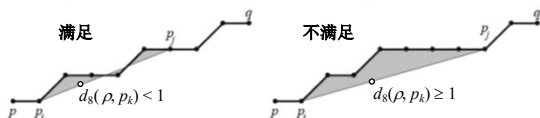


图 1.3.16 判断弦性质的示例

第1讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第35页

1.4 距离变换

1.4.1 定义和性质

1.4.2 局部距离的计算

1.4.3 距离变换的实现

第1讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第36页

1.4.1 定义和性质

距离变换计算区域中的每个点与其最接近区域外点之间的距离，把二值图像变换为灰度图像

给定一个点集 P 、一个子集 B 以及满足测度条件的距离函数 $d(\cdot, \cdot)$ ，在对 P 的距离变换中赋予点 $p \in P$ 的值为：

$$DT(p) = \min_{q \in B} \{d(p, q)\}$$

距离图 (map)

矩阵 $[DT(p)]$

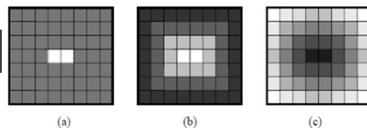


图 1.4.1 二值图和其用灰度图表示的距离图

第1讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第37页

1.4.2 局部距离的计算

- 距离变换是全局的操作，所以计算量会很大

性质：给定一个离散集合 P 和它的一个子集 B ，用 d 表示计算距离图的离散距离函数。那么，对任何点 $p \in P^\circ$ （即 $p \in P - B$ ），存在 p 的一个邻域点 q （即 $q \in N(p)$ ），使得在 p 的离散距离变换值 $DT(p)$ 满足 $DT(p) = DT(q) + d(p, q)$

因为 p 和 q 互为邻接点，从 p 移动到 q 的长度为 $l(p, q) = d(p, q)$ 。这样，对任意点 $p \notin B$ ， q 可由 $DT(q) = \min\{DT(p) + l(p, q), q \in N(p)\}$ 来刻画

第1讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第38页

1.4.2 局部距离的计算

用于局部距离扩展的模板

(a) 模板基于4-邻域定义且被用来扩展 d_4 距离

(b) 模板基于8-邻域且被用来扩展 d_8 距离或 $d_{a,b}$ 距离

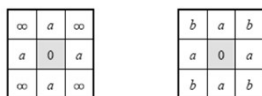


图 1.4.2 用于计算距离变换的模板

每个元素的值表示像素 $p = (x_p, y_p)$ 和它的邻接像素 $q = (x_p + k, y_p + l)$ 之间的局部距离

第1讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第39页

1.4.2 局部距离的计算

- 初始化距离图

$$DT^{(0)}(p) = \begin{cases} 0 & \text{if } p \in B \\ \infty & \text{if } p \notin B \end{cases}$$

- 用下面规则将距离值从像素 $q = (x_p + k, y_p + l)$ 传播到 p

逐个进行

局部模板

$$DT^{(t)}(p) = \min_{k,j} \{DT^{(t-1)}(q) + M(k, l); q = (x_p + k, y_p + l)\}$$

- 更新过程持续进行到距离图不再变化而停止

第1讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第40页

1.5 内容框架和特点

课程内容结构图

- 15章正文+附录
- 主要四个单元
- 总结与复习
- 参考文献
- 思考题/练习题

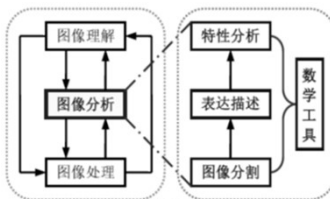


图 1.5.1 图像分析主要内容单元

第1讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第41页

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
- ✉ 个人主页：oa.ee.tsinghua.edu.cn/~zhangyujin/

第1讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第42页