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.ee.tsinghua.edu.cn/~zhangyujin/C3.htm

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

2008个词条

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

1.1 图象和图象工程

1.1.1 图象基础

1.1.2 图象工程

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）⊃ 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

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

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

1.1.1 图象基础

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

(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) $\boldsymbol{f}(x, y) = [f_{\mathrm{r}}(x, y), f_{\mathrm{g}}(x, y), f_{\mathrm{b}}(x, y)]$：彩色

(5) $z = f(x, y)$：恢复深度（或距离）信息

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：象素（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

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

图象的矩阵和矢量表示

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

$$\boldsymbol{F}=\begin{bmatrix} \boldsymbol{f}_1 & \boldsymbol{f}_2 & \cdots & \boldsymbol{f}_N \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{f}_i=\begin{bmatrix} f_{1i} & f_{2i} & \cdots & f_{Mi} \end{bmatrix}^{\mathrm{T}} \quad i=1,\ 2,\ \cdots,\ N$$

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 ⇒ 图象）

图象分析（图象 ⇒ 数据）

图象理解（图象 ⇒ 解释）

1.1.2 图像工程

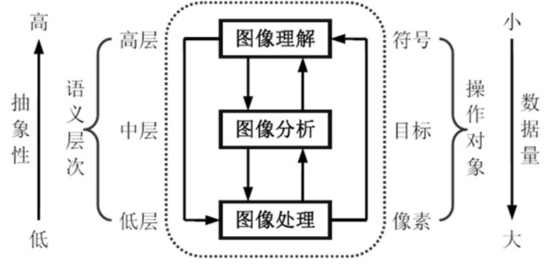


图 1.1.2　图像工程 3 层次示意图

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

1.2 图像分析概论

1.2.1 图像分析定义和研究内容

1.2.2 图像分析系统

1.2.1 图象分析定义和研究内容

1. 图象分析的定义　　<u>图象分析子类</u>

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）

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

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

图 1.2.2 图像分析主要内容单元

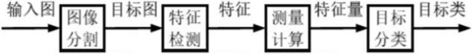


图 1.2.3 图像模式识别流程

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

1.2.2 图象分析系统

历史

- 第一个使用电视摄象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 Loebl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

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

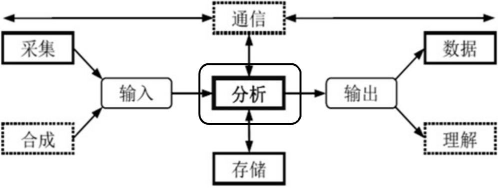


图 1.2.4　图像分析系统的构成示意图

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

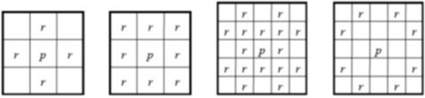
1.3.1 离散距离

1、距离和邻域

① 4-邻域 $\boxed{N_4(p)=\{r \mid d_4(p,r)=1\}}$ 城区距离

② 对角邻域 $N_\mathrm{D}(p)=\{s\}$ $\boxed{N_8(p)=N_4(p)\cup N_\mathrm{D}(p)}$

③ 8-邻域 $\boxed{N_8(p)=\{r \mid d_8(p,r)=1\}}$ 棋盘距离



(a) (b) (c) (d)

图 1.3.1 各种邻域示意

1.3.1 离散距离

1、距离和邻域

④ 16-邻域 $\boxed{N_{16}(p) = N_8(p) \bigcup N_{\mathrm{k}}(p)}$

⑤ 马步邻域 $\boxed{N_{\mathrm{k}}(p) = \left\{ r \mid d_{\mathrm{k}}(p,r) = 1 \right\}}$

马步距离（⌈·⌉：上取整函数）

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

		r_5
	r_3	r_4
p	r_1	r_2

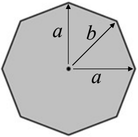
		4
	2	1
p	3	2

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 $a = 3$，$b = 4$

$\Delta_{3,4}(27)$



a：水平/垂直

b：对角

图 1.3.2 斜面圆盘的示例

1.3.2 连通组元

连接

两个象素之间的一种关系，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

两个连接的象素在空间上是**邻接**的

4-连接（两个象素4-邻接 + 灰度相似）

8-连接（两个象素8-邻接 + 灰度相似）

m-连接

连通

连接的推广，连通的象素构成连通组元

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

$p \in S \quad P = \{p\}$

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

象素为网格交点

数字化模型：$S \Rightarrow P$

图 1.3.6 一个简单的数字化模型示例

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

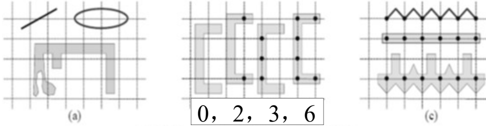


图 1.3.8 数字化模型的不一致性示例

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

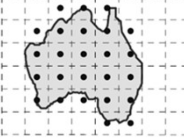
(2) 数字化模型应该尽可能对平移不变（即混叠效应尽可能小）

(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

1.3.3 数字化模型

2、方盒量化（SBQ）

- 对任何象素$p_i = (x_i, y_i)$，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象素位置的分割多边形。一个象素p_i当且仅当$B_i \cap S \neq \varnothing$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



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

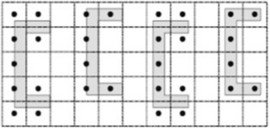
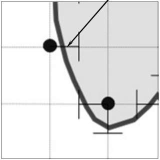


图 1.3.10 使用方盒量化可以减少混叠

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 $y_t \in \mathbf{I}$



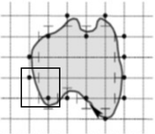


图 1.3.12　对连续曲线 C 的网格相交量化示例

<u>混叠效应：图 1.3.13</u>

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象素个数
- SBQ-域的面积比GIQ-域的面积要小

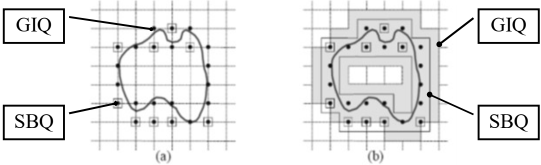


图 1.3.14 GIQ 和 SBQ 模型的比较

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$A_{pq} = \{p_i, i = 0, 1, \ldots, n\}$：

(1) $p_0 = p$，$p_n = q$

(2) $\forall\, i = 1, \ldots, n-1$，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}）

1.3.4 数字弧和弦

1、数字弧

借助网格相交量化（GIQ）模型

在[α, β]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[α, β]左边的那个点）

$[\alpha, \beta]$

$\Downarrow$

直线段

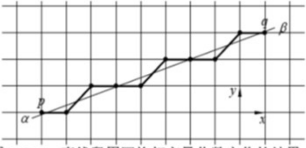


图 1.3.15 直线段用网格相交量化数字化的结果

$[p, q]$

$\Downarrow$

折线段

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$A_{pq} = \{p_i\}_{i = 0, \ldots, n}$，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

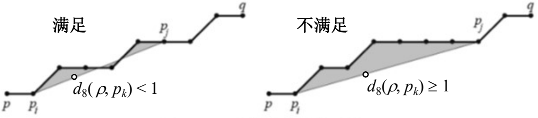


图 1.3.16　判断弦性质的示例

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

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，把二值图象变换为灰度图象

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$d(.,\ .)$，在对P的距离变换中赋予点$p \in P$的值为：

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

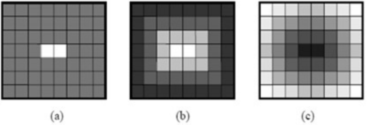


图 1.4.1　二值图和其用灰度图表示的距离图

距离图（map）

矩阵$[\mathrm{DT}(p)]$

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$\mathrm{DT}(p)$满足$\mathrm{DT}(p) = \mathrm{DT}(q) + d(p, q)$

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$\mathrm{DT}(q) = \min\{\mathrm{DT}(p) + l(p, q),\ q \in N(p)\}$来刻画

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

∞	a	∞
a	0	a
∞	a	∞

b	a	b
a	0	a
b	a	b

图 1.4.2　用于计算距离变换的模板

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

1.4.2 局部距离的计算

- 初始化距离图

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

- 用下面规则将距离值从象素$q=(x_p+k, y_p+l)$传播到 p

逐个进行　　局部模板

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

- 更新过程持续进行到距离图不再变化而停止

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

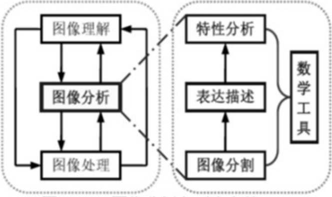


图 1.5.1 图像分析主要内容单元

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/