

# 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

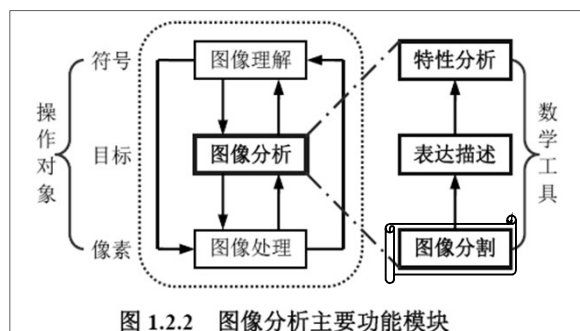


图 1.2.2 图象分析主要功能模块

第4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第2页

## 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4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第3页

## 第4章 分割技术扩展

### 图象分割的扩展

- 特定图象目标 → 更广泛图象目标
- 象素级分割精度 → 亚象素级分割精度
- 2-D 图象 → 3-D 图象 (→ 4-D 图象)
- 灰度图象 → 彩色图象
  - 特殊（其它属性）图象
- 单幅静止图象 → 多幅序列（运动）图象

第4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第4页

## 第4章 分割技术扩展

一些典型的方法

- 4.1 从象素单元到目标单元
- 4.2 从哈夫变换到广义哈夫变换
- 4.3 从象素精度到亚象素精度
- 4.4 从2-D图象到3-D图象
- 4.5 从灰度图象到彩色图象

第4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第5页

## 4.1 从象素单元到目标单元

操作的基本单元：象素、象素邻域、象素集合体（纹理分割），目标部件（结构信息）、目标区域（目标检测）

### 4.1.1 象素和目标之间的单元

### 4.1.2 椭圆目标检测

第4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第6页



## 4.1.1 像素和目标之间的单元



### 1. 超像素

包含一定数量像素的连通集合

#### 超像素分割

分割结果在较粗尺度上保留了图像结构信息和图像局部特征

{4个特点, P.87}

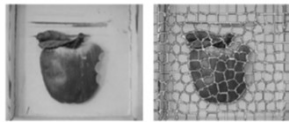


图 4.1.1 一幅图像和对它进行超像素分割的结果

第4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第7页



## 4.1.1 像素和目标之间的单元

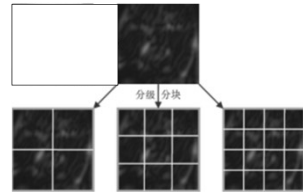


### 2. 图像片

包含一定数量像素的连通集合

图像片可以按一定规律将图像分解得到

形状比较规则的  
图像片也常称为  
图像块



第4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第8页



## 4.1.1 像素和目标之间的单元



### 3. 部件

相对于整体的集合, 根据结构分解

(1) 车牌识别: 将各个字符作为部件进行检测、匹配、识别

(2) 人脸检测: 将人脸分解为额头、左眼、右眼、鼻子及嘴巴等面部器官区域

(3) 人体姿态判断: 将人体分为头部、躯干、左右上臂、左右前臂、左右大腿和左右小腿共10个相互关联的部件

第4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第9页



## 4.1.2 椭圆目标检测



### 1. 直径二分法

一种确定各种尺寸椭圆中心的方法

两个边缘方向反向平行的边缘点的中点应是椭圆中心的候选点

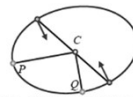


图 4.1.2 直径二分法的基本思路

该方法对定位很多对称的形状(如圆、正方形、矩形等)都有用, 所以可用于检测多种目标

第4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第10页



## 4.1.2 椭圆目标检测



### 2. 弦-切线法

一种确定各种尺寸椭圆中心的方法

在图像中检测成对的边缘点 $P_1$ 和 $P_2$ , 过这两个点的切线相交于 $T$ 点, 而这两个点的连线的中点是 $B$ 点, 椭圆中心 $C$ 点和 $T$ 点在 $B$ 点的两边, 椭圆中心 $C$ 点在 $B$ 点和 $D$ 点之间

将直线上 $BD$ 区间的点在参数空间中累加, 最后用峰值检测就可确定 $C$ 点

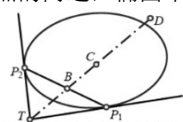


图 4.1.3 弦-切线法示意图

第4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第11页



## 4.2 从哈夫变换到广义哈夫变换



### 哈夫(Hough)变换

图像空间和参数空间之间的一种变换

#### 4.2.1 哈夫变换

#### 4.2.2 广义哈夫变换原理

#### 4.2.3 完整广义哈夫变换

第4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第12页

## 4.2.1 哈夫变换

### 1. 点-线的对偶性

$y = px + q$  图象空间 $XY$ 里所有过点 $(x, y)$ 的直线

$q = -px + y$  参数空间 $PQ$ 中过点 $(p, q)$ 的1条直线

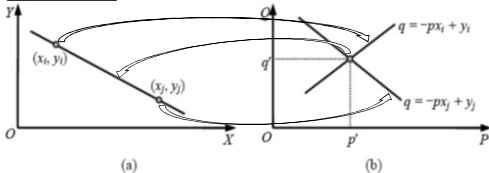


图 4.2.1 图像空间和参数空间中点和线的对偶性

第4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第13页

## 4.2.1 哈夫变换

### 1. 点-线的对偶性

图象空间中共线的点 $\Leftrightarrow$ 参数空间里相交的线

参数空间中相交于同一个点的(每条)直线

$\Leftrightarrow$  图象空间里共线的一个点

### 哈夫变换的原理

把在图象空间中(共线)的检测问题转换到参数空间里, 通过在参数空间里进行简单的共点累加, 统计完成检测任务

第4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第14页

## 4.2.1 哈夫变换

### 2. 计算步骤

在参数空间 $PQ$ 里建立一个2-D的累加数组

$$A(p, q)$$

$$p \in [p_{\min}, p_{\max}]$$

$$q \in [q_{\min}, q_{\max}]$$

$$A(p, q) = A(p, q) + 1$$

$A(p, q)$ 值: 共线点数

$(p, q)$ 值: 直线方程参数

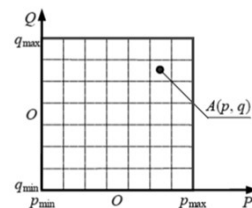


图 4.2.2 参数空间里的累加数组

第4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第15页

## 4.2.1 哈夫变换

### 哈夫变换的功能

检测满足解析式  $f(x, c) = 0$  形式的各类曲线并把曲线上的点连接起来

获得(已知形状)目标的轮廓

### 检测圆周

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2$$

有三个参数 $a, b, r$ , 所以需要在参数空间里建立一个3-D累加数组 $A$ , 其元素可写为 $A(a, b, r)$

第4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第16页

## 4.2.1 哈夫变换

### 3. 极坐标方程

$$\lambda = x \cos \theta + y \sin \theta$$

- 减少检测接近竖直方向直线的计算量

- 点-正弦曲线对偶性

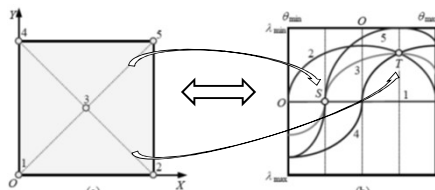


图 4.2.4 图像空间中的点和其在参数空间里对应的正弦曲线

第4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第17页

## 4.2.1 哈夫变换

### 3. 极坐标方程

$$\lambda = x \cos \theta + y \sin \theta$$

#### 法线足哈夫变换

使用 $(\rho, \theta)$ 来表示参数空间。设 $(\rho, \theta)$ 表示的直线与需检测直线的交点坐标为 $(x_f, y_f)$

$$g_y/g_x = y_f/x_f$$

$$(x - x_f)x_f + (y - y_f)y_f = 0$$

$$x_f = g_x \times (xg_x + yg_y) / (g_x^2 + g_y^2)$$

$$y_f = g_y \times (xg_x + yg_y) / (g_x^2 + g_y^2)$$

$$\rho = \sqrt{x_f^2 + y_f^2}$$

$$\theta = \arctan(y_f/x_f)$$

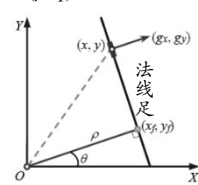


图 4.2.5 法线足哈夫变换

第4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第18页

## 4.2.2 广义哈夫变换原理

在所需检测的曲线或目标轮廓没有或不易用解析式表达时，可以利用表格来建立曲线或轮廓点与参考点间的关系，从而可继续利用哈夫变换进行检测

建立参考点与轮廓点的联系

$$p = x + r(\theta) \cos[\phi(\theta)]$$

$$q = y + r(\theta) \sin[\phi(\theta)]$$

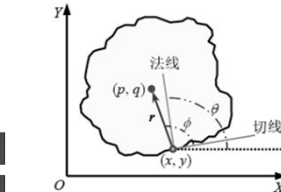


图 4.2.6 建立参考点和轮廓点的对应关系

第4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第19页

## 4.2.2 广义哈夫变换原理

- 已知轮廓形状、朝向和尺度而只需检测位置信息
- 根据  $r$ ,  $\phi$  与  $\theta$  的函数关系作出参考表 ——  $R$  表
- 给定一个  $\theta$ ，就可以确定一个可能的参考点位置

一个  $\theta$   
可能对  
应多个  
轮廓点

梯度角 $\theta$	矢径 $r(\theta)$	矢角 $\phi(\theta)$
$\theta_1$	$r_1^1, r_1^2, \dots, r_1^{N_1}$	$\phi_1^1, \phi_1^2, \dots, \phi_1^{N_1}$
$\theta_2$	$r_2^1, r_2^2, \dots, r_2^{N_2}$	$\phi_2^1, \phi_2^2, \dots, \phi_2^{N_2}$
...	...	...
$\theta_M$	$r_M^1, r_M^2, \dots, r_M^{N_M}$	$\phi_M^1, \phi_M^2, \dots, \phi_M^{N_M}$

第4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第20页

## 4.2.3 完整广义哈夫变换

➤ 轮廓的平移 + 轮廓旋转、放缩  
朝向 尺度

累加数组 (2-D  $\Rightarrow$  4-D) :

$$A(p_{\min}: p_{\max}, q_{\min}: q_{\max}, \beta_{\min}: \beta_{\max}, S_{\min}: S_{\max})$$

$$p = x + S \times r(\theta) \times \cos[\phi(\theta) + \beta]$$

$$q = y + S \times r(\theta) \times \sin[\phi(\theta) + \beta]$$

数组累加:  $A(p, q, \beta, S) = A(p, q, \beta, S) + 1$

第4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第21页

## 4.3 从像素精度到亚像素精度

实际应用中常需要将边缘的检测精度提高到像素内部，即亚像素级

### 4.3.1 基于矩保持的技术

### 4.3.2 利用一阶微分期望值的技术

### 4.3.3 借助切线信息的技术

第4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第22页

## 4.3.1 基于矩保持的技术

### 边缘模型

一个理想边缘可以认为由一系列具有灰度  $b$  的像素与一系列具有灰度  $o$  的像素相接而构成

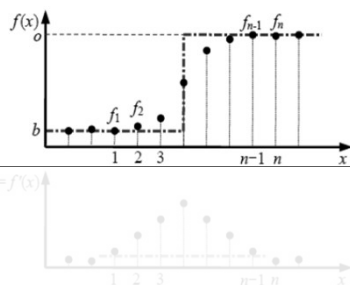


图 4.3.1 1-D 灰度图

第4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第23页

## 4.3.1 基于矩保持的技术

### 计算公式

$$m_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [f_i(x)]^p$$

保持两个边缘的前三阶矩相等，也等价于解下列方程：

$$m_p = \frac{t}{n} b^p + \frac{n-t}{n} o^p \quad p = 1, 2, 3$$

消去  $b$  和  $o$ ，得到

$$t = \frac{n}{2} \left[ 1 + s \sqrt{\frac{1}{4 + s^2}} \right]$$

$$s = \frac{m_3 + 2m_1^3 - 3m_1m_2}{\sigma^3} \quad \sigma^2 = m_2 - m_1^2$$

第4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第24页

### 4.3.2 利用一阶微分期望值的技术

- (1) 计算一阶微分
- (2) 确定边缘区间
- (3) 计算概率函数
- (4) 计算期望值

$$p_k = \frac{g_k}{\sum_{i=1}^n g_i} \quad k = 1, 2, \dots, n$$

$$E = \sum_{k=1}^n k p_k = \sum_{k=1}^n \left( k g_k / \sum_{i=1}^n g_i \right)$$

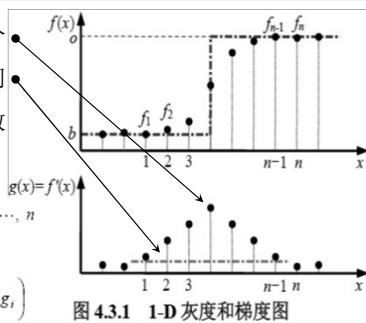


图 4.3.1 1-D 灰度和梯度图

第4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第25页

### 4.3.3 借助切线信息的技术

先检测出像素级边界，再借助像素级边界沿切线方向的信息将其修正到亚像素量级

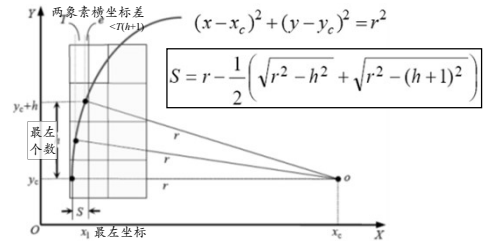


图 4.3.2 圆边界切线方向的示意图

第4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第26页

## 4.4 从2-D图象到3-D图象

**3-D图象:**  $f(x, y, z)$ ,  $f(x, y, t)$

将3-D图象作为一个整体进行分割

➤ (至少) 三个方面的问题需要考虑:

- (1) 分割对象由2-D变为3-D带来的数据结构 and 表达等问题
- (2) 同一类算法共有的分割方法问题
- (3) 各个算法本身特有的一些具体问题

第4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第27页

## 4.4 从2-D图象到3-D图象

以两类 (①和③) 方法为例

### 4.4.1 3-D边缘检测

### 4.4.2 3-D图象阈值化

3-D边缘检测，这是①类和②类技术的基础

④类技术在向3-D推广时主要涉及的是数据结构问题

第4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第28页

### 4.4.1 3-D边缘检测

#### 1. 算子模板的推广

以一个体素为中心的  $3 \times 3 \times 3$  的邻域中可以有多种邻域体素个数，最常见的是:

(a) 6个、(b) 18个、或(c) 26个邻域体素

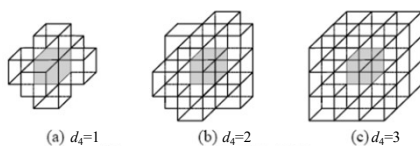


图 4.4.1 3-D 体素的邻域

第4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第29页

### 4.4.1 3-D边缘检测

#### 2. 3-D边缘模型和数字化模型

无穷大阶跃边缘平面

$$x \cos \alpha + y \cos \beta + z \cos \gamma - \rho = 0$$

$\rho$  是从原点到边缘面的

直线距离 (偏移量),

$\alpha, \beta, \gamma$  分别是平面法线

与  $X, Y, Z$  轴的方向夹角

$$\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1$$

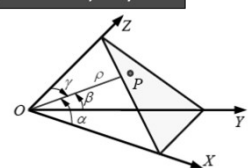


图 4.4.5 阶跃边缘平面示意图

第4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第30页

TH-EE-IE

TH-EE-IE

4.4.1 3-D边缘检测

TH-EE-IE

3-D数字化模型

边缘平面

一面密度为零

另一面为单位密度

体素响应值

体积积分密度

第4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第31页

TH-EE-IE

TH-EE-IE

4.4.1 3-D边缘检测

TH-EE-IE

{P.104}

体素积分密度

$$I(\alpha, \beta, \gamma, \rho) = \begin{cases} \frac{1-\rho}{2} \left( \frac{\rho^2}{6abc} + \frac{\rho^2}{4} \left( \frac{1}{ab} + \frac{1}{ac} + \frac{1}{bc} \right) - \frac{\rho}{8} \left( \frac{c}{ab} + \frac{b}{ac} + \frac{a}{bc} - \frac{2}{a} - \frac{2}{b} - \frac{2}{c} \right) \right. \\ \left. + \frac{1}{48} \left( \frac{c^2}{ab} + \frac{b^2}{ac} + \frac{a^2}{bc} \right) + \frac{1}{16} \left( \frac{b+c}{a} + \frac{a+c}{b} + \frac{a+b}{c} \right) + \frac{1}{8} \right) & \rho \leq 0 \\ 0 & \rho > (a+b+c)/2 \\ \frac{\rho^2}{2ab} - \frac{\rho}{2} \left( \frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right) + \frac{c^2}{24ab} + \frac{1}{8} \left( \frac{b}{a} + \frac{a}{b} \right) + \frac{1}{4} & \rho \leq (a+b-c)/2 \\ & \rho > (a-b+c)/2 \\ \frac{\rho^3}{6abc} + \frac{\rho^2}{4} \left( \frac{1}{ab} + \frac{1}{ac} + \frac{1}{bc} \right) + \frac{\rho}{8} \left( \frac{c}{ab} + \frac{b}{ac} + \frac{a}{bc} - \frac{6}{a} - \frac{6}{b} - \frac{6}{c} \right) & \rho \leq (a-b-c)/2 \\ & \rho > (a-b-c)/2 \\ \frac{\rho^3}{48} \left( \frac{c^2}{ab} + \frac{b^2}{ac} + \frac{a^2}{bc} \right) + \frac{1}{16} \left( \frac{b+c}{a} + \frac{a-c}{b} + \frac{a-b}{c} \right) + \frac{3}{8} & \rho \leq (-a+b+c)/2 \\ & \rho > (-a+b+c)/2 \\ \frac{\rho}{a} + \frac{1}{2} & \rho \leq (a-b-c)/2 \\ \frac{\rho^3}{3abc} - \frac{\rho}{4} \left( \frac{c}{ab} + \frac{b}{ac} + \frac{a}{bc} - \frac{2}{a} - \frac{2}{b} - \frac{2}{c} \right) + \frac{1}{2} & \rho \leq (-a+b+c)/2 \end{cases}$$

$a = \cos \alpha$   
 $b = \cos \beta$   
 $c = \cos \gamma$

第4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第32页

TH-EE-IE

TH-EE-IE

4.4.1 3-D边缘检测

TH-EE-IE

模板响应

$$I_n(\alpha, \beta, \gamma, \rho, \Delta x, \Delta y, \Delta z) = I(\alpha, \beta, \gamma, \rho - a\Delta x - b\Delta y - c\Delta z)$$

$$I_x = \sum_{n \in \text{Mask}} I_n W_{xn}, \quad I_y = \sum_{n \in \text{Mask}} I_n W_{yn}, \quad I_z = \sum_{n \in \text{Mask}} I_n W_{zn}$$

$$M_2 = \sqrt{I_x^2 + I_y^2 + I_z^2}$$

$$\hat{\alpha} = \arccos \frac{I_x}{\sqrt{I_x^2 + I_y^2 + I_z^2}}, \quad \hat{\beta} = \arccos \frac{I_y}{\sqrt{I_x^2 + I_y^2 + I_z^2}}$$

$$\hat{\gamma} = \arccos \frac{I_z}{\sqrt{I_x^2 + I_y^2 + I_z^2}}$$

$$\cos \varepsilon = \cos \alpha \cos \hat{\alpha} + \cos \beta \cos \hat{\beta} + \cos \gamma \cos \hat{\gamma}$$

第4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第33页

TH-EE-IE

TH-EE-IE

4.4.2 3-D图象阈值化

TH-EE-IE

取阈值分割 (2-D  $\Rightarrow$  3-D)

关键: 选取阈值

- 计算量的增加  
3-D图象数据量有明显增加
- 局域运算  
局域的概念、种类和尺寸都有扩展
- 各向异性  
体素可能不是正方形的, 体素间距离变化

第4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第34页

TH-EE-IE

TH-EE-IE

4.4.2 3-D图象阈值化

TH-EE-IE

- 推广基于像素的阈值选取方法  
用体素代替像素, 直接利用体素性质

- 计算量的增加  
3-D图象中体素数量大于2-D图象中像素数量
- 局域运算 (一般不需考虑)
- 各向异性 (没有什么影响)

第4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第35页

TH-EE-IE

TH-EE-IE

4.4.2 3-D图象阈值化

TH-EE-IE

- 推广基于区域的阈值选取方法

- 计算量的增加  
模板尺寸增加 (2-D  $\Rightarrow$  3-D)
- 局域运算 (复杂, 如前)  
每个模板所覆盖邻域的大小和形状有多种
- 各向异性 (不确定)  
局部联系的复杂性

第4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第36页

## 4.4.2 3-D图象阈值化

### 3. 推广基于坐标的阈值选取方法

#### (1) 计算量的增加

3-D图象数据量的增加会导致3-D子图象数量和各个子图象数据量的增加。计算量会从 $O(N^2/n^2)$ 增到 $O(N^3/n^3)$

#### (2) 局域运算（同上，模板多样化）

#### (3) 各向异性（复杂）

插值算法会受影响

第4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第37页

## 4.4.2 3-D图象阈值化

### 3-D双线性插值

利用 $(x', y', z')$ 点的八个最近邻像素 $O$ 、 $P$ 、 $Q$ 、 $R$ 、 $S$ 、 $T$ 、 $U$ 、 $V$ 插出 $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ （2-D平面）

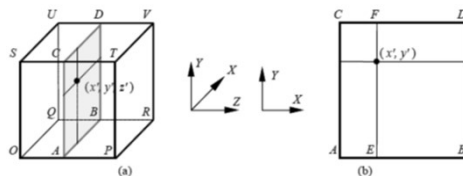


图 4.4.7 3-D 图像的双线性插值

第4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第38页

## 4.5 从灰度图象到彩色图象

标量图象 $f(x, y) \Rightarrow$  矢量图象 $\mathbf{f}(x, y)$

还可推广到更高维

### 4.5.1 彩色空间的选择

### 4.5.2 彩色图象分割策略

第4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第39页

## 4.5.1 彩色空间的选择

### 彩色空间

{上册13.2节}

#### • 面向硬设备的彩色模型 RGB模型

#### • 面向视觉感知的彩色模型

HSI模型（HSV/HSB）

(1)  $I$ 分量与图象的彩色信息无关

(2)  $H$ 和 $S$ 分量与人感受颜色的方式是紧密相连的（颜色和浓淡）

HSI三分量之间的相关性比RGB三分量之间要小得多

第4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第40页

## 4.5.2 彩色图象分割策略

### 分割策略

由于  $H$ ,  $S$ ,  $I$  三个分量是相互独立的，所以有可能将一个3-D搜索问题转化为三个1-D搜索

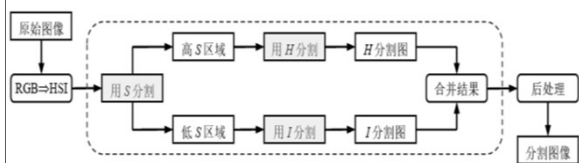


图 4.5.1 对彩色图像不同分量进行序列分割的算法流程图

第4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](mailto:zhang-yj@tsinghua.edu.cn)

✉ 个人主页：[oa.ee.tsinghua.edu.cn/~zhangyujin/](http://oa.ee.tsinghua.edu.cn/~zhangyujin/)

第4讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第42页