

2D计算机视觉

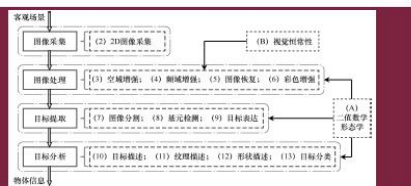
原理、算法及应用

计算机视觉
丛书



2D计算机视觉

原理、算法及应用



2D COMPUTER VISION
Principles, Algorithms and Applications

2D计算机视觉

原理、算法及应用

章毓晋 编著

电子工业出版社

2D COMPUTER VISION
Principles, Algorithms and Applications

2D计算机视觉

原理、算法及应用

章毓晋 编著



责任编辑：朱雨萌
封面设计：博雅锦



定价：149.00元

中国工信出版集团

电子工业出版社
http://www.phei.com.cn



第2章 2-D图像采集

图像采集是指获取图像的技术和过程
图像的采集涉及两方面的内容

- (1) 光度学：确定了在 (x, y) 处的 f
- (2) 几何学： (x, y) 源自场景中什么地方

数字图像：

- (1) f 与量化有关
- (2) (x, y) 与采样有关

图像中的像素之间有多种联系，既包括空间上的关系，也包括灰度上的关系



第2章 2-D图像采集

2.1 采集装置和性能指标

2.2 图像亮度成像模型

2.3 图像空间成像模型

2.4 采样和量化

2.5 像素之间的关系

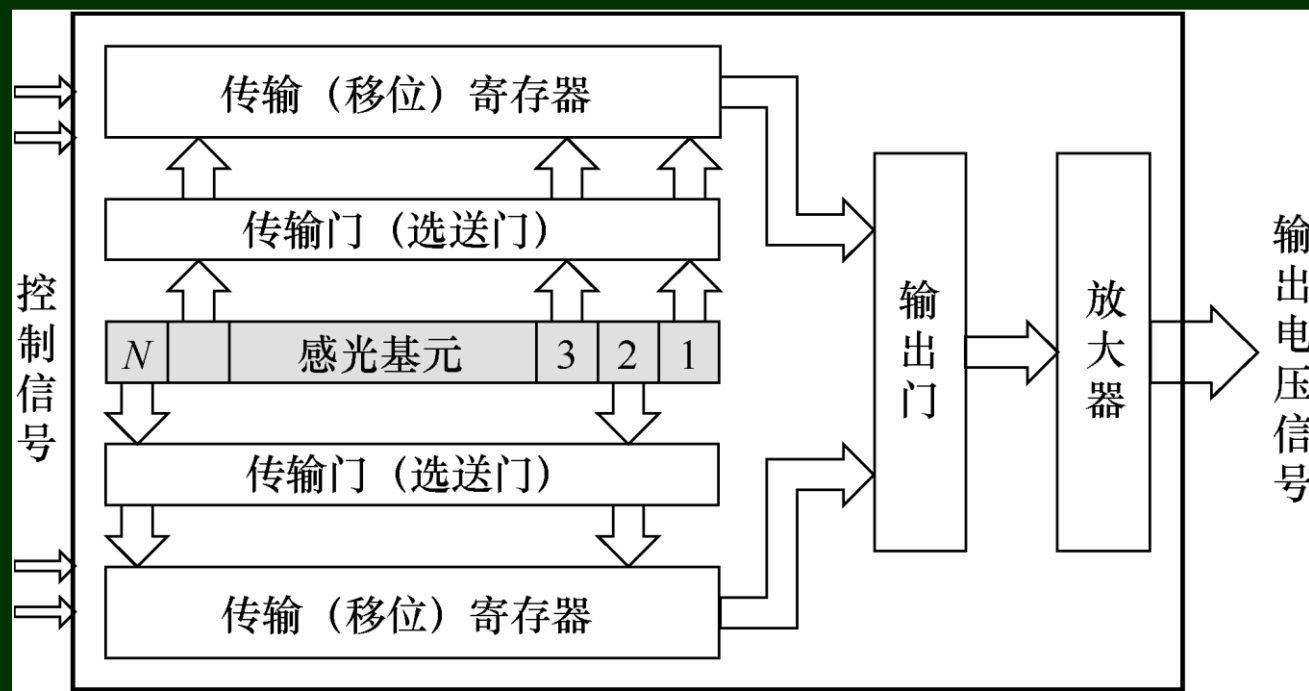


2.1 采集装置和性能指标

图像采集装置的共同之处是接收外界激励并产生模拟响应，然后把模拟响应转化为数字信号

CCD传感器

线扫描
传感器

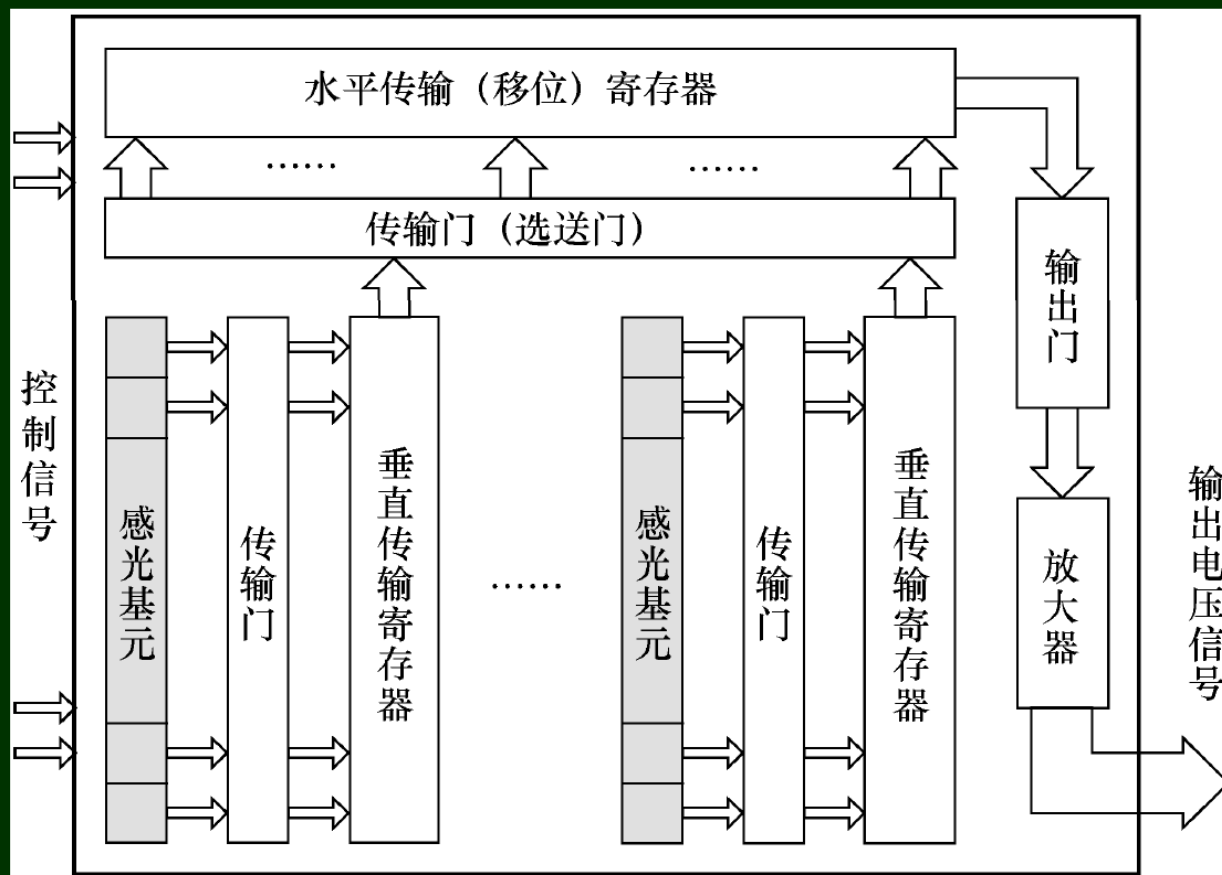




2.1 采集装置和性能指标

CCD传感器

平面扫描
传感器





2.1 采集装置和性能指标

CMOS传感器

传感器核心中的感光像元电路分三种

- (1) 光敏二极管型无源像素结构
- (2) 光敏二极管型有源像素结构
- (3) 光栅型有源像素结构

CMOS摄像器件把整个系统集成在一块芯片上，降低了功耗，缩小了尺寸，总体成本也更低



2.1 采集装置和性能指标

常用性能指标

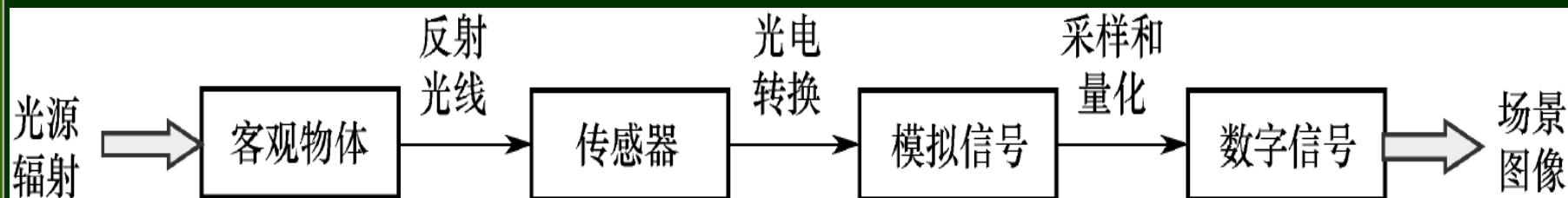
- (1) 线性响应：指输入物理信号的强度与输出响应信号的强度之间是否具有线性关系
- (2) 灵敏度：对应光子个数
- (3) 信噪比：指所采集的图像中有用信号与无用干扰的比值（能量或强度）
- (4) 阴影（不均匀度）
- (5) 快门速度：采集一幅图像所需要的拍摄/曝光时间
- (6) 读取速率：指信号数据从光敏感单元读取（传输）的速率



2.1 采集装置和性能指标

图像采集流程

图像采集要获得与客观景物空间关系和表面性质相关的信号



图像的空间分辨率主要由摄像机里图像采集矩阵中光电感受单元的尺寸和排列所决定（对应采样），而图像的幅度分辨率主要由对电信号强度进行量化所使用的级数所决定



2.2 图像亮度成像模型

光度学基础

光度学：研究光（辐射）强弱的学科

光通量：表示光辐射的功率或光辐射量（其单位是流明，lm）

立体角：从一点（称为立体角的顶点）出发通过一条闭合曲线上所有点的射线围成的空间部分（其单位是球面度，sr）

照度：照射在单位面积上的光通量（单位是勒克斯，lx）



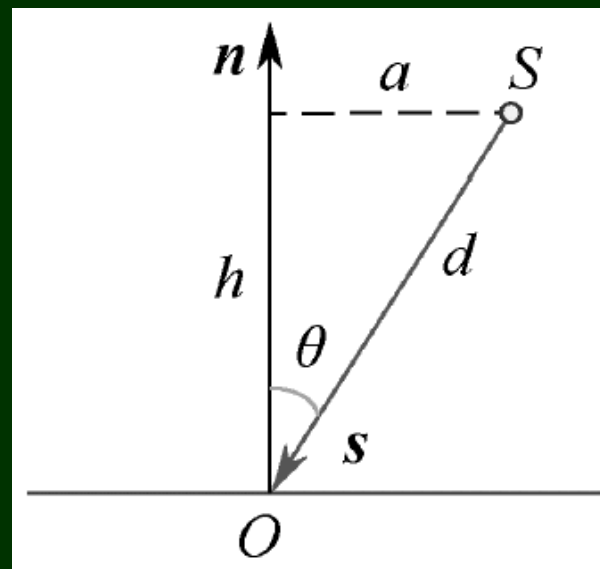
2.2 图像亮度成像模型

均匀照度

为获得均匀一致的照度，需要对光源数量和位置进行设计

单个点光源：

$$E = k \frac{\cos \theta}{d^2} = \frac{kh}{d^3}$$

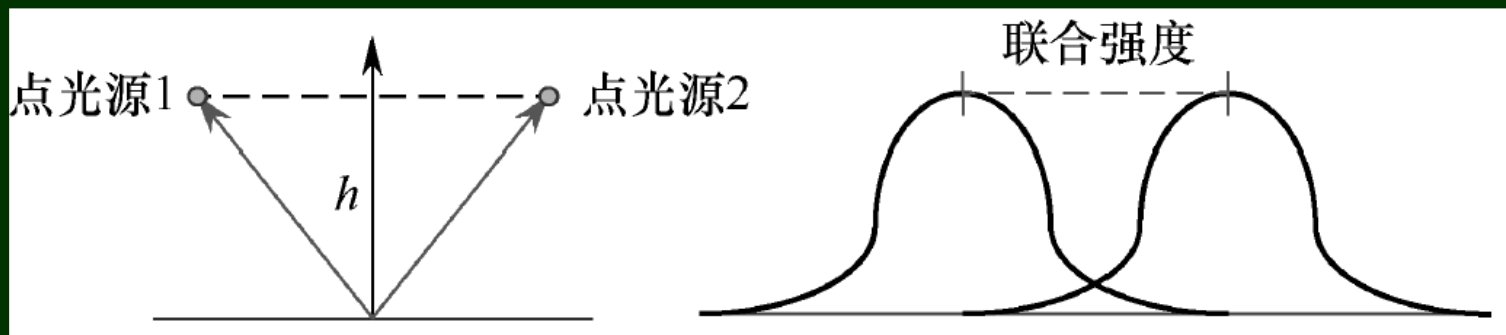




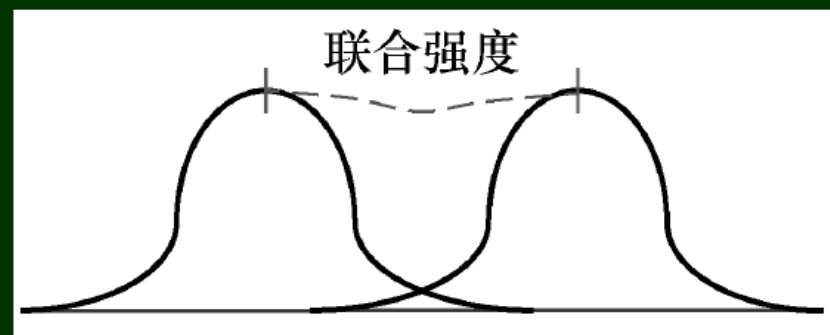
2.2 图像亮度成像模型

均匀照度

两个点光源：



当一个入射角减小时，另一个入射角增加，就有可能在两个点光源连线上获得比较均匀的照度



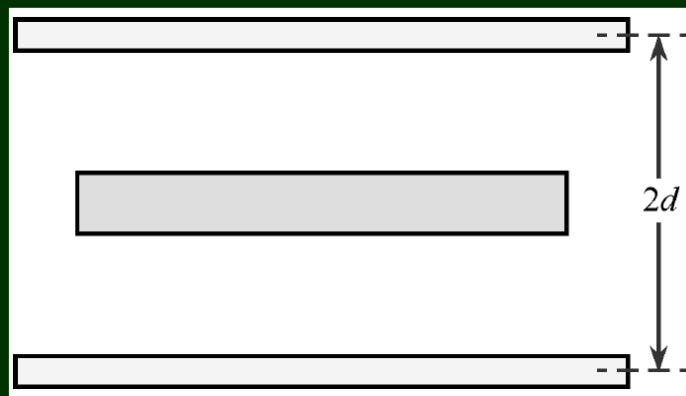


2.2 图像亮度成像模型

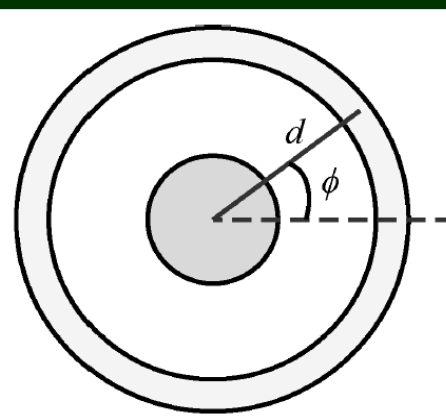
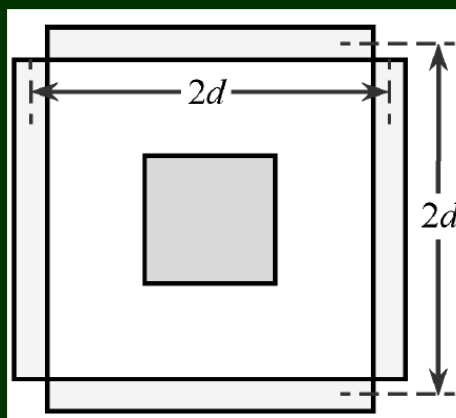
均匀照度

条状光源:

细长矩形



正方形



圆形



2.2 图像亮度成像模型

简单亮度成像模型

光辐射强度转化为图像亮度（灰度）：

$$0 < f(x, y) < \infty$$

(1) 辐射强度

$$f(x, y) = i(x, y)r(x, y)$$

$$0 < i(x, y) < \infty$$
 照度分量

$$0 < r(x, y) < 1$$
 反射分量

(2) 转化方式

$$G_{\min} \leq g \leq G_{\max}$$



2.3 图像空间成像模型

投影成像几何

成像变换涉及不同坐标系之间的转换

(1) 世界坐标系：也称真实或现实世界坐标系，它是客观世界的绝对坐标（所以也称客观坐标系）。一般的3-D场景都是用世界坐标系 XYZ 来表示的

(2) 摄像机坐标系：以摄像机为中心制定的坐标系 xyz ，一般取摄像机的光学轴为 z 轴

(3) 图像坐标系：也称像平面坐标系，是摄像机内成像平面上的坐标系 $x'y'$



2.3 图像空间成像模型

投影成像几何

齐次坐标

在讨论不同坐标系之间的转换时，如果能将坐标系用齐次坐标的形式来表达，就可将各坐标系之间的转换表示成线性矩阵形式

一个笛卡儿世界坐标系中的点可用矢量形式表示为

$$W = [X \quad Y \quad Z]^T$$

它对应的齐次坐标可表示为

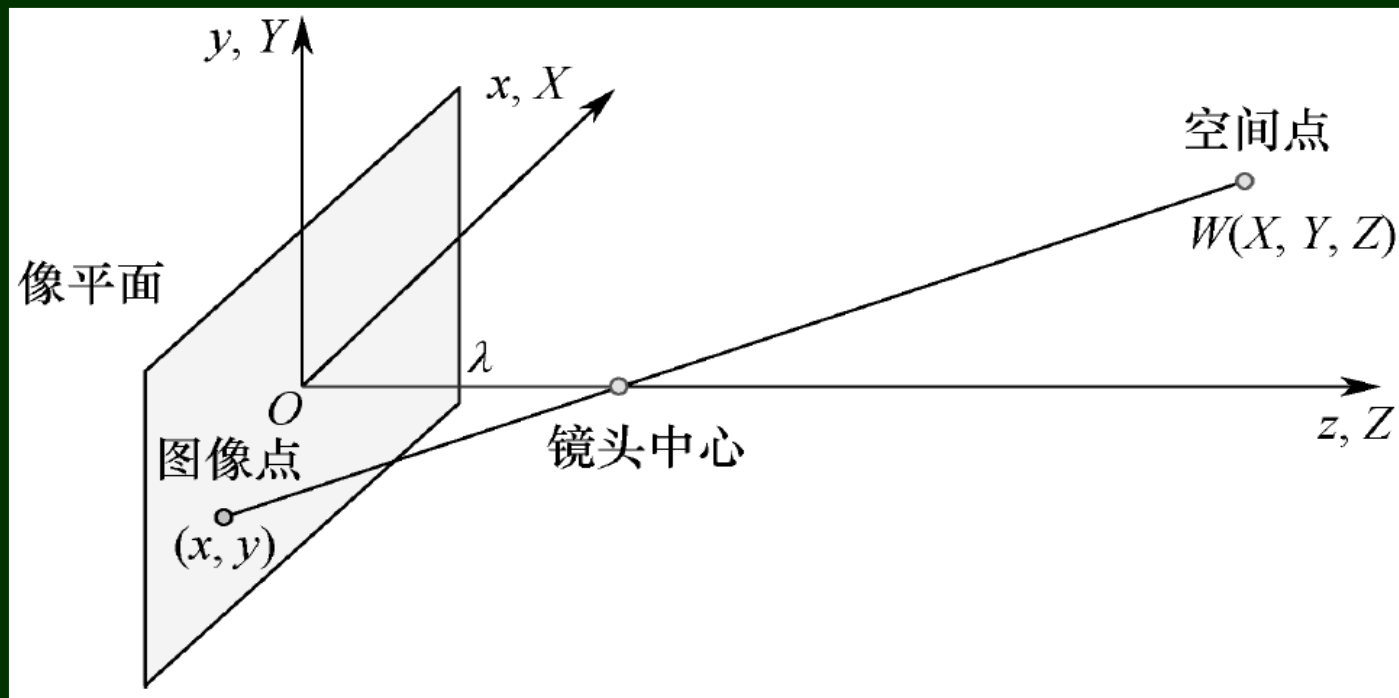
$$W_h = [kX \quad kY \quad kZ \quad k]^T$$



2.3 图像空间成像模型

基本成像模型

世界坐标系与摄像机坐标系重合，像平面坐标系 $x'y'$ 与摄像机坐标系的 xy 平面重合





2.3 图像空间成像模型

基本成像模型

将3-D客观场景投影到2-D像平面

$$\frac{x}{\lambda} = \frac{-X}{Z - \lambda} = \frac{X}{\lambda - Z}$$
$$\frac{y}{\lambda} = \frac{-Y}{Z - \lambda} = \frac{Y}{\lambda - Z}$$

$$x = \frac{\lambda X}{\lambda - Z}$$
$$y = \frac{\lambda Y}{\lambda - Z}$$

透视投影成像的投影矩阵

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1/\lambda & 1 \end{bmatrix}$$



2.3 图像空间成像模型

基本成像模型

摄像机坐标

$$\mathbf{C}_h = \mathbf{P}\mathbf{W}_h = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1/\lambda & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} kX \\ kY \\ kZ \\ k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} kX \\ kY \\ kZ \\ -kZ/\lambda + k \end{bmatrix}$$

笛卡尔坐标

$$\mathbf{c} = \begin{bmatrix} x & y & z \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} \frac{\lambda X}{\lambda - Z} & \frac{\lambda Y}{\lambda - Z} & \frac{\lambda Z}{\lambda - Z} \end{bmatrix}^T$$



2.3 图像空间成像模型

基本成像模型

逆投影

$$\mathbf{W}_h = \mathbf{P}^{-1} \mathbf{c}_h$$

逆投影矩阵

$$\mathbf{P}^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1/\lambda & 1 \end{bmatrix}$$

点的齐次矢量形式

$$\mathbf{c}_h = [kx \quad ky \quad 0 \quad k]^T$$



2.3 图像空间成像模型

基本成像模型

齐次形式的世界坐标矢量

$$W_h = [kx \quad ky \quad 0 \quad k]^T$$

笛卡儿坐标系中的世界坐标矢量

$$W = [X \quad Y \quad Z]^T = [x \quad y \quad 0]^T$$

点 (x, y) 对应于过 $(x, y, 0)$ 和 $(0, 0,)$ 的直线

$$X = \frac{x}{\lambda}(\lambda - Z)$$

$$Y = \frac{y}{\lambda}(\lambda - Z)$$

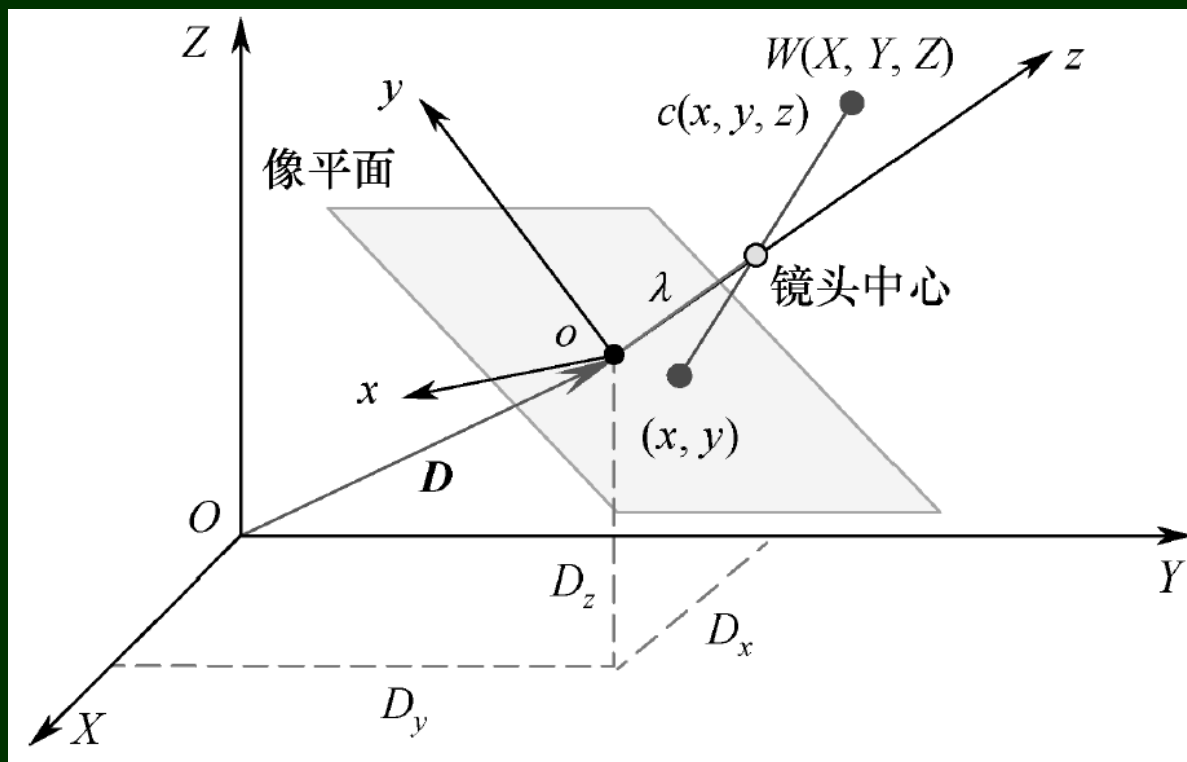
不可能将一个3-D
点的坐标从它的图像
中完全恢复过来



2.3 图像空间成像模型

一般成像模型

摄像机坐标系与世界坐标系不重合，但摄像机坐标系与像平面坐标系重合





2.3 图像空间成像模型

一般成像模型

从基本成像模型转换

(1) 将像平面原点按矢量
 D 移出世界坐标系的原点

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -D_x \\ 0 & 1 & 0 & -D_y \\ 0 & 0 & 1 & -D_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

(2) 以 γ 角（绕 z 轴）扫视 x 轴

(3) 以 α 角将 z 轴倾斜（绕 x 轴旋转）

$$R = R_\alpha R_\gamma = \begin{bmatrix} \cos \gamma & \sin \gamma & 0 & 0 \\ -\sin \gamma \cos \alpha & \cos \alpha \cos \gamma & \sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha \sin \gamma & -\sin \alpha \cos \gamma & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



2.3 图像空间成像模型

一般成像模型

世界坐标点 W_h 变换后的齐次表达

$$C_h = PRTW_h$$

世界坐标点成像后的笛卡儿坐标 (x, y)

$$x = \lambda \frac{(X - D_x) \cos \gamma + (Y - D_y) \sin \gamma}{(X - D_x) \sin \alpha \sin \gamma + (Y - D_y) \sin \alpha \cos \gamma - (Z - D_z) \cos \alpha + \lambda}$$
$$y = \lambda \frac{-(X - D_x) \sin \gamma \cos \alpha + (Y - D_y) \cos \alpha \cos \gamma + (Z - D_z) \sin \alpha}{-(X - D_x) \sin \alpha \sin \gamma + (Y - D_y) \sin \alpha \cos \gamma - (Z - D_z) \cos \alpha + \lambda}$$

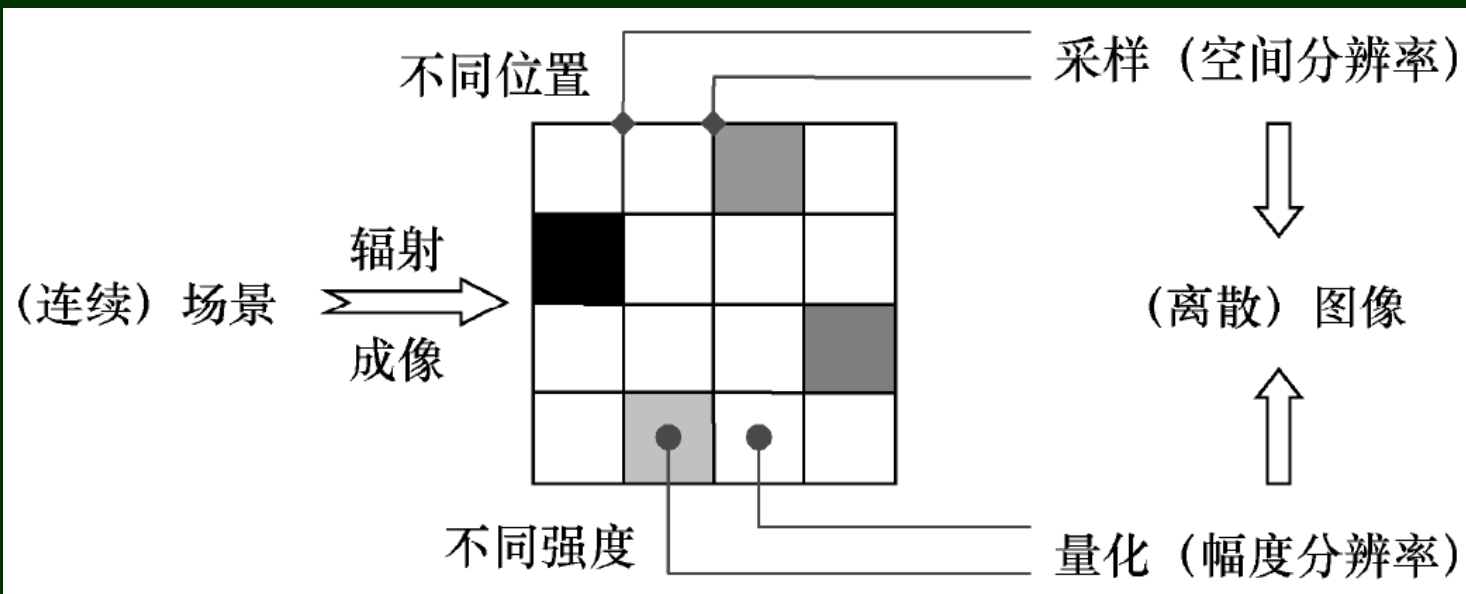


2.4 采样和量化

空间和幅度分辨率

采样确定了图像的空间分辨率

量化确定了图像的幅度分辨率





2.4 采样和量化

图像数据量与质量

图像 $f(x, y)$ 用一个 $M \times N$ 数组或矩阵来近似表示

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

图像空间分辨率是 $M \times N$

幅度分辨率是 G

$$M = 2^m$$

$$N = 2^n$$

$$G = 2^k$$

$$b = MNk$$

图像
所需位数



2.4 采样和量化

图像数据量与质量

图像空间分辨率变化产生的效果（图2-12）

图 2-12	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
空间分辨率	512×512	256×256	128×128	64×64	32×32	16×16
灰度级数	256	256	256	256	256	256
数据量/bit	67108864	16777216	4194304	1048576	262144	65536
数据量比率		4 : 1	4 : 1	4 : 1	4 : 1	4 : 1



2.4 采样和量化

图像数据量与质量

图像幅度分辨率变化产生的效果（图2-13）

图 2-13	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
空间分辨率	512×512	512×512	512×512	512×512	512×512	512×512
灰度级数	256	64	16	8	4	2
数据量/bit	67108864	16777216	4194304	2097152	1048576	524288
数据量比率		4 : 1	4 : 1	2 : 1	2 : 1	2 : 1



2.4 采样和量化

图像数据量与质量

图像空间和幅度分辨率同时变化产生的效果

图 2-14	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
空间分辨率	256×256	181×181	128×128	90×90	64×64	45×45
灰度级数	256	64	32	16	8	4
数据量/bit	16777216	2096704	524288	129600	32768	8100
数据量比率		8 : 1	4 : 1	4 : 1	4 : 1	4 : 1



2.5 像素之间的关系

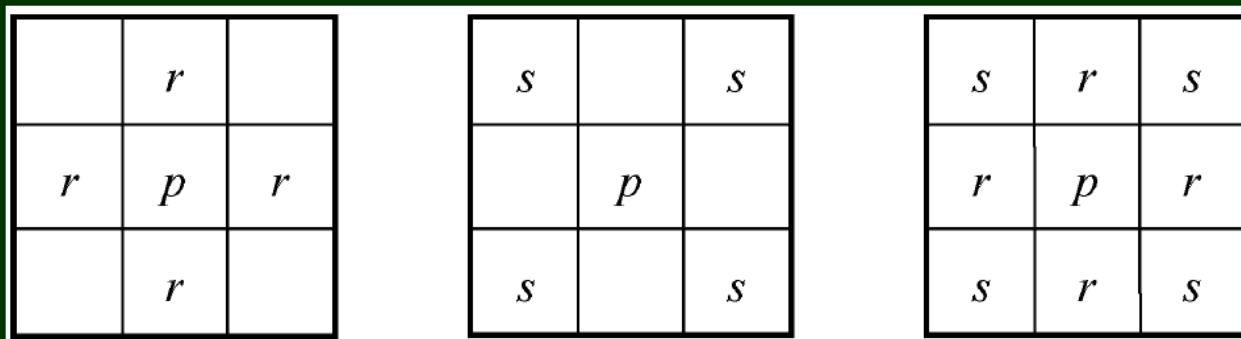
像素邻域及连通

像素邻域：由像素的近邻像素组成

$N_4(p)$: 4个水平和垂直的近邻像素

$N_D(p)$: 4个对角近邻像素

$N_8(p)$: 8个水平、垂直、对角的近邻像素





2.5 像素之间的关系

像素邻域及连通

邻接： 像素 q 在像素 p 的邻域

连接： p 和 q 邻接，且它们的灰度值均满足某个特定的相似准则

连通： p 和 q 不邻接，但它们均在另一个像素的相同邻域中，且这三个像素的灰度值均满足某个特定的相似准则

通路： 一系列依次连接的像素所构成



2.5 像素之间的关系

像素间距离

欧氏距离（也是范数为2的距离）

$$D_E(p, q) = [(x - s)^2 + (y - t)^2]^{\frac{1}{2}}$$

城区距离（也是范数为1的距离）

$$D_4(p, q) = |x - s| + |y - t|$$

棋盘距离（也是范数为 ∞ 的距离）

$$D_8(p, q) = \max(|x - s|, |y - t|)$$



2.5 像素之间的关系

像素间距离

欧氏距离给出的结果准确，但计算量大且结果一般不为整数。城区距离和棋盘距离均为非欧氏距离，计算量小，但有一定的误差

利用像素间的距离也可定义像素的邻域

$$N_4(p) = \{ r \mid D_4(p, r) = 1 \}$$

$$N_8(p) = \{ r \mid D_8(p, r) = 1 \}$$



2.6 各节要点和可参考的文献

- 1 采集装置和性能指标
- 2 图像亮度成像模型
- 3 图像空间成像模型
- 4 采样和量化
- 5 像素之间的关系

自我检测题