

پردازش دیجیتالی تصاویر

Digital Image Processing

میلااد سلطانی



دانشگاه آزاد اسلامی
واحد تربت جام



- ساختار چشم انسان
- تشکیل تصویر در چشم و تشخیص روشنایی
- حسگری و اخذ تصویر با انواع حسگرها
- مدل شکل گیری تصویر ساده
- نمونه برداری و کوانتیزه سازی
- نمایش تصویر دیجیتال
- سطوح شدت روشنایی
- رزولوشن مکانی و شدت روشنایی
- درونیابی تصویر
- روابط پایه ای بین پیکسل ها
- عملیات آرایه ای، ماتریسی، حسابی، منطقی، مکانی
- تبدیلات تصویر

فصل دوم

مبانی تصویر دیجیتال



ساختار چشم انسان

■ چشم تقریباً گُروی است با قطر میانگین تقریباً ۲۰ میلیمتر که سه پوسته آنرا محصور کردند:

◆ قرنيه (Cornea) و پوشش بیرونی صلبیه (Sclera)

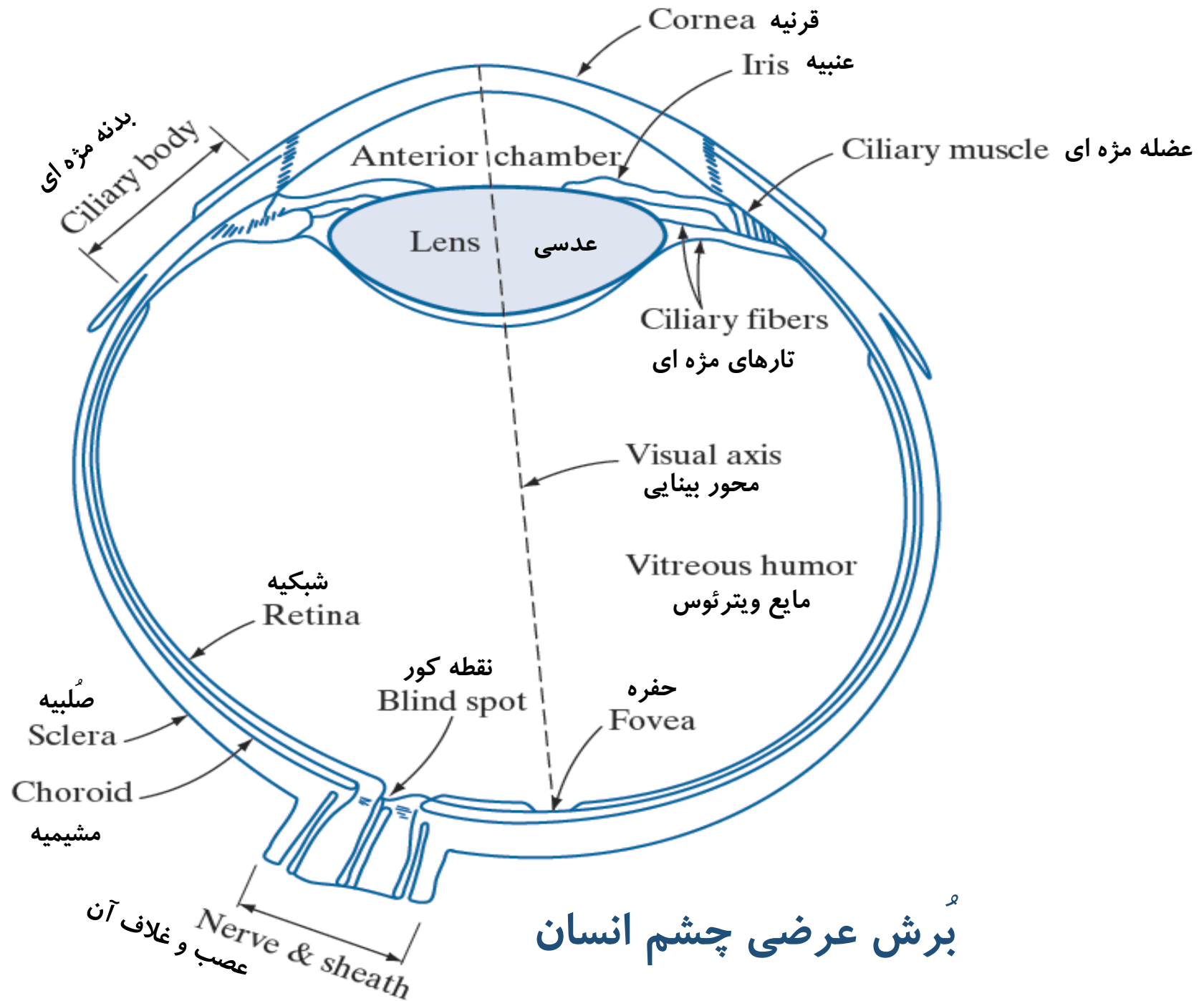
- قرنيه بافت سفت و شفاف که سطح جلوی چشم را می پوشاند.
- صلبیه پوسته ای غیر شفاف که بقیه گُره چشم را محصور می کند.

◆ مشیمیه (Choroid)

- شامل شبکه ای از رگ های خونی برای تغذیه چشم
- جلوی مشیمیه عنبیه است که قسمت رنگی چشم است و برای کنترل نور ورودی بزرگ و کوچک می شود.
- بخش میانی عنبیه مردمک است که بین ۲ تا ۸ میلیمتر تغییر اندازه می دهد.

◆ شبکیه (Retina)

- درونی ترین بخش چشم است که نور واصل از شیء خارج چشم درون آن تصویر می شود.



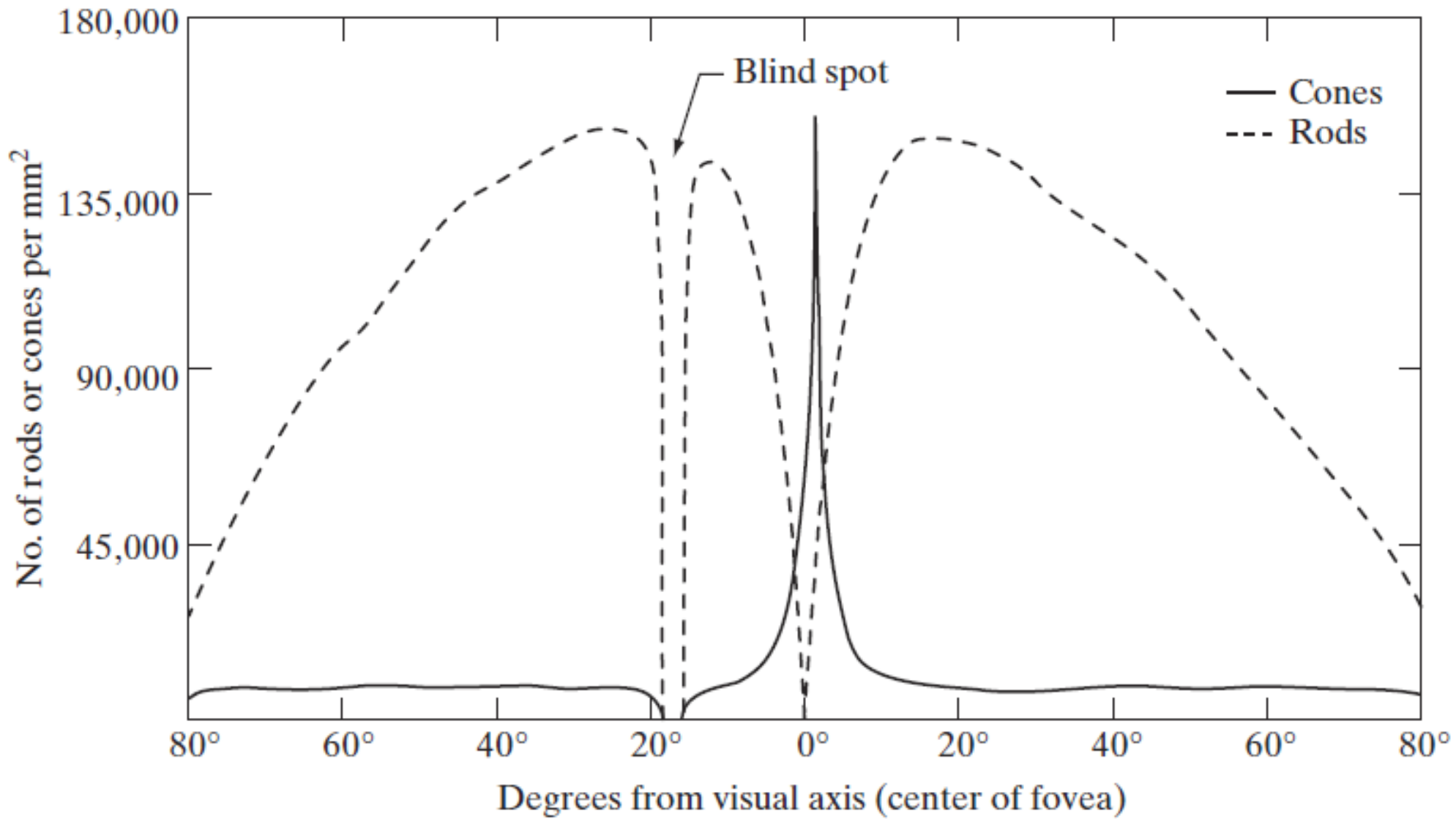
برش عرضی چشم انسان



ساختار چشم انسان

■ الگوی دید حاصل توزیع گسسته گیرنده های نور در سطح شبکیه است. انواع گیرنده در سطح شبکیه عبارتند از:

- ◆ **مخروط ها:** تعداد بین ۶ تا ۷ میلیون - آنهایی که در مرکز شبکیه هستند حفره نام دارند - به رنگ حساس هستند - برای درک جزئیات - هر کدام عصب مجزا دارند
 - دید مخروطی یا فوتوپیک (Photopic) یا دید در نور روشن گفته می شود.
- ◆ **میله ها:** تعداد ۷۵ تا ۱۵۰ میلیون - توزیع وسیع تر در شبکیه - برای درک کلی و عمومی، توانایی تشخیص کمتر - رنگ ندارند - به تغییرات سطح پایین نور حساس اند - هر چند میله یک عصب دارند
 - دید میله ای یا اسکوتوپیک (Scotopic) یا دید در تاریکی گفته می شود.

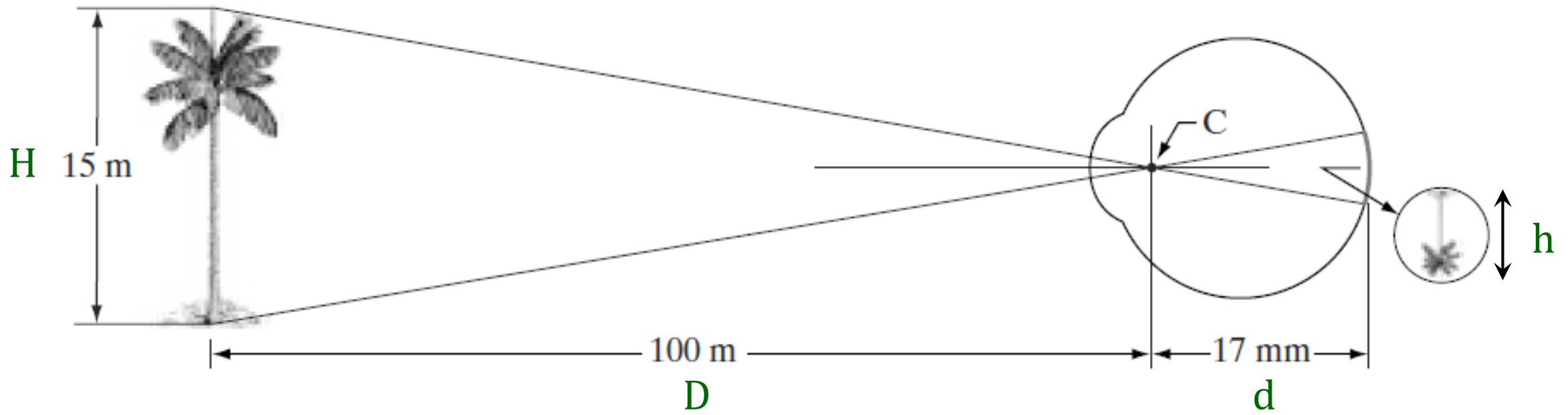


توزیع گیرنده های میله ای و مخروط ها در شبکیه چشم انسان



تشکیل تصویر در چشم

- در دوربین عکاسی، فاصله کانونی عدسی ثابت است و برای تنظیم، لازم است فاصله بین عدسی و صفحه فیلم برداری تغییر کند.
- در چشم انسان فاصله بین عدسی و منطقه تصویر برداری (شبکیه) ثابت است و برای تمرکز، لازم است که شکل عدسی تغییر کند.
 - ◆ تارهای مژه ای عدسی را تغییر شکل می دهند.
 - ◆ فاصله مرکز عدسی تا شبکیه حدود ۱۷ میلیمتر است (در طول محور دید)

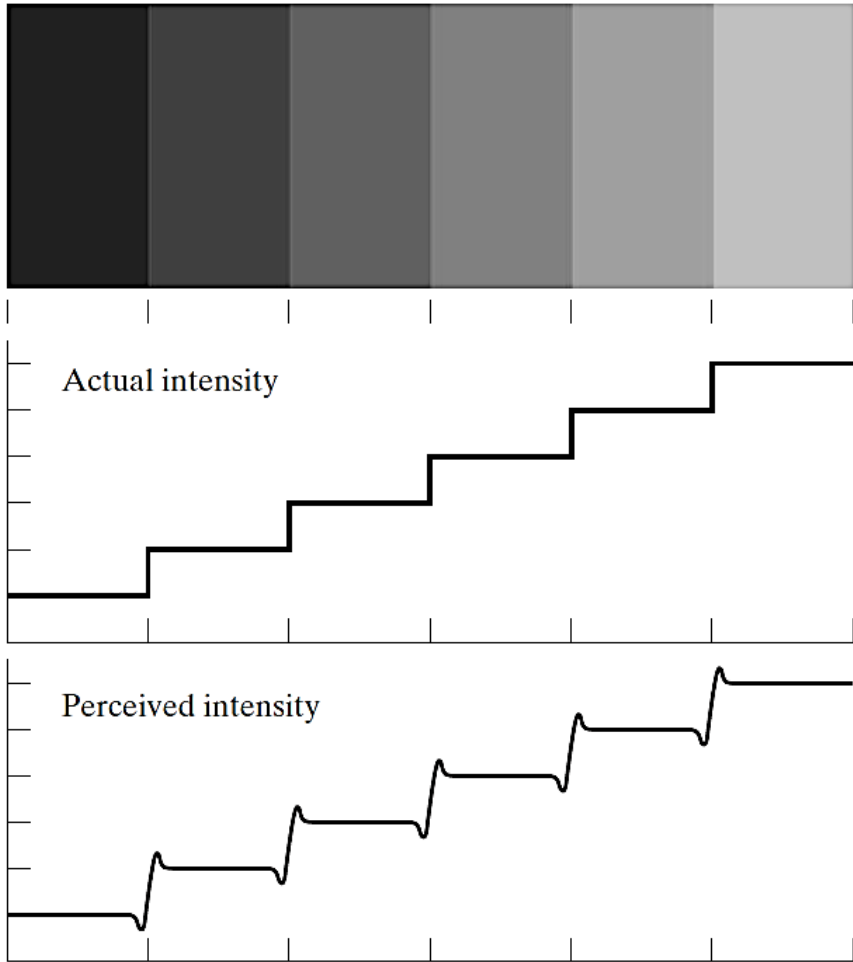


$$\frac{h}{d} = \frac{H}{D} \Rightarrow \frac{h}{17} = \frac{15}{100} \Rightarrow h = 2.55\text{ mm}$$

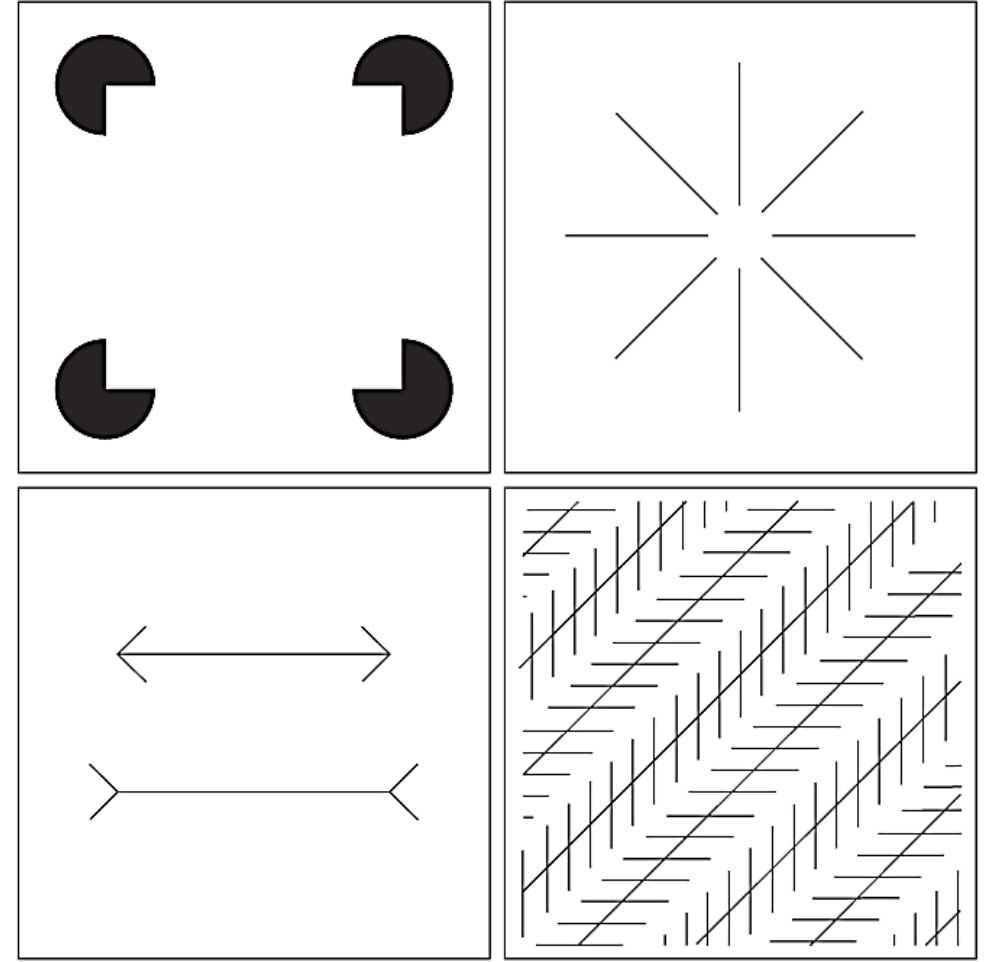


تشخیص روشنایی

- ثابت می شود روشنایی ادراک شده، تابع ساده ای از شدت روشنایی نیست. زیرا:
 - ◆ سیستم بینایی دوست دارد حول مناطق مرزی فرا جهش یا فرو جهش داشته باشد که توسط ارنست ماخ توصیف شد.
 - ◆ تباین همزمان (Simultaneous Contrast): میزان روشنایی ادراک شده از یک منطقه ارتباط ساده با شدت روشنایی آن ندارد.
- پدیده های ادراکی دیگر: خطای دید



پدیده باند ماخ



برخی از خطاهای دید

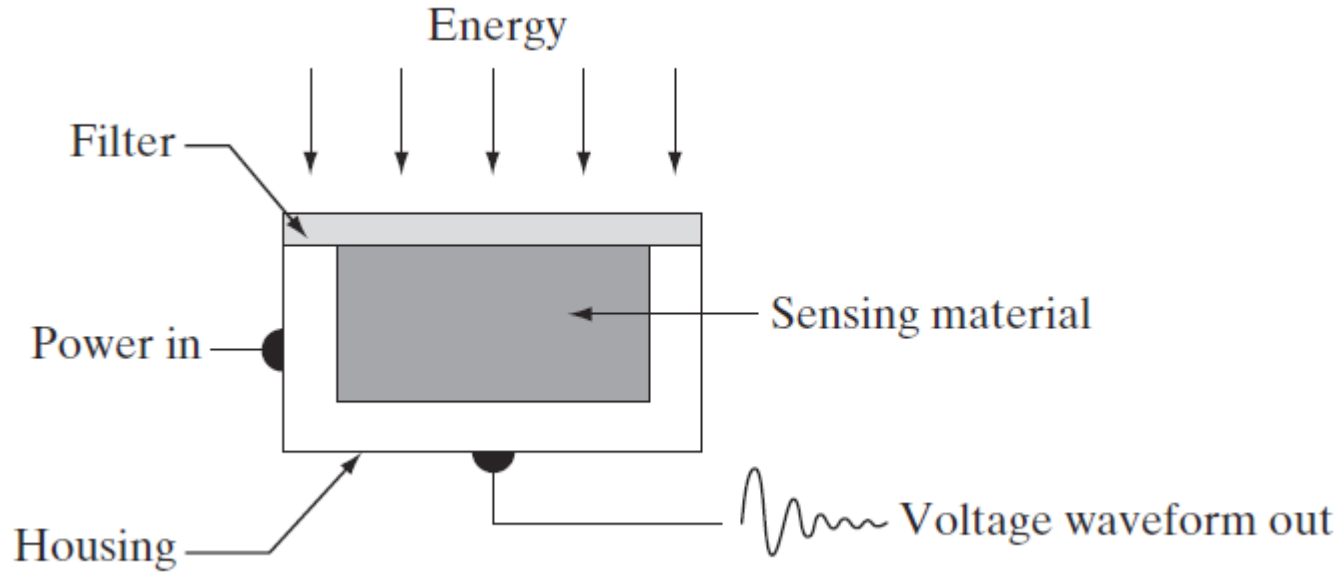


نمونه هایی از تباین همزمان

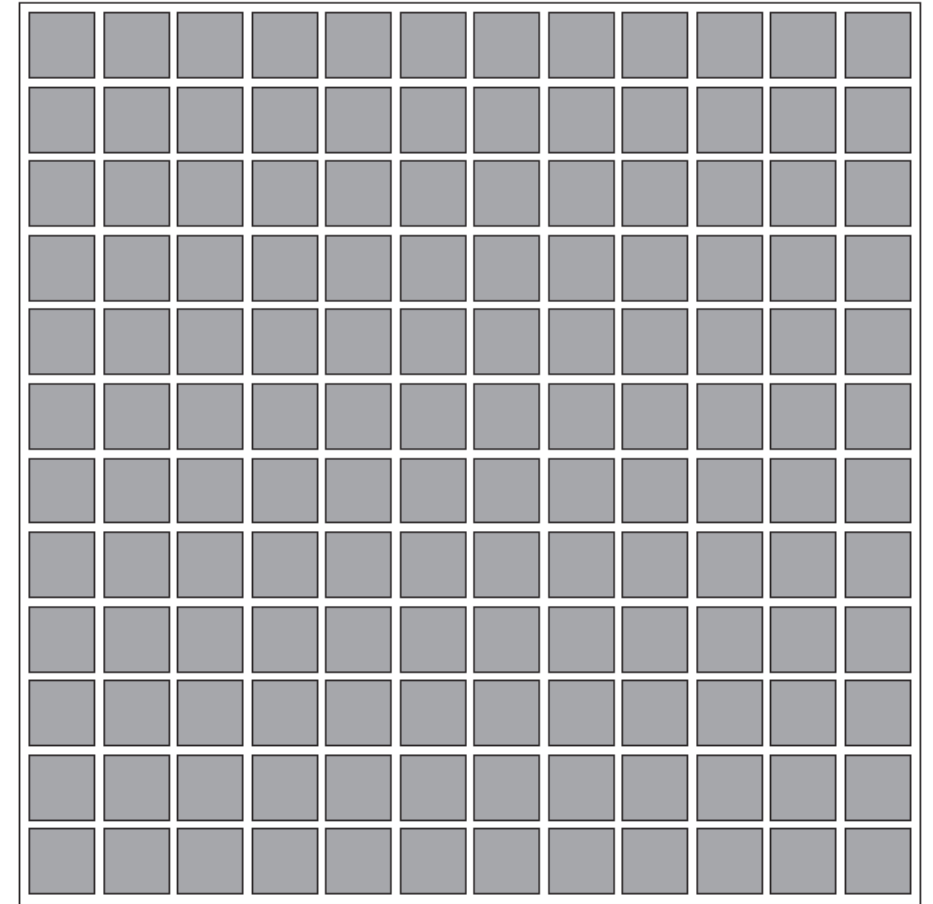


حسگری و اخذ تصویر

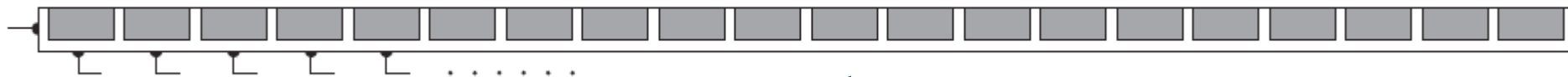
- تصاویر توسط مخلوطی از یک منبع "تابش" و بازتاب یا جذب انرژی از آن منبع توسط عناصر "صحنه" تصویر برداری شده، تولید می شود.
- ◆ منبع تابش انرژی الکترومغناطیس یا فراصوت یا غیره است و با توجه به طبیعت منبع، انرژی تابش یا بازتاب داده شده یا از اشیاء عبور می کند.
- حسگرها برای تبدیل انرژی روشنایی به تصاویر دیجیتال سه مدل چیدمان عمده دارند.
- ◆ حسگر تکی - حسگر خطی - حسگر آرایه ای
- **عملکرد حسگر:** انرژی ورودی به ولتاژ تبدیل شده - پاسخ حسگر(ها) شکل موج ولتاژ خروجی است - یک کمیت دیجیتال با رقمی کردن پاسخ توسط هر حسگر به دست می آید.



حسگر تکی



حسگر آرایه ای



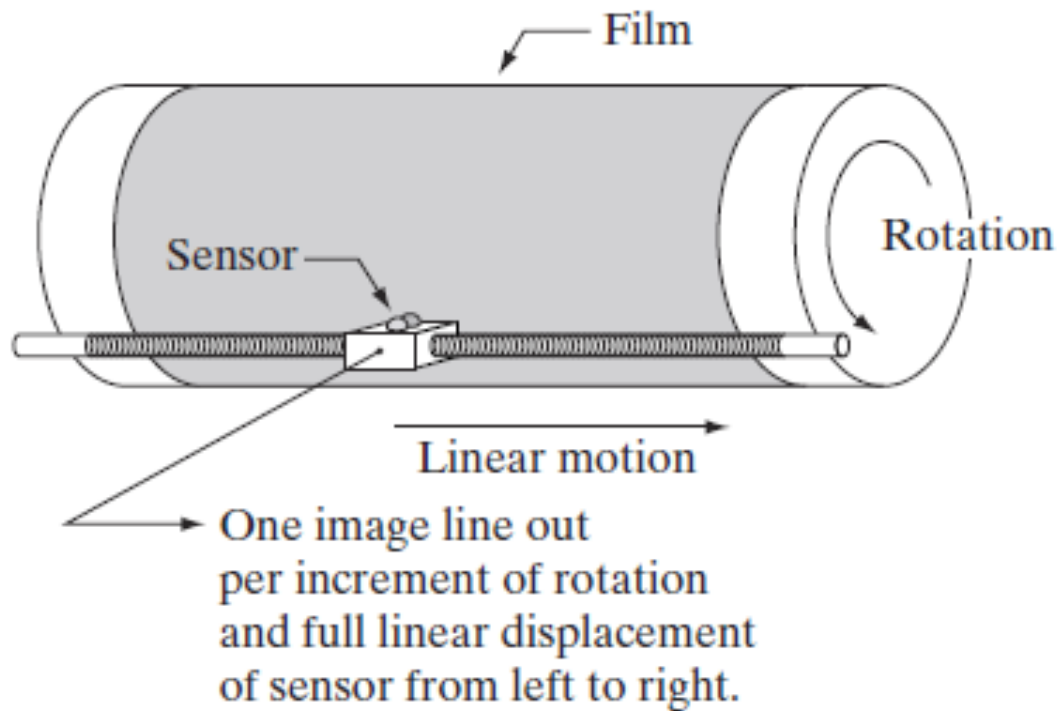
حسگر خطی



اخذ تصویر با حسگر تکی

■ آشناترین حسگر از این نوع، دیود نوری است که از مواد سیلیکونی ساخته شده و شکل موج ولتاژ خروجی اش متناسب با شدت نور است.

■ روش چرخش مکانیکی برای بدست آوردن تصاویر با رزولوشن بالا، نه چندان گران ولی کند است.

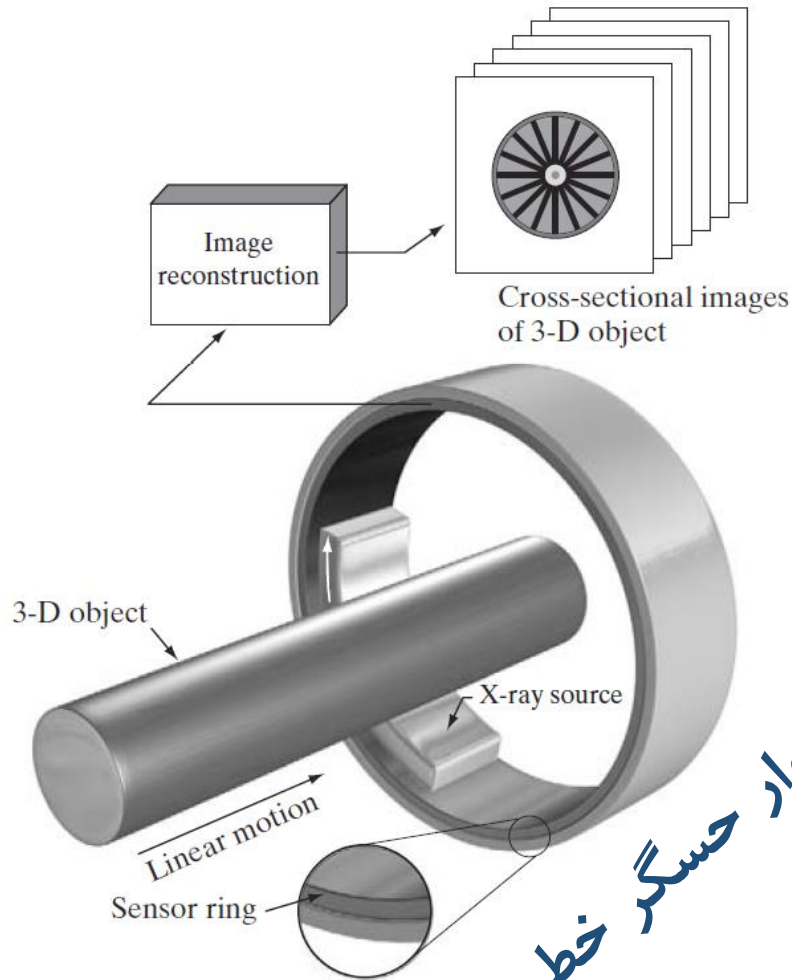


روش چرخش مکانیکی با حسگر تکی

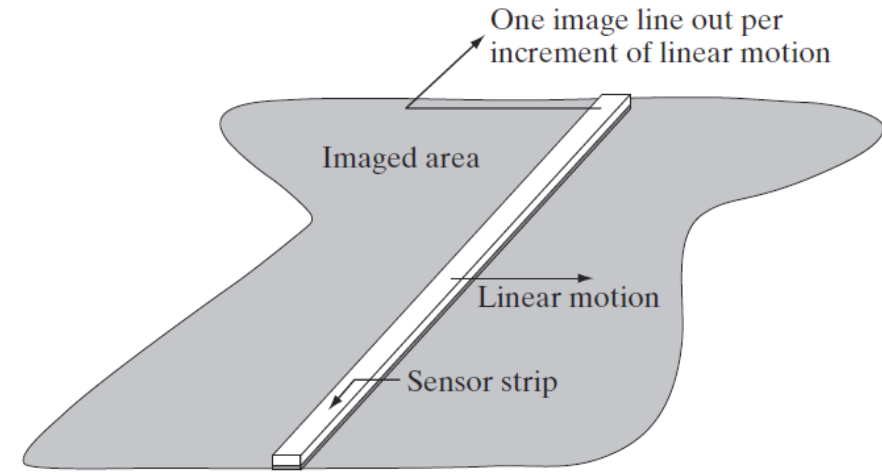


اخذ تصویر با نوارهای حسگر

■ نوار سبب می شود عناصر تصویر برداری در یک راستا باشند و حرکت عمود بر نوار، تصویر برداری در راستای دیگر را ایجاد می کند.



حسگر حلقوی با نوار حسگر خطی

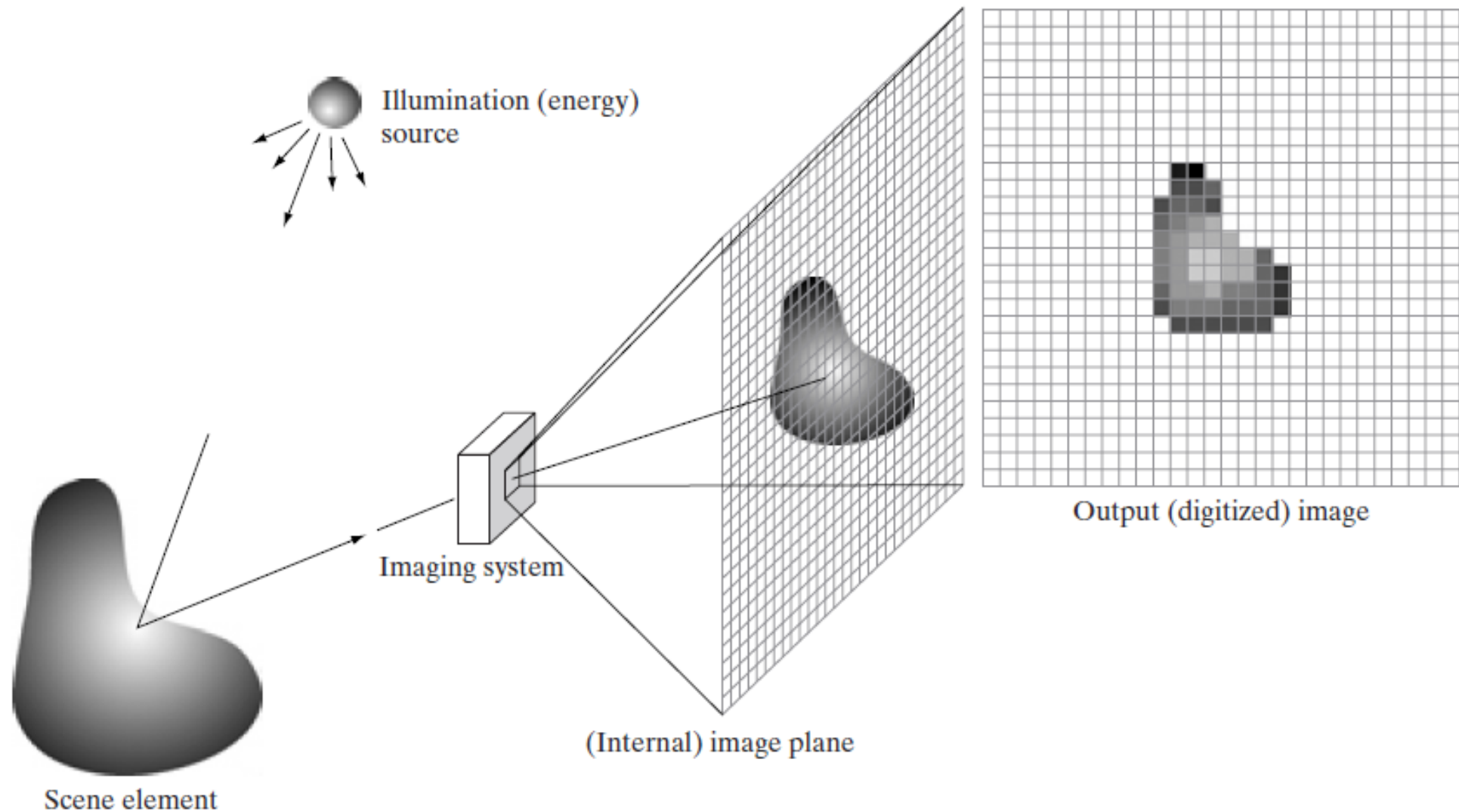


حسگر مسطح با نوار حسگر خطی



اخذ تصویر با حسگرهای آرایه ای

- ساختار اغلب دوربین های دیجیتال بصورت آرایه ای است.
- حسگرهای دوربین های دیجیتال از نوع CCD (Charged Coupled Device) است.
 - ◆ پاسخ هر حسگر متناسب با انتگرال انرژی نور تابیده شده بر روی سطح حسگر است.
- مهمترین فایده حسگر دو بُعدی اینست که می توان با متمرکز کردن الگوری انرژی روی سطح آرایه، تصویر کامل را بدست آورد. (نیاز به حرکت ندارد)



مثالی از فرآیند گرد آوری تصویر دیجیتال با آرایه حسگرها



مدل شکل گیری تصویر ساده

■ وقتی تصویر با پردازش فیزیکی تولید شده، مقادیر شدت روشنایی آن متناسب با انرژی تشعشع یافته توسط یک منبع فیزیکی است. لذا $f(x,y)$ غیر صفر و محدود است.

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

■ تابع $f(x,y)$ با دو مؤلفه (۱) میزان شدت روشنایی منبع روی صحنه مورد نظر $i(x,y)$ و (۲) مقدار سطح شدت روشنایی بازتاب شده توسط اشیاء صحنه $r(x,y)$ مشخص می شود.

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

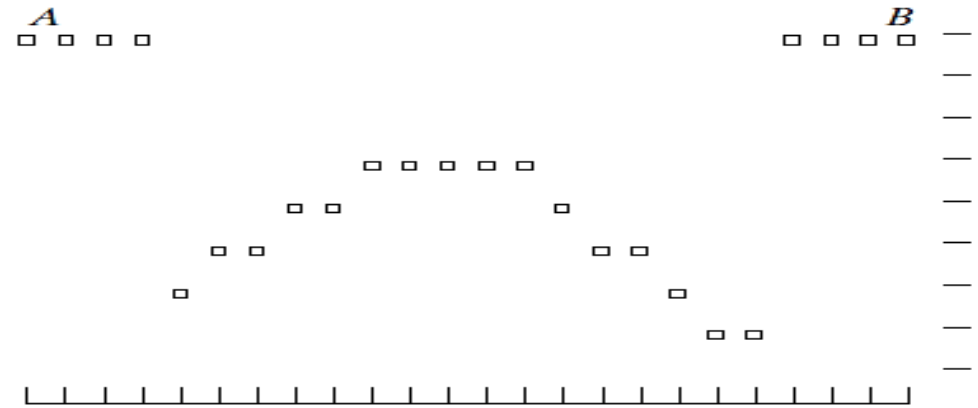
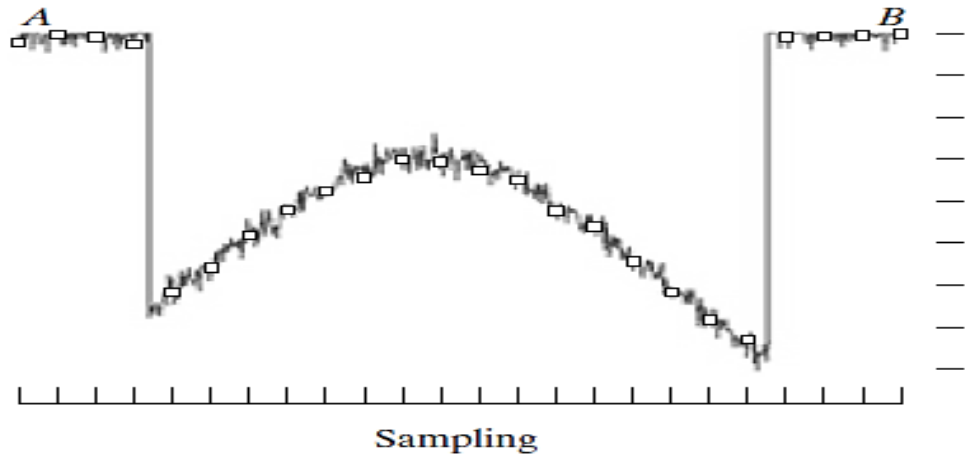
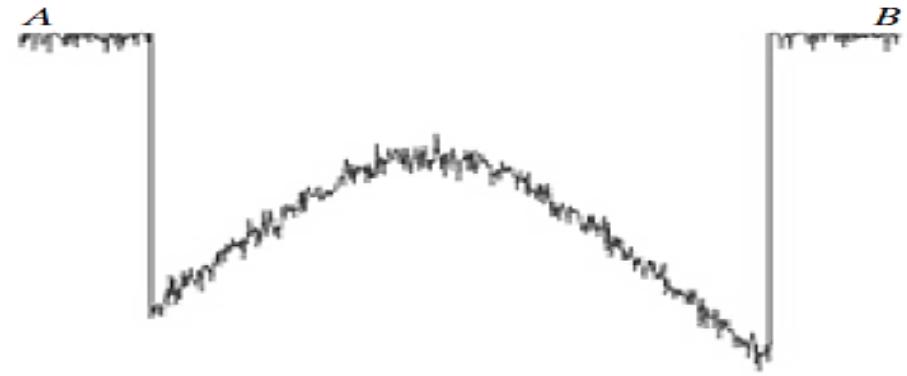
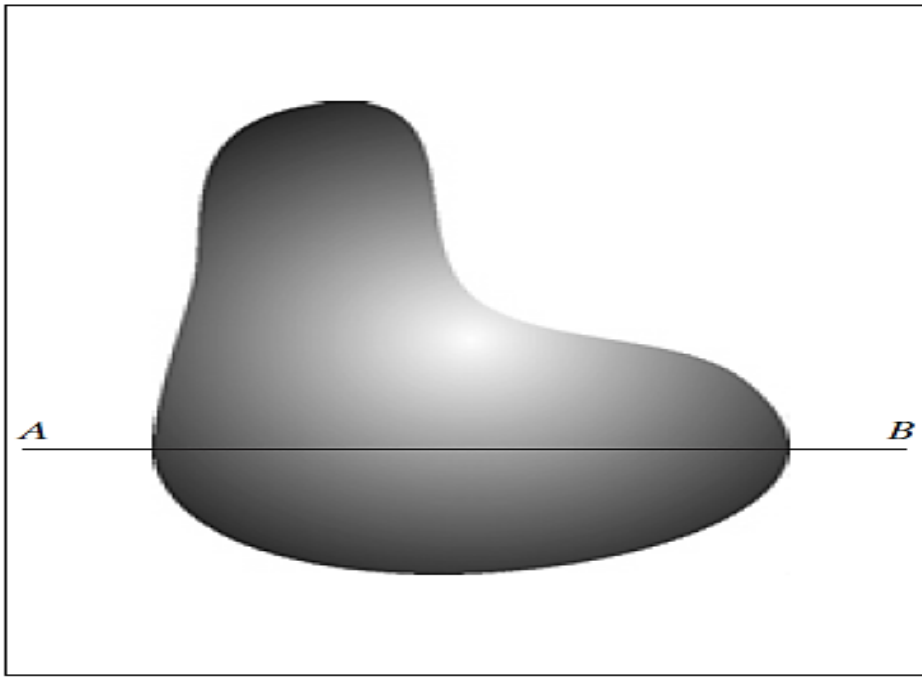
$$0 < i(x,y) < \infty$$

$$0 < r(x,y) < 1$$

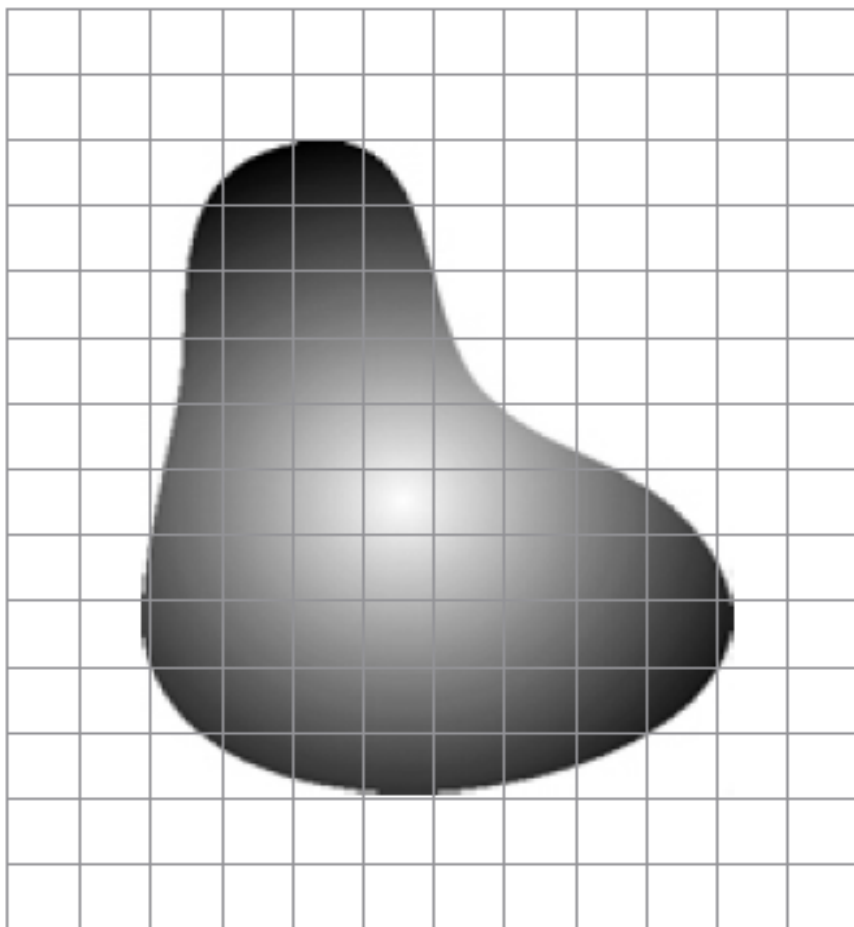


نمونه برداری و کوانتیزه سازی

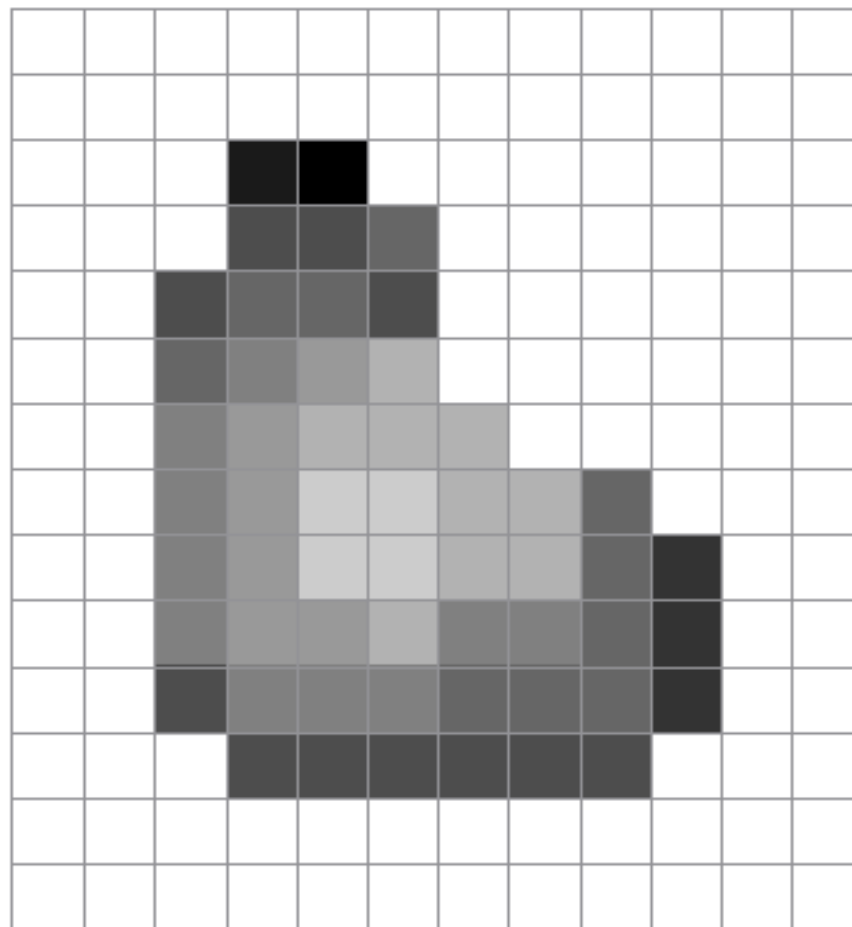
- برای تولید تصویر دیجیتال باید داده های پیوسته را به شکل دیجیتال (گسسته) تبدیل کنیم:
 - ◆ نمونه برداری: رقمی سازی مقادیر مختصات
 - ◆ کوانتیزه سازی: رقمی سازی مقادیر دامنه (تدریجی سازی)
- در حسگر تکی هیچ محدودیتی برای دقت نمونه برداری نداریم.
- در حسگر خطی، تعداد حسگرهای روی نوار در یک جهت محدودیت ایجاد می کند.
- در حسگر آرایه ای، تعداد حسگرهای آرایه محدودیت در هر دو جهت ایجاد می کند.



تولید یک تصویر دیجیتال



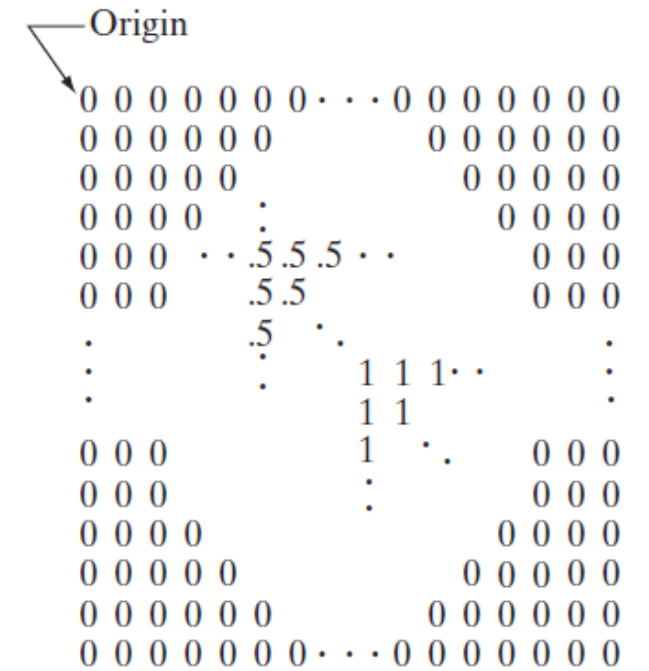
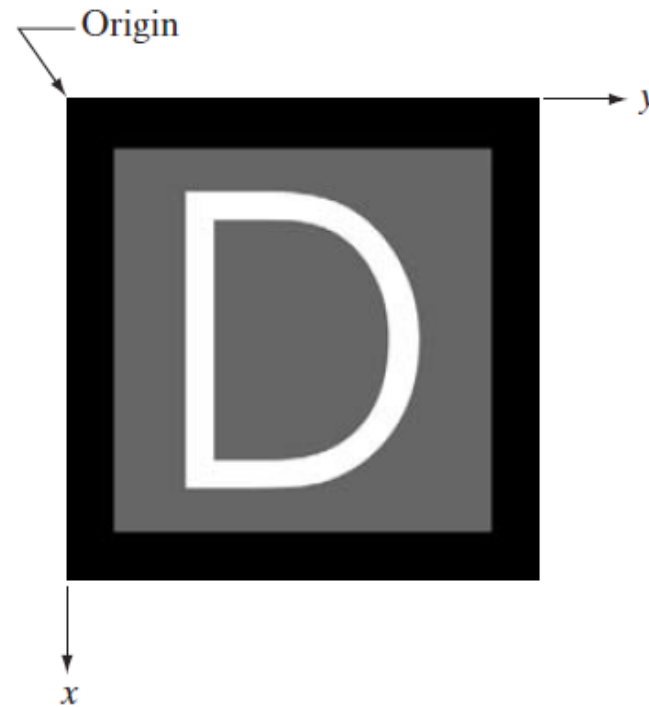
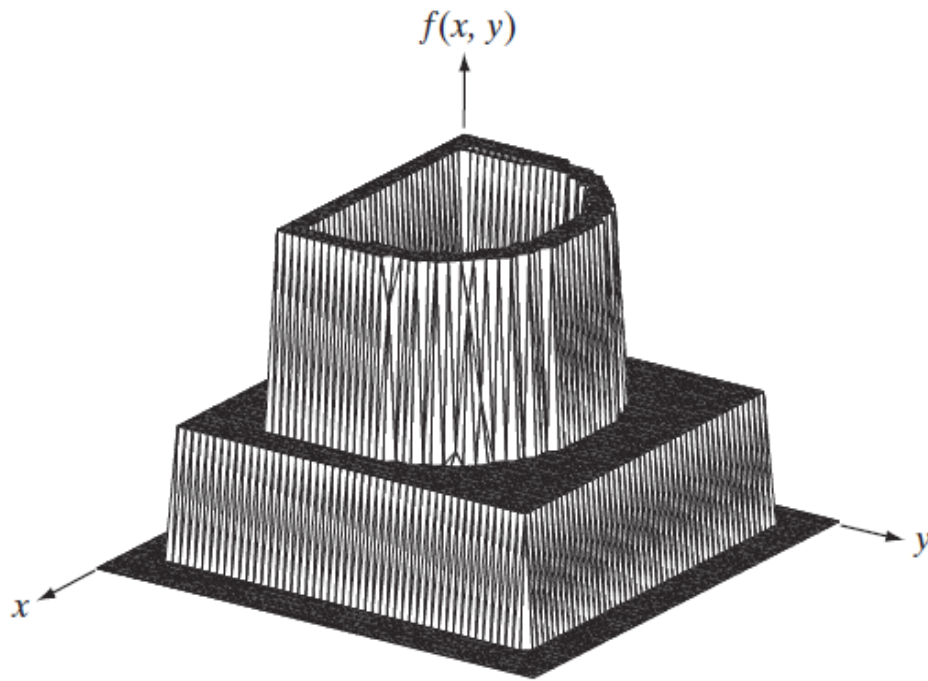
تصویر پیوسته افکنش شده روی
حسگرهای آرایه ای



نتیجه نمونه برداری و
کوانتیزه سازی تصویر



نمایش تصویر دیجیتال





نمایش تصویر دیجیتال

■ پس از تولید تصویر دیجیتال، تابع تصویر آرایه ای دو بُعدی دارای M ردیف و N ستون است که مبدأ تصویر گوشه بالای سمت چپ است:

$$f(x, y) \quad \begin{array}{l} x = 0, 1, 2, \dots, M - 1 \\ y = 0, 1, 2, \dots, N - 1 \end{array}$$

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



سطوح شدت روشنایی

- در فرآیند کوانتیزاسیون L سطح شدت روشنایی در نظر گرفته می شود که معمولاً یک عدد صحیح به توان دو است:

$$L = 2^k$$

- محدوده مقادیری که با مقیاس خاکستری پوشانده می شود، محدوده پویایی می گویند.
 - ◆ نسبت بیشینه شدت روشنایی قابل اندازه گیری به کمینه شدت روشنایی قابل دریافت در سیستم
 - ◆ حد بالا با اشباع و حد پایین توسط نویز تعیین می شود.

- تعداد بیت مورد نیاز برای ذخیره سازی یک تصویر دیجیتال برابر است با:

$$b = M \times N \times L$$

نمایش نویز و اشباع در یک تصویر



Saturation

Noise

Number of storage bits for various values of N and k . L is the number of intensity levels.

N/k	1 ($L = 2$)	2 ($L = 4$)	3 ($L = 8$)	4 ($L = 16$)	5 ($L = 32$)	6 ($L = 64$)	7 ($L = 128$)	8 ($L = 256$)
32	1,024	2,048	3,072	4,096	5,120	6,144	7,168	8,192
64	4,096	8,192	12,288	16,384	20,480	24,576	28,672	32,768
128	16,384	32,768	49,152	65,536	81,920	98,304	114,688	131,072
256	65,536	131,072	196,608	262,144	327,680	393,216	458,752	524,288
512	262,144	524,288	786,432	1,048,576	1,310,720	1,572,864	1,835,008	2,097,152
1024	1,048,576	2,097,152	3,145,728	4,194,304	5,242,880	6,291,456	7,340,032	8,388,608
2048	4,194,304	8,388,608	12,582,912	16,777,216	20,971,520	25,165,824	29,369,128	33,554,432
4096	16,777,216	33,554,432	50,331,648	67,108,864	83,886,080	100,663,296	117,440,512	134,217,728
8192	67,108,864	134,217,728	201,326,592	268,435,456	335,544,320	402,653,184	469,762,048	536,870,912

تعداد بیت های مورد نیاز برای
ذخیره سازی تصویر دیجیتال



رزولوشن مکانی و رزولوشن شدت روشنایی

- رزولوشن مکانی اندازه کوچکترین جزء در تصویر است و برای با معنی بودن باید مبتنی بر فاصله باشد، مثلاً نقطه در اینچ (dpi)
- رزولوشن شدت روشنایی به کوچکترین تغییر قابل تشخیص در شدت روشنایی گویند که تعداد بیت های بکار رفته برای کوانتیزه سازی سطوح شدت روشنایی است.

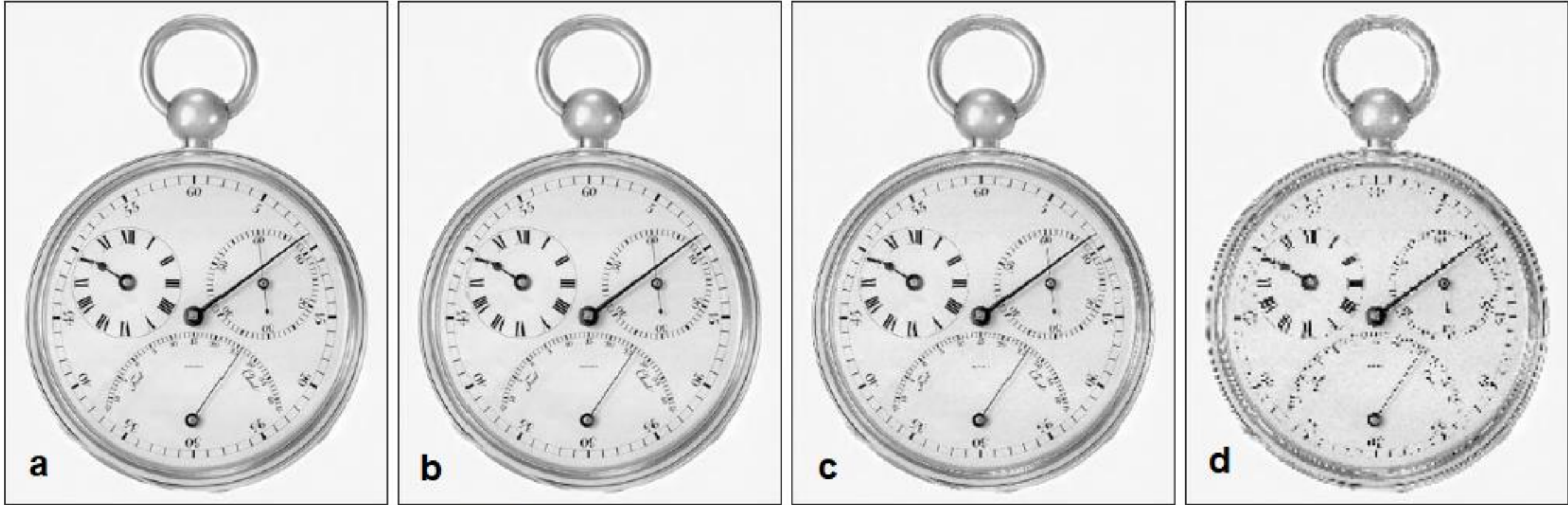


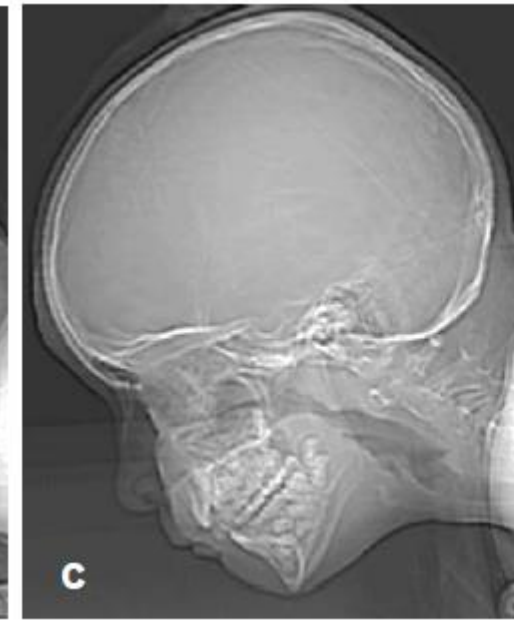
FIGURE 2.20 Typical effects of reducing spatial resolution. Images shown at: (a) 1250 dpi, (b) 300 dpi, (c) 150 dpi, and (d) 72 dpi.

اثرات تغییر رزولوشن مکانی

a b
c d

FIGURE 2.21

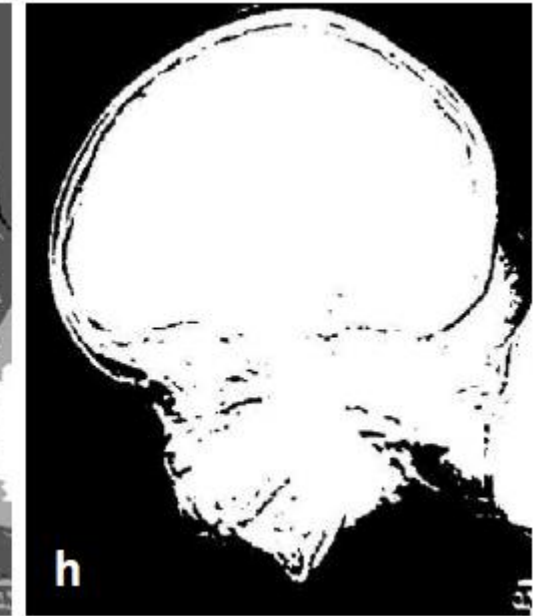
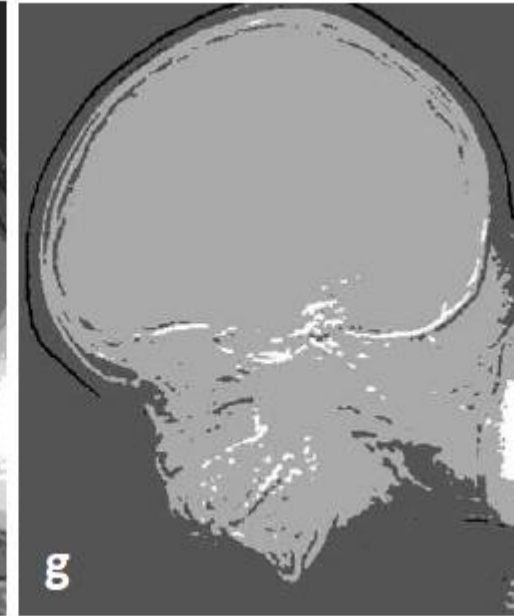
(a) 452×374 ,
256-level image.
(b)–(d) Image
displayed in 128,
64, and 32
intensity levels,
while keeping the
image size
constant.



e f
g h

FIGURE 2.21

(Continued)
(e)–(h) Image
displayed in 16, 8,
4, and 2 intensity
levels. (Original
courtesy of
Dr. David R.
Pickens,
Department of
Radiology &
Radiological
Sciences,
Vanderbilt
University
Medical Center.)



اثرات تغییر رزولوشن شدت روشنایی



منحنی زیر را تفسیر کنید!؟

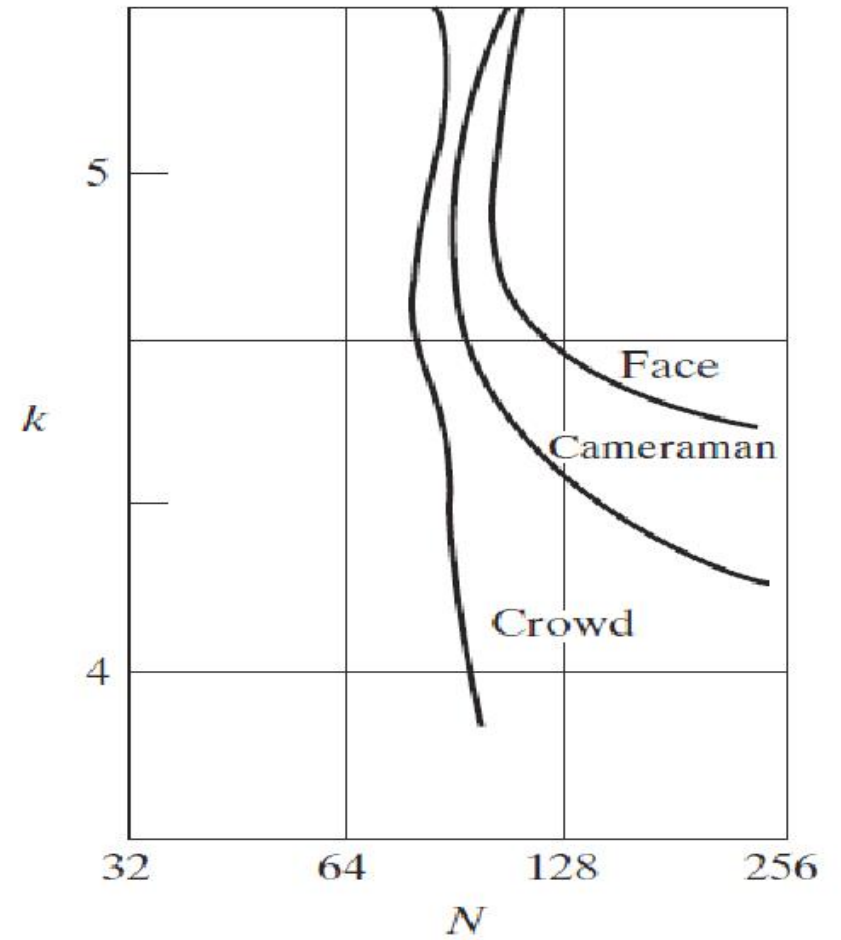


FIGURE 2.22 (a) Image with a low level of detail. (b) Image with a medium level of detail. (c) Image with a relatively large amount of detail. (Image (b) courtesy of the Massachusetts Institute of Technology.)



درونیابی تصویر

■ درونیابی یعنی استفاده از داده های معلوم برای تخمین مقادیر در موقعیت های نامعلوم

◆ درونیابی نزدیک ترین همسایه

• استفاده از سطح روشنایی نزدیک ترین همسایه

◆ درونیابی دوخطی

$$u(x, y) = ax + by + cxy + d$$

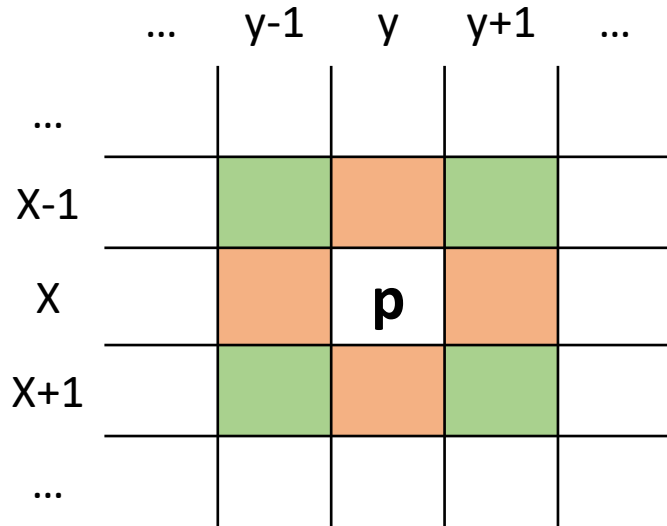
◆ درونیابی دو مکعبی

$$u(x, y) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 a_{ij} x^i y^j$$

مقایسه روش های درونبایی



برخی روابط پایه ای بین پیکسل ها – همسایگی



■ همسایگان یک پیکسل $p(x,y)$

◆ ۴- همسایگان p یا $N_4(p)$

$(x + 1, y), (x - 1, y), (x, y + 1), (x, y - 1)$

◆ همسایگان قطری p یا $N_D(p)$

$(x + 1, y + 1), (x + 1, y - 1), (x - 1, y + 1), (x - 1, y - 1)$

■ مجموع همسایگان بالا، ۸- همسایه یا $N_8(p)$ گفته می شوند.



برخی روابط پایه ای بین پیکسل ها – مجاورت

■ فرض کنید V مجموعه ای از مقادیر شدت روشنایی برای تعریف مجاورت باشد. دو پیکسل p و q از V :

◆ ۴-مجاورتی: اگر q در مجموعه $N_4(p)$ باشد.

◆ ۸-مجاورتی: اگر q در مجموعه $N_8(p)$ باشد.

◆ m -مجاورتی (مجاورت مخلوط): اگر q در مجموعه

$N_4(p)$ یا در مجموعه $N_D(p)$ باشد و مجموعه $N_4(p) \cap N_4(q)$ هیچ پیکسلی از V نداشته باشد.

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\left. \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \right\} \begin{matrix} R_i \\ R_j \end{matrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$



برخی روابط پایه ای بین پیکسل ها – فاصله

■ برای پیکسل های $p(x,y)$ و $q(s,t)$ و $z(u,v)$ تابع فاصله D یا متریک (Metric) است، اگر:

1) $D(p, q) \geq 0$ ($D(p, q) = 0$ if $p = q$) – **2)** $D(p, q) = D(q, p)$ – **3)** $D(p, z) \leq D(p, q) + D(q, z)$

◆ فاصله اقلیدسی: فاصله کمتر از r درون دایره به شعاع r به مرکز (x,y)

		2		
	2	1	2	
2	1	0	1	2
	2	1	2	
		2		

$$D_e(p, q) = \sqrt{(x - s)^2 + (y - t)^2}$$

◆ فاصله D_4 (شهر بلوک) (City Block): فاصله کمتر از r درون لوزی به مرکز (x,y)

2	2	2	2	2
2	1	1	1	2
2	1	0	1	2
2	1	1	1	2
2	2	2	2	2

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

◆ فاصله D_8 (فاصله صفحه شطرنج): فاصله کمتر از r درون مربع به مرکز (x,y)

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



عملیات آرایه ای در مقابل عملیات ماتریسی

■ عملیات آرایه ای بر مبنای پیکسل به پیکسل انجام می شود. (فرض این درس)

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \quad \text{and} \quad \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix} \quad \text{تصاویر } 2 \times 2$$

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11}b_{11} & a_{12}b_{12} \\ a_{21}b_{21} & a_{22}b_{22} \end{bmatrix} \quad \text{ضرب آرایه ای}$$

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11}b_{11} + a_{12}b_{21} & a_{11}b_{12} + a_{12}b_{22} \\ a_{21}b_{11} + a_{22}b_{21} & a_{21}b_{12} + a_{22}b_{22} \end{bmatrix} \quad \text{ضرب ماتریسی}$$



عملیات حسابی

■ اعمال حسابی بین تصاویر از نوع عملیات آرایه ای هستند. برای تصاویر f و g با ابعاد $M \times N$ چهار عمل حسابی به شکل زیر است:

$$s(x, y) = f(x, y) + g(x, y)$$

$$d(x, y) = f(x, y) - g(x, y)$$

$$p(x, y) = f(x, y) \times g(x, y)$$

$$v(x, y) = f(x, y) \div g(x, y)$$

$$x = 0, 1, 2, \dots, M - 1$$

and

$$y = 0, 1, 2, \dots, N - 1$$

■ توجه کنید که اعمال حسابی روی تصاویر با ابعاد یکسان اجرا می شود.



مثالی از جمع (میانگین) تصاویر

■ فرض کنید f تصویر بدون نویز و η یک نویز است. آنگاه g تصویر خراب شده با نویز است.

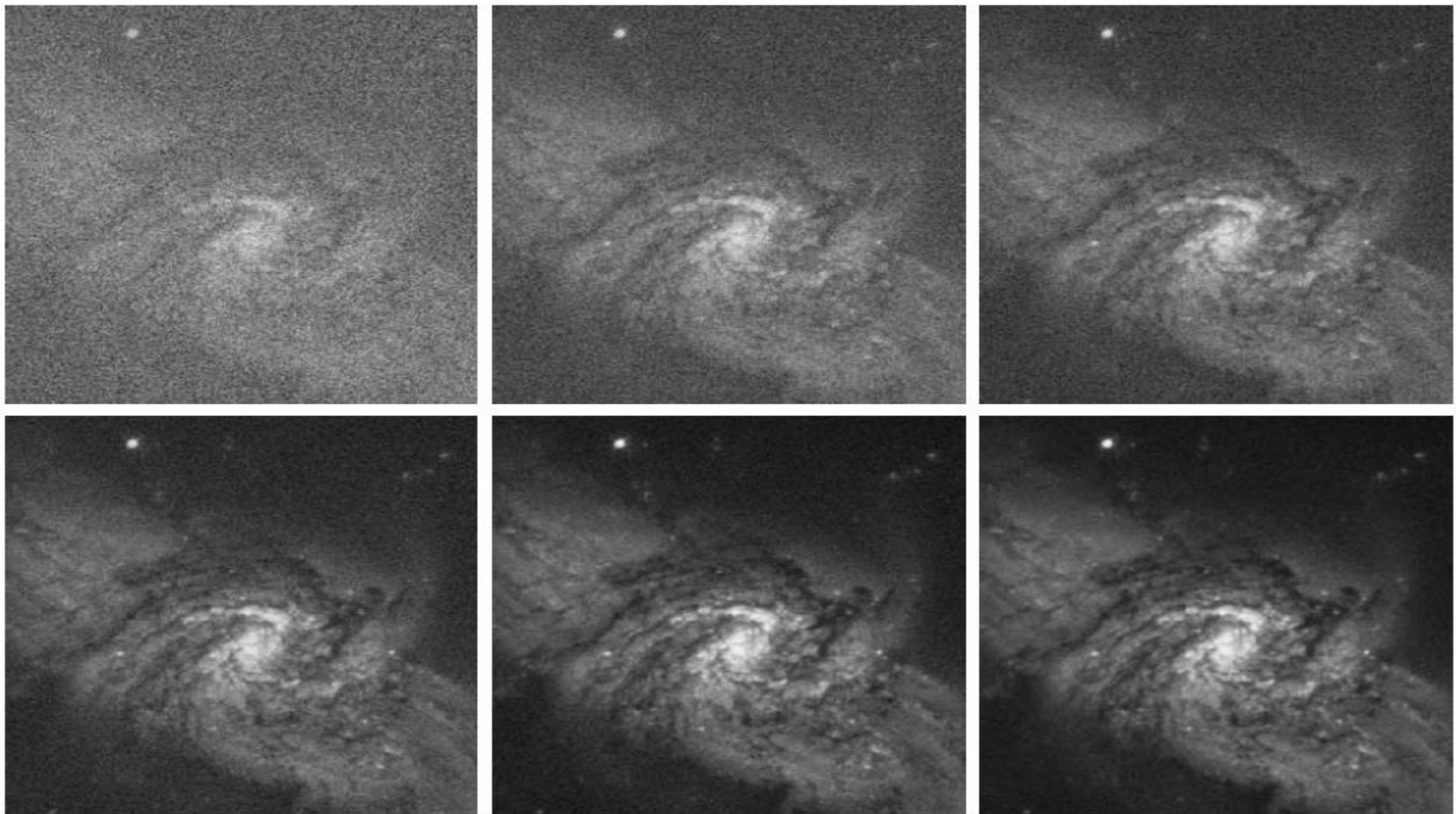
$$g(x, y) = f(x, y) + \eta(x, y)$$

■ اگر یک تصویر با میانگین گیری از k تصویر نویزی تشکیل شود، آنگاه:

$$\bar{g}(x, y) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k g_i(x, y)$$

■ با افزایش تصاویر نویزی بکار رفته در میانگین گیری خواهیم داشت:

$$f(x, y) \approx \bar{g}(x, y)$$



a	b	c
d	e	f

FIGURE 2.26 (a) Image of Galaxy Pair NGC 3314 corrupted by additive Gaussian noise. (b)–(f) Results of averaging 5, 10, 20, 50, and 100 noisy images, respectively. (Original image courtesy of NASA.)

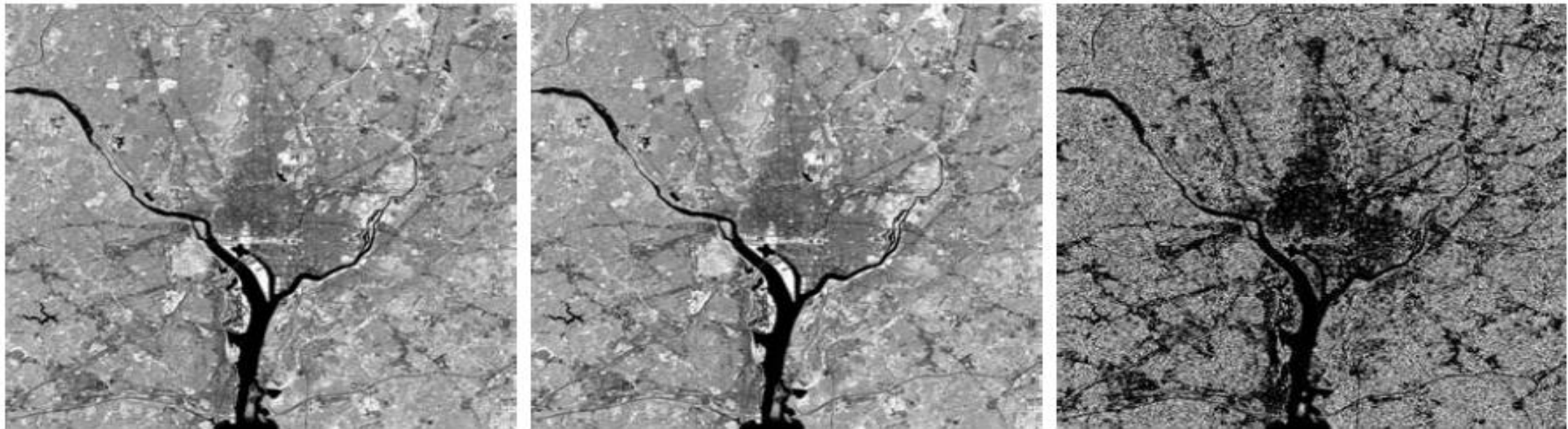


مثالی از تفریق تصاویر

■ کاربرد زیاد عمل تفریق در تقویت تفاوت های بین تصاویر است.

$$f(x, y)$$

$$h(x, y) = f(x, y) - 1 \quad g(x, y) = f(x, y) - h(x, y)$$



a b c

FIGURE 2.27 (a) Infrared image of the Washington, D.C. area. (b) Image obtained by setting to zero the least significant bit of every pixel in (a). (c) Difference of the two images, scaled to the range [0, 255] for clarity.

a	b
c	d

FIGURE 2.28

Digital subtraction angiography.

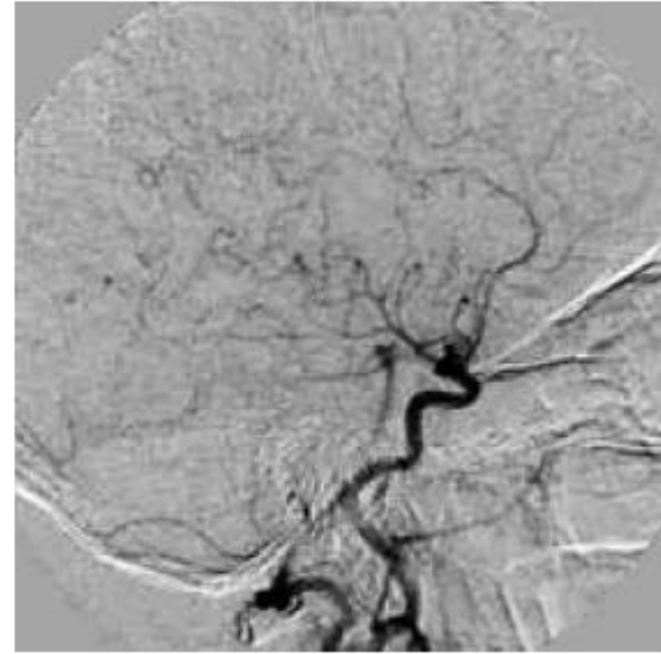
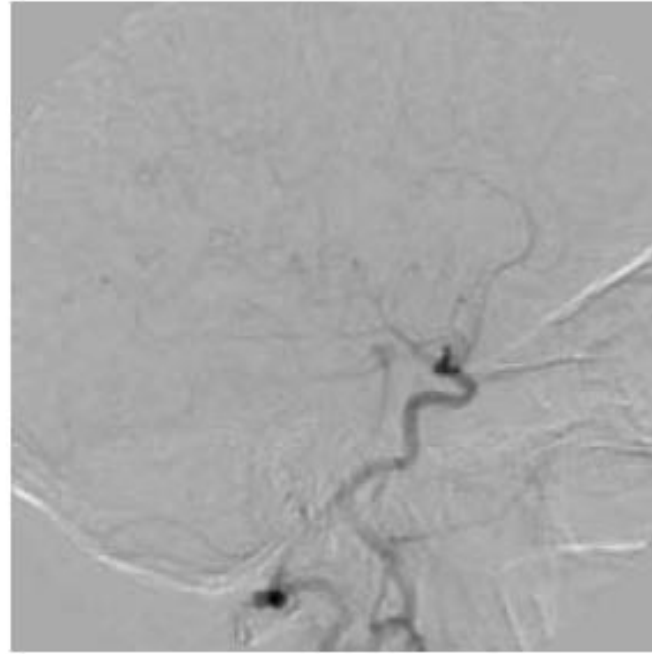
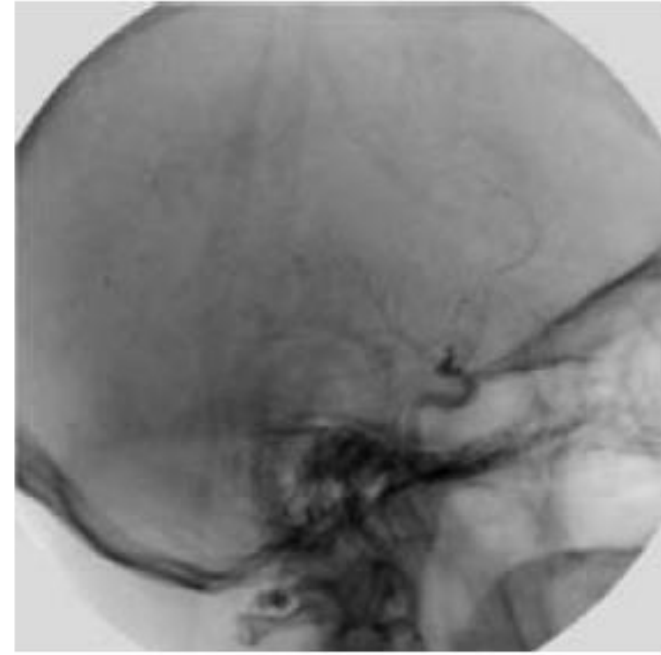
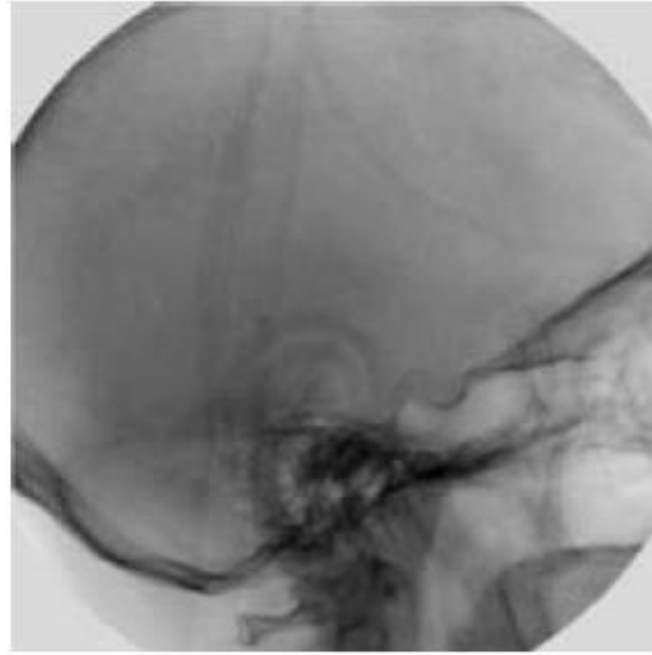
(a) Mask image.

(b) A live image.

(c) Difference between (a) and (b).

(d) Enhanced difference image.

(Figures (a) and (b) courtesy of The Image Sciences Institute, University Medical Center, Utrecht, The Netherlands.)

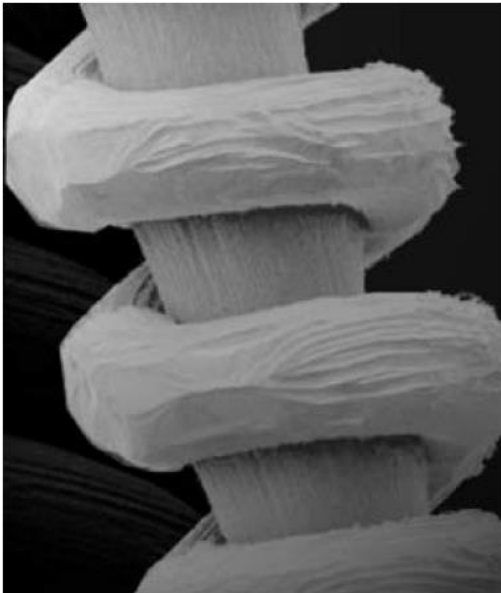




مثالی از ضرب و تقسیم تصاویر

- از کاربردهای ضرب و تقسیم، تصحیح سایه و نقاب گذاری (عملیات ناحیه مورد نظر) یا ROI (Region Of Interest) می باشد.

$f(x, y)$



$h(x, y)$



$$g(x, y) = f(x, y) \times \frac{1}{h(x, y)}$$

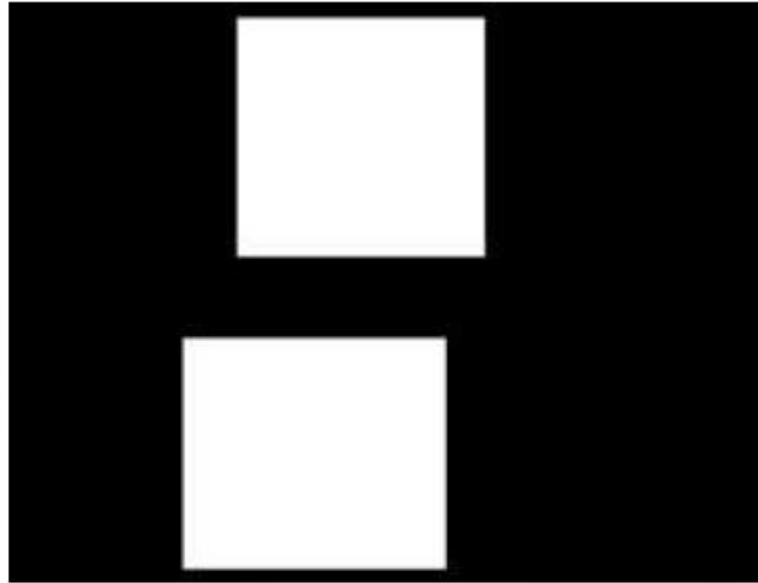


مثال تصحیح سایه

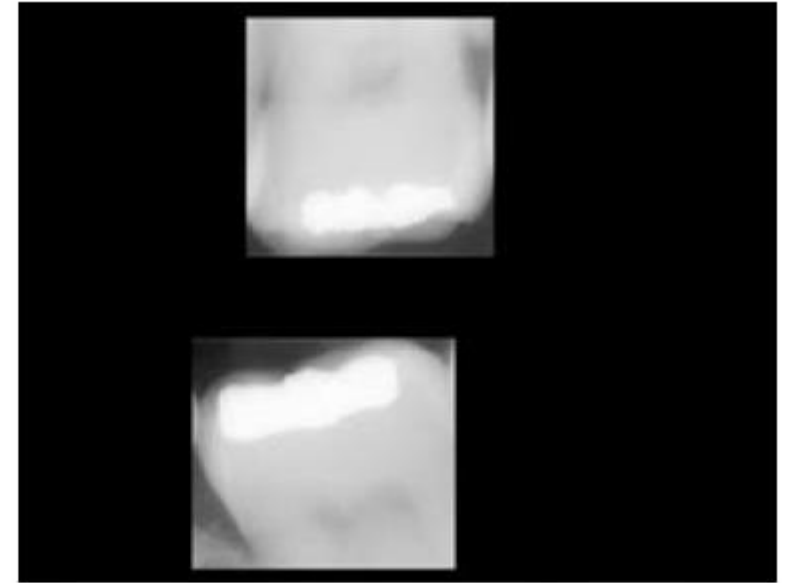
$f(x, y)$



$h(x, y)$



$g(x, y) = f(x, y) \times h(x, y)$



a b c

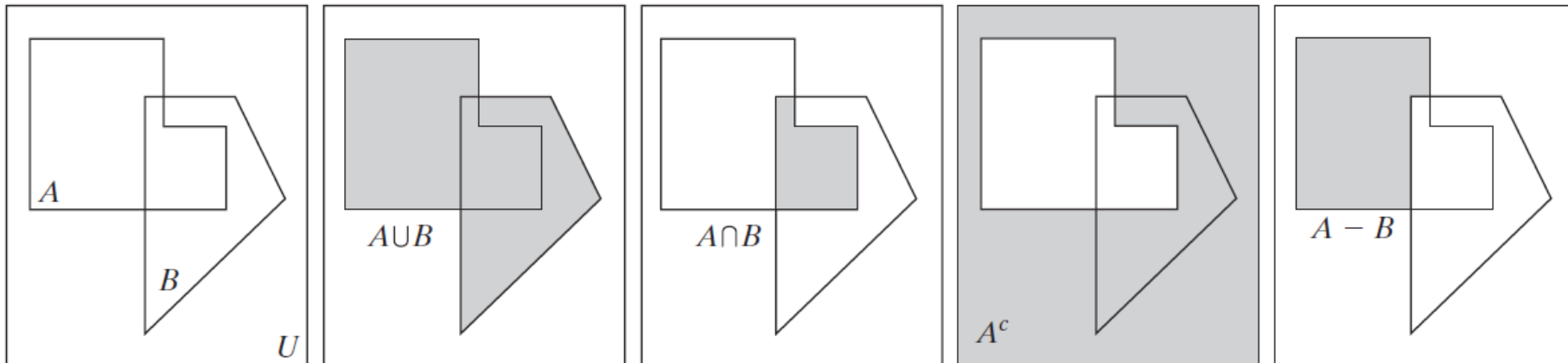
FIGURE 2.30 (a) Digital dental X-ray image. (b) ROI mask for isolating teeth with fillings (white corresponds to 1 and black corresponds to 0). (c) Product of (a) and (b).

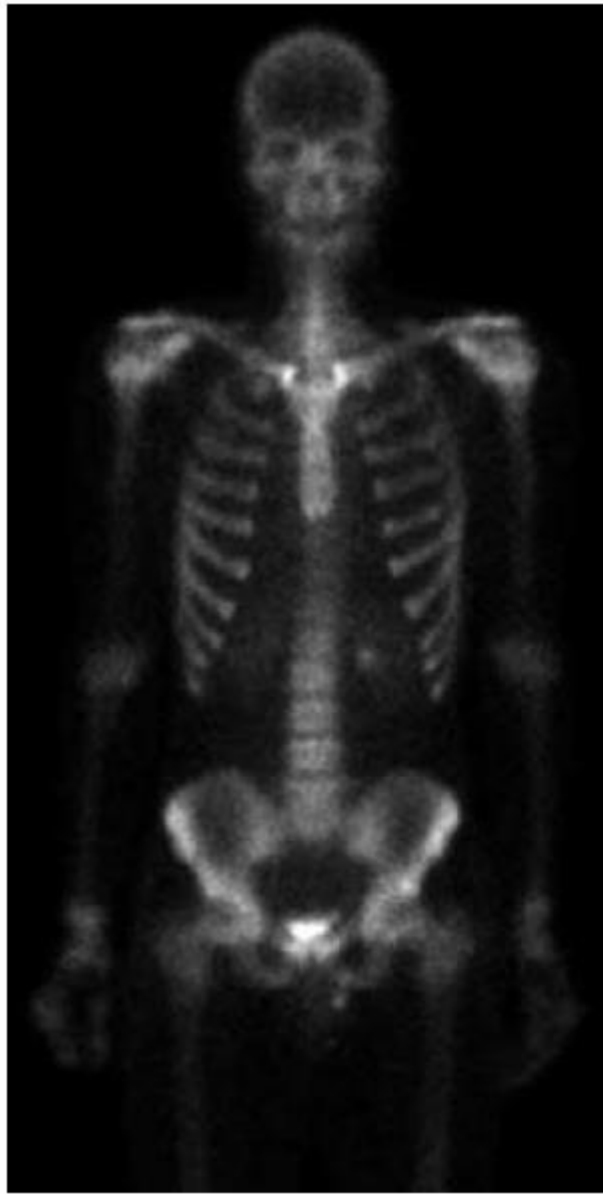
مثال نقاب گذاری



عملیات منطقی

- در منطق دودویی تصاویر مورد بررسی باید دودویی باشند. اگر تصاویر مقیاس خاکستری باشند از منطق فازی باید استفاده شود.
- در پردازش تصویر، مجموعه جهان U به صورت مستطیل تعریف می شود که شامل همه پیکسل های یک تصویر است.





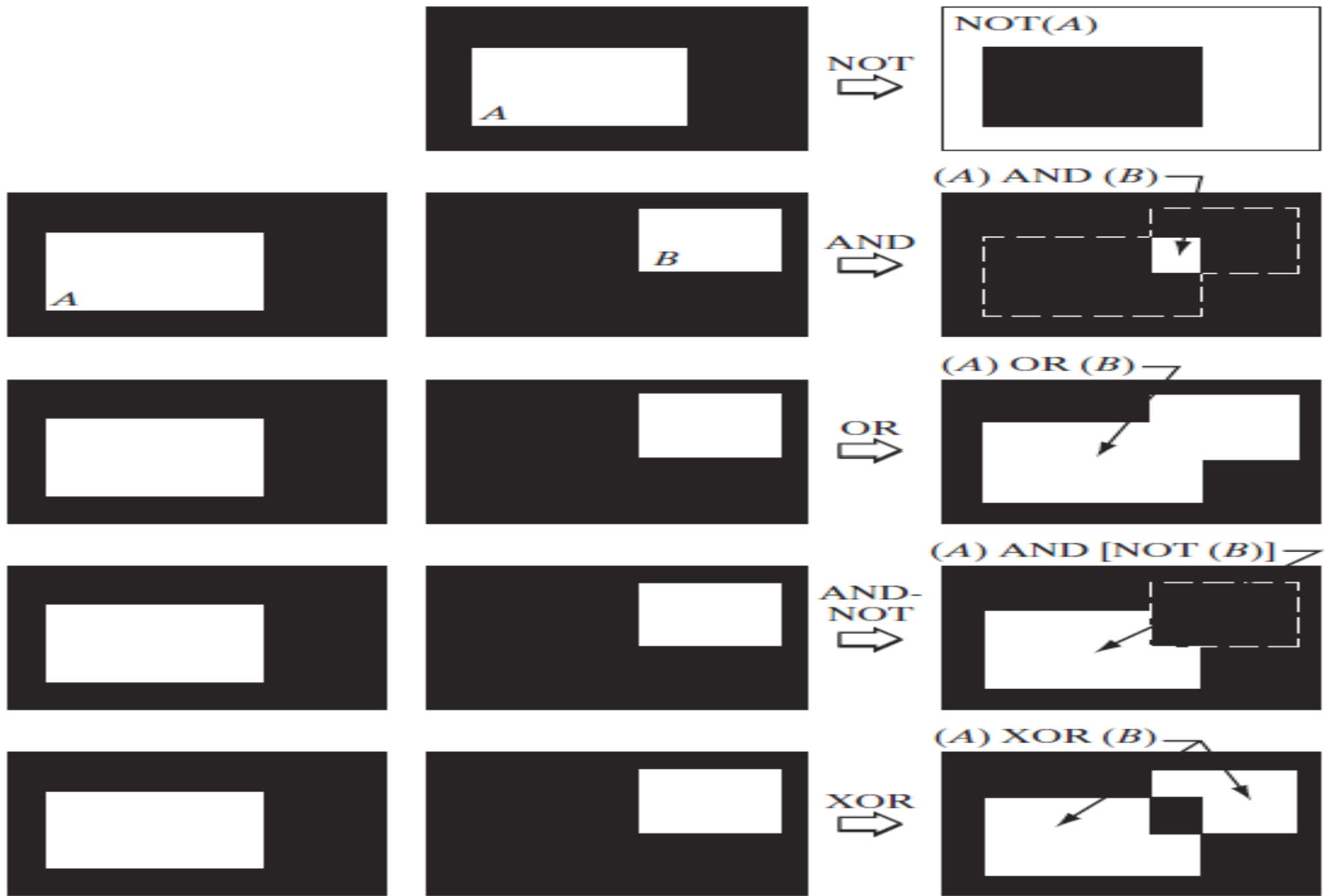
تصویر اصلی



منفی تصویر (نگاتیو)



اجتماع تصویر اصلی
با یک تصویر ثابت

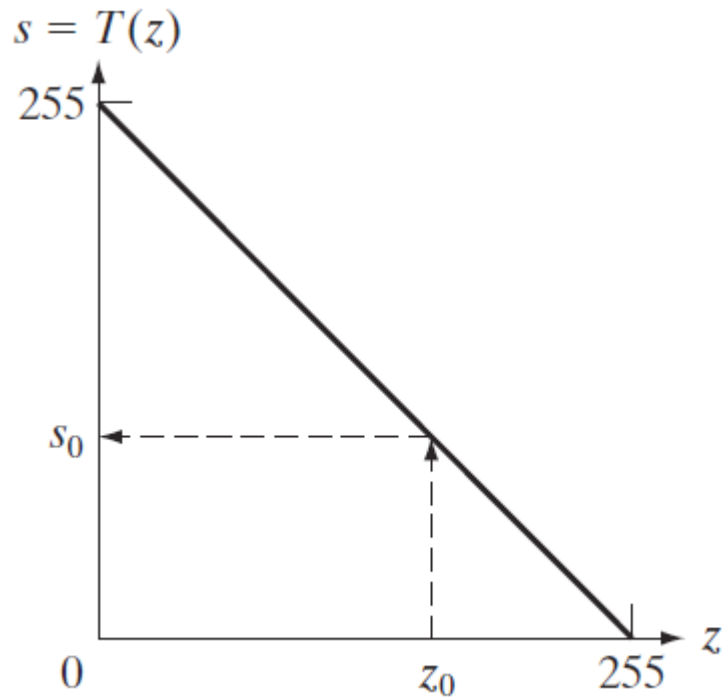




عملیات مکانی

■ عملیات مکانی به سه دسته تقسیم می شوند:

- ◆ عملیات تک پیکسلی
- ◆ عملیات همسایگی
- ◆ تبدیلات مکان هندسی



عملیات تک پیکسلی منفی تصویر (نگاتیو)

میانگین گیری محلی با استفاده از فرآیند همسایگی

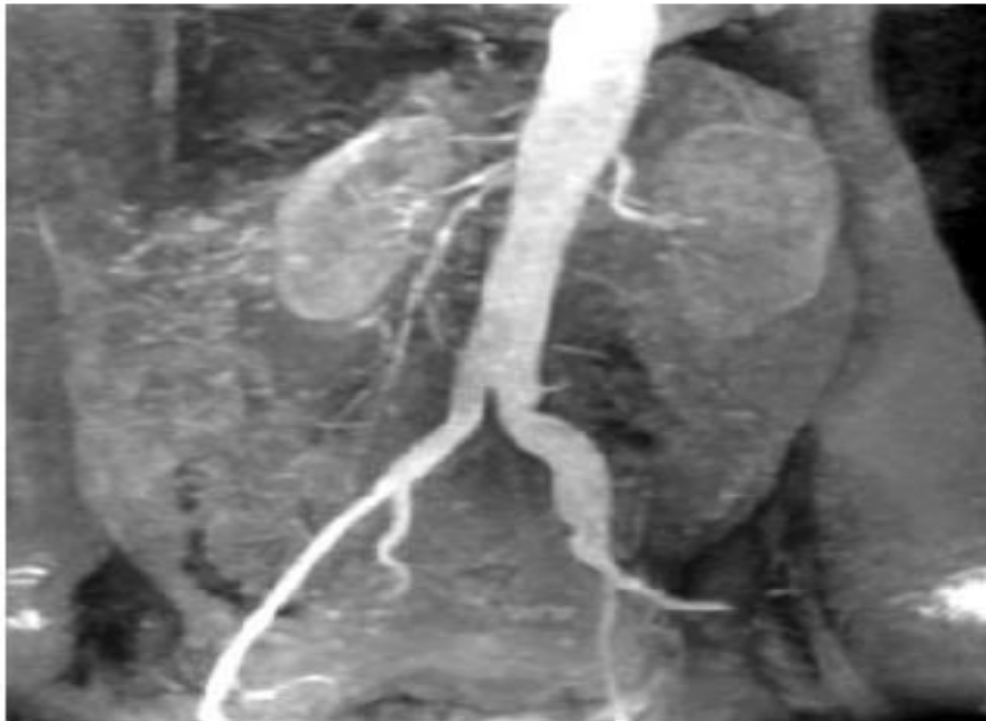


Image f

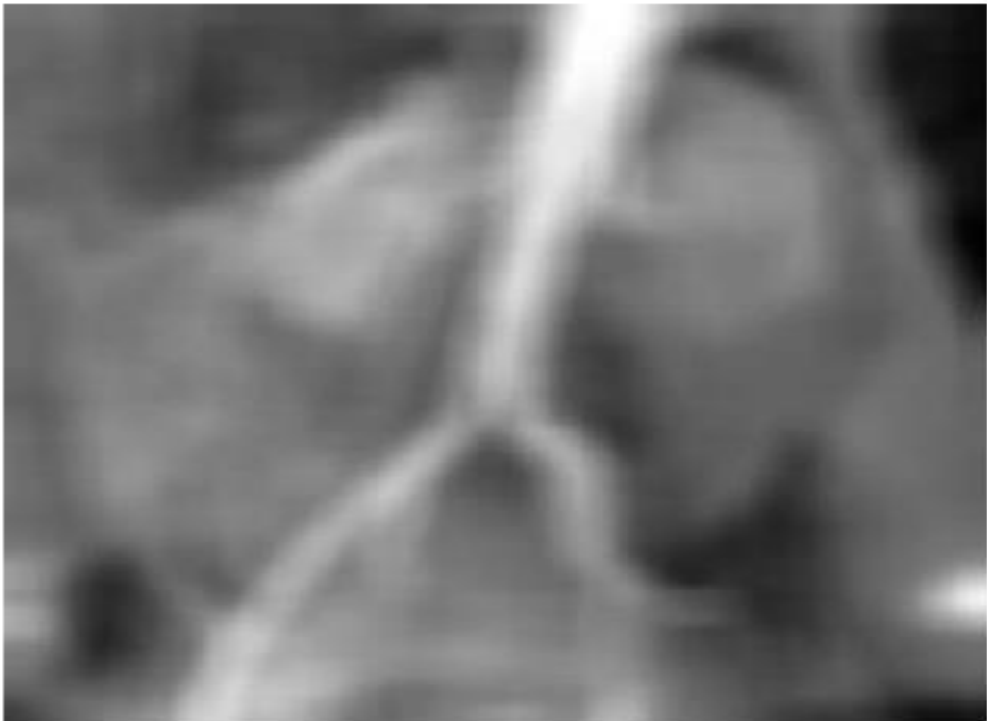
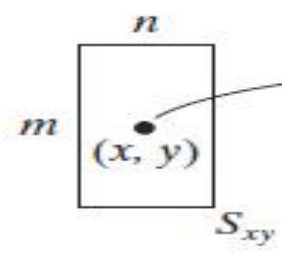
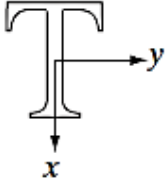
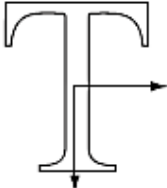
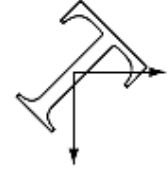
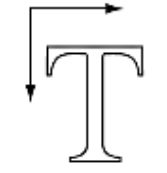
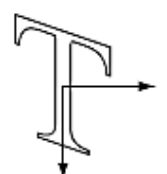



Image g

The value of this pixel
is the average value of the
pixels in S_{xy}

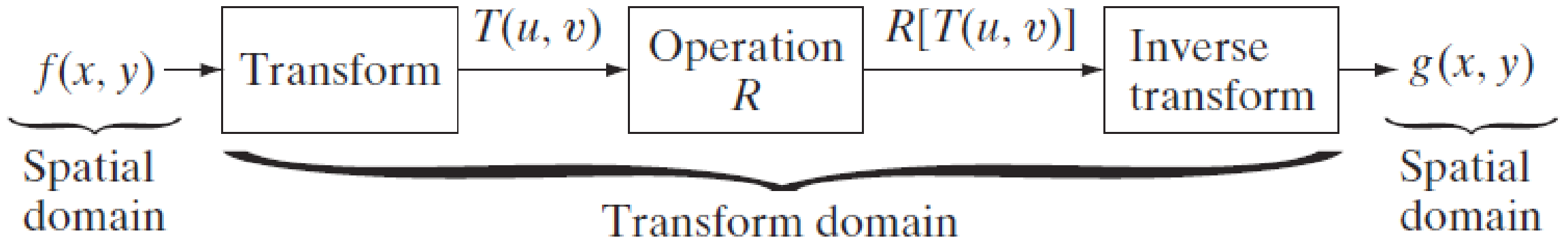
تبدیلات مکان هندسی

Transformation Name	Affine Matrix, T	Coordinate Equations	Example
Identity	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v$ $y = w$	
Scaling	$\begin{bmatrix} c_x & 0 & 0 \\ 0 & c_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = c_x v$ $y = c_y w$	
Rotation	$\begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v \cos \theta - w \sin \theta$ $y = v \sin \theta + w \cos \theta$	
Translation	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ t_x & t_y & 1 \end{bmatrix}$	$x = v + t_x$ $y = w + t_y$	
Shear (vertical)	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ s_v & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v + s_v w$ $y = w$	
Shear (horizontal)	$\begin{bmatrix} 1 & s_h & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v$ $y = s_h v + w$	



تبدیلات تصویر

■ در حوزه تبدیل خطی، تصویر تحت تبدیل قرار می گیرد. سپس با عملیات از پیش تعریف شده بهبود می یابد. در نهایت تصویر خروجی با محاسبه معکوس تبدیل بهبود یافته، محاسبه می شود.



سؤال؟

