بسم الله الرحمن الرحيم

مبانی بینایی کامپیوتر

مدرس: محمدرضا محمدی

۱۳۹۹

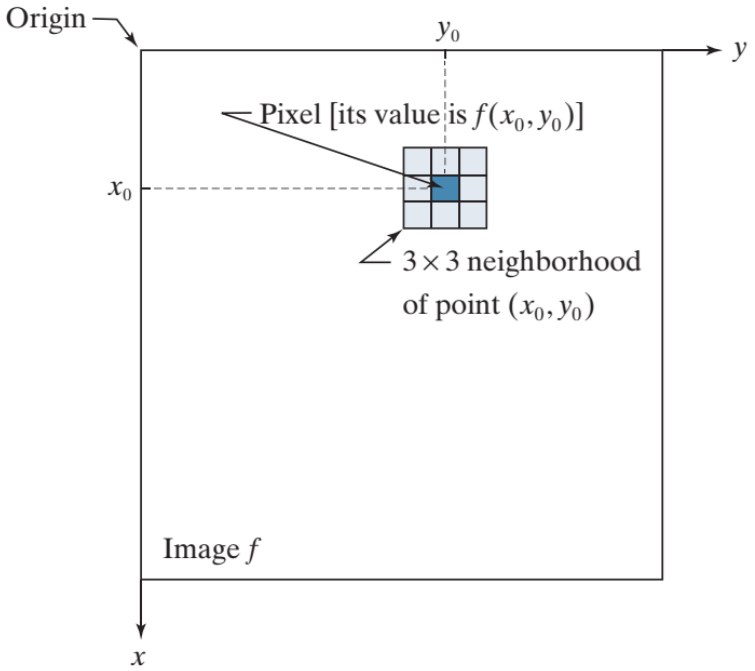
پردازش تصویر در حوزه مکان

Image Processing in Spatial Domain

ارتقاء تصویر

- ارتقاء تصویر پردازشی است که در آن تصویر تولید شده برای پردازش‌های بعدی یا برای دیدن مناسب‌تر از تصویر اصلی باشد
- پردازش‌های حوزه مکان در حالت کلی با نماد زیر نشان داده می‌شوند

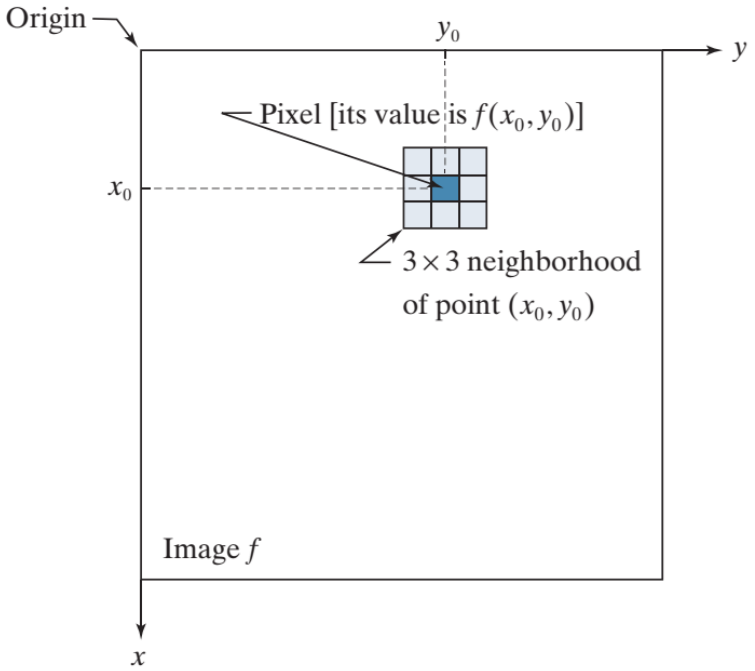
$$g(x,y) = T[f(x,y)]$$



پردازش نقطه‌ای

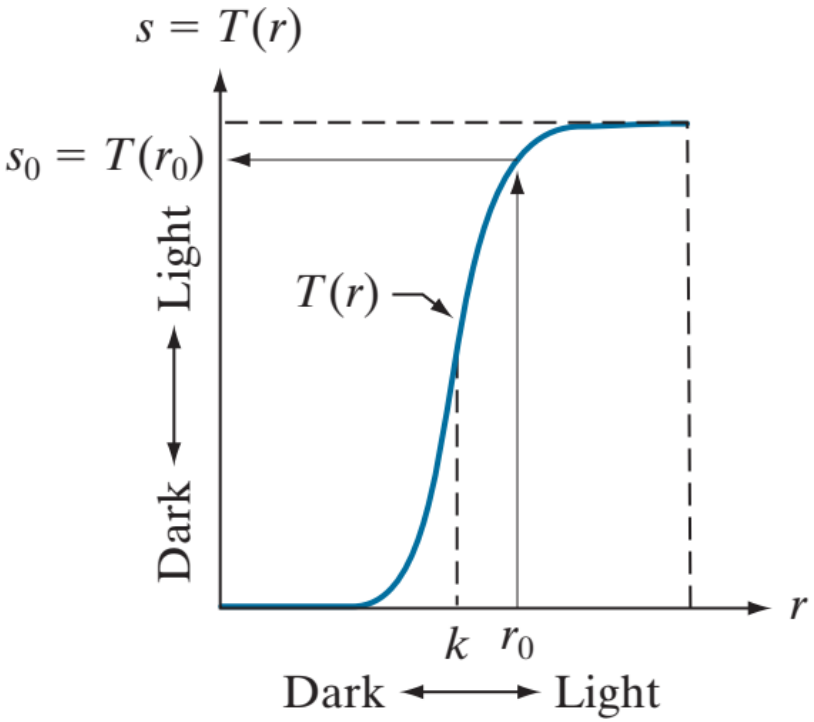
- پردازش نقطه‌ای ساده‌ترین شکل همسایگی است که اندازه قاب ۱×۱ است
- در این حالت، $g(x,y)$ تنها به مقدار f در نقطه (x,y) وابسته است
- T نیز تابع تبدیل شدت روشنایی یا تابع نگاشت نامیده می‌شود

$$s = T(r)$$



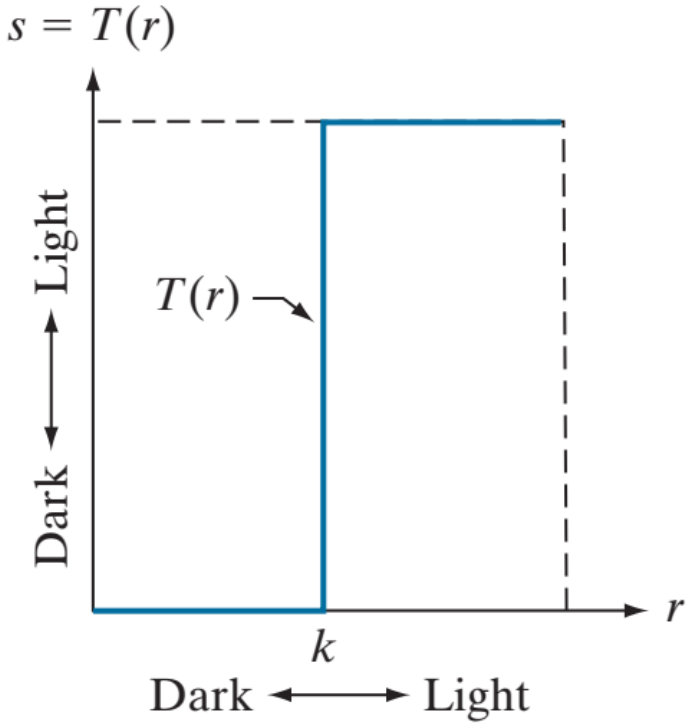
پردازش نقطه‌ای

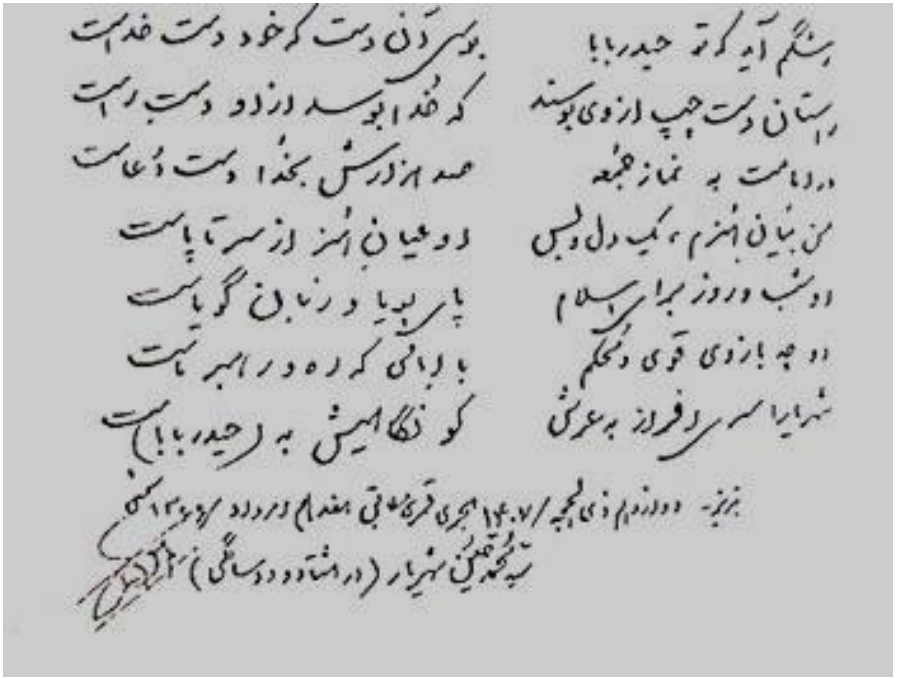
- مثال

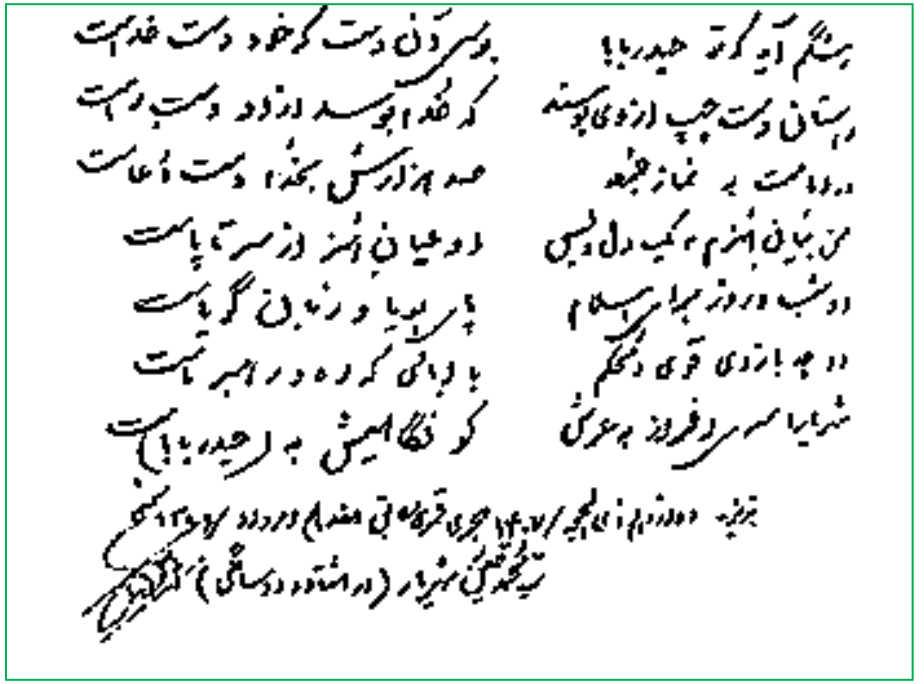


پردازش نقطه‌ای

- مثال

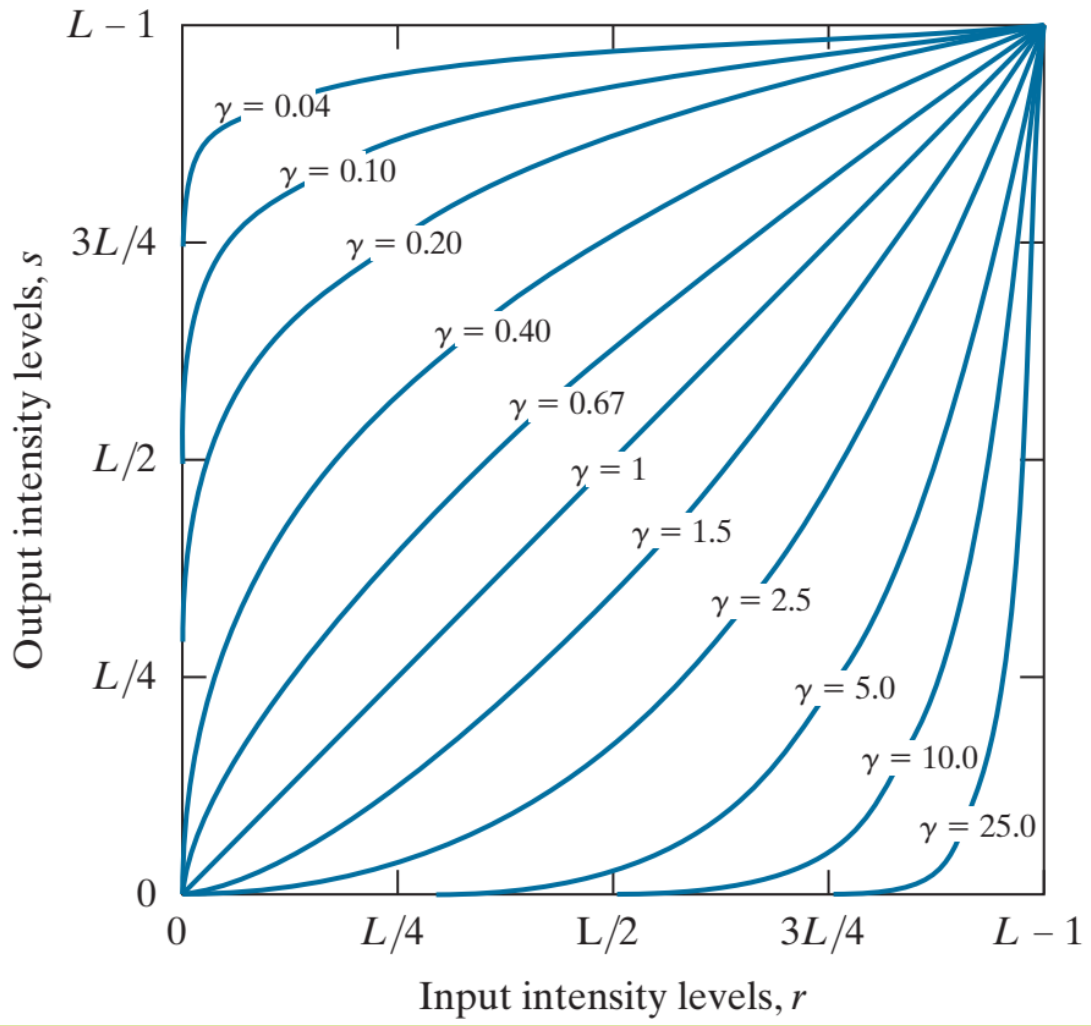






تبدیل گاما

$$s = cr^{\gamma}$$



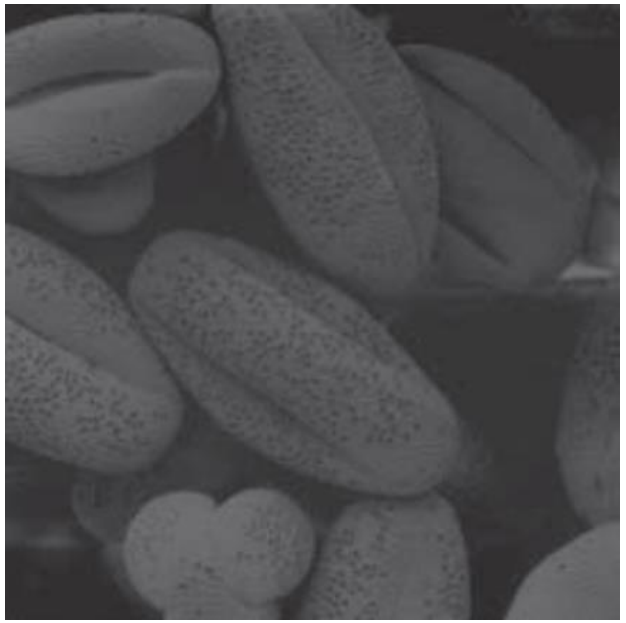
هیستوگرام

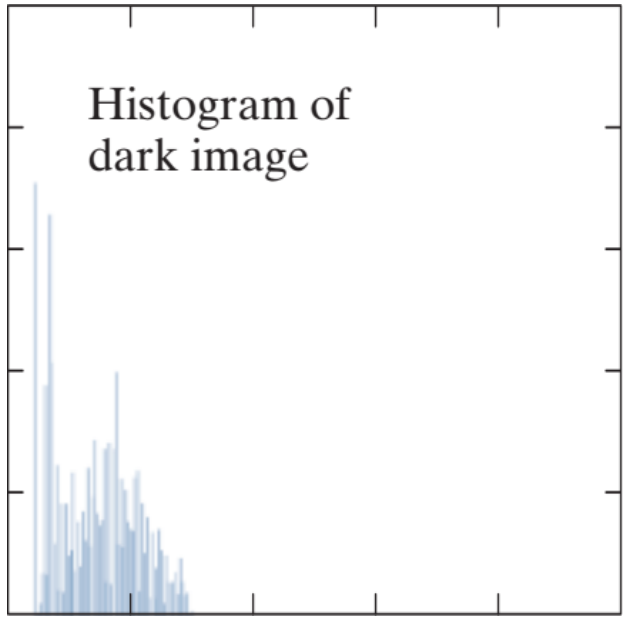
- هیستوگرام برای یک تصویر دیجیتال با سطوح روشنایی در محدوده $[0 \quad L-1]$ تابعی است گسسته که به صورت زیر تعریف می‌شود:

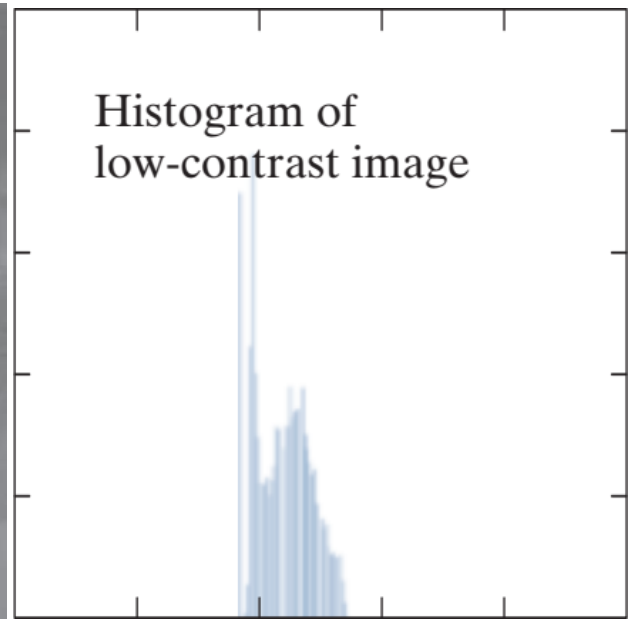
$$h(r_k) = n_k$$

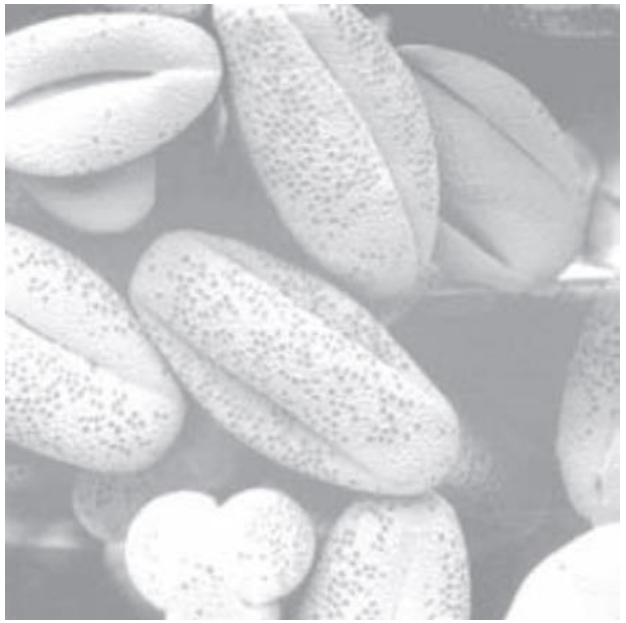
- که r_k یک سطح روشنایی در محدوده مورد نظر است و n_k تعداد پیکسل‌هایی است که دارای آن سطح روشنایی هستند
- هیستوگرام نرمالیزه

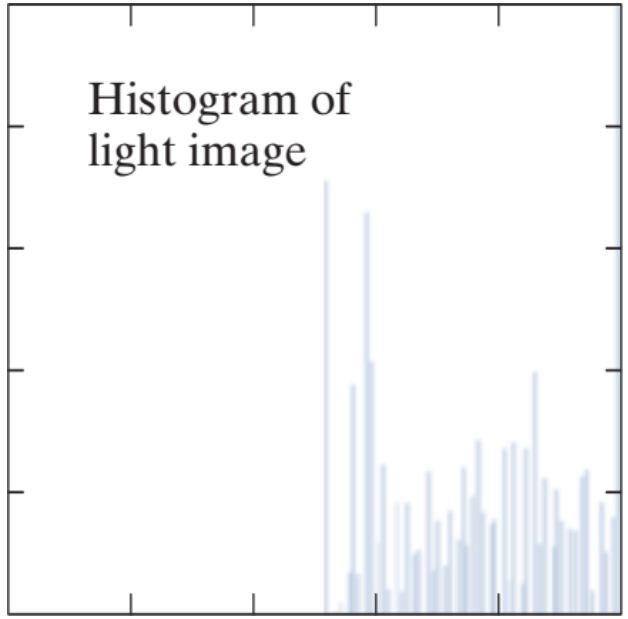
$$p(r_k) = \frac{n_k}{n}$$

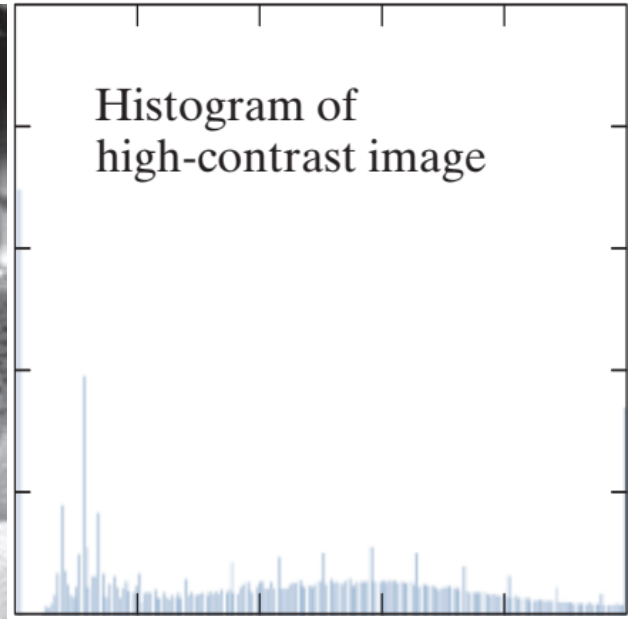



Histogram of
dark image


Histogram of
low-contrast image




Histogram of
light image


Histogram of
high-contrast image

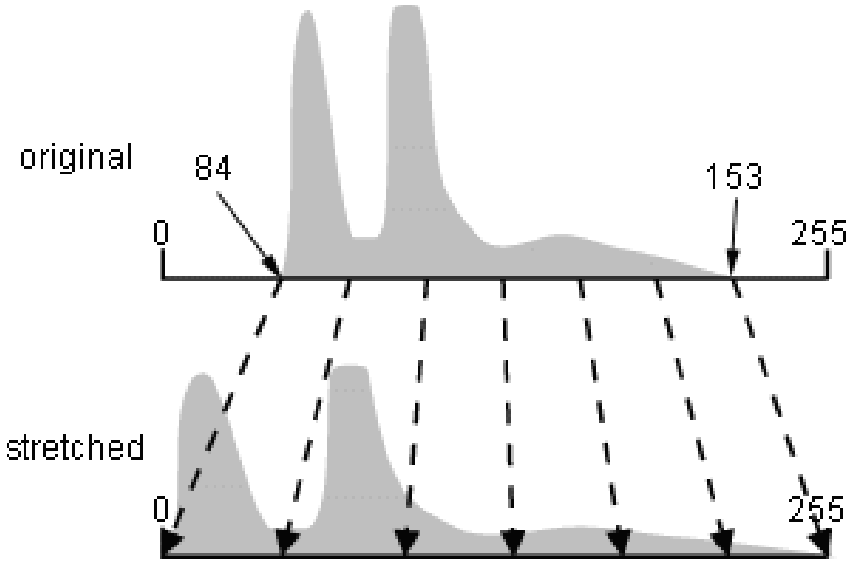
هیستوگرام

- هیستوگرام اساس بسیاری از روش‌های پردازش تصویر در حوزه مکان را تشکیل می‌دهد
- محاسبه نرم‌افزاری هیستوگرام تصویر و تحقق سخت‌افزاری آن ساده و ارزان است
- مولفه‌های هیستوگرام در تصویر با کنتراست بالا محدوده وسیع‌تری از محور سطوح روشنایی را پوشش می‌دهد

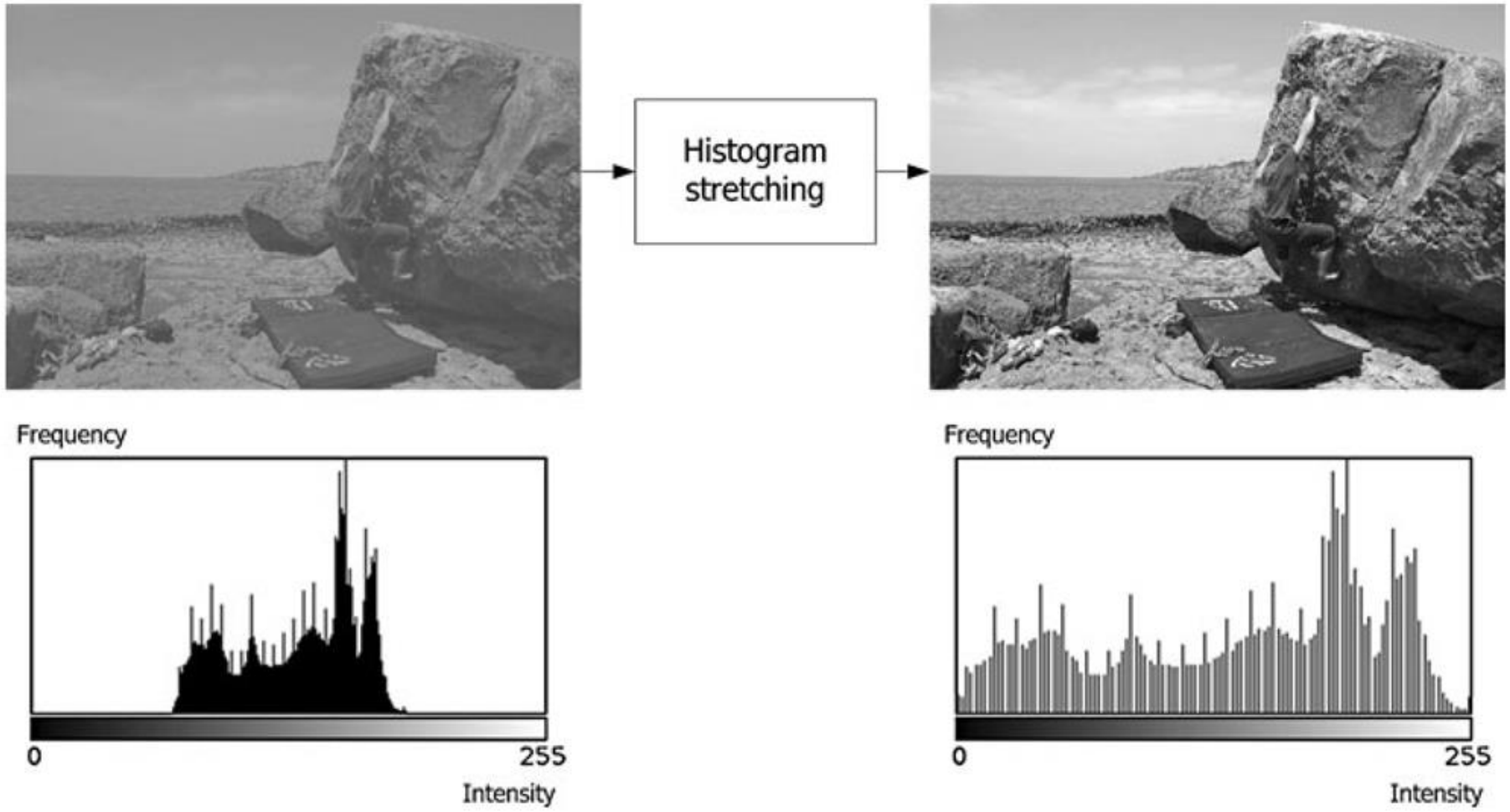
کشش هیستوگرام

- ساده‌ترین راه برای استفاده از تمام سطوح روشنایی، کشش هیستوگرام است

$$g(x,y) = stretch[f(x,y)] = \left(\frac{f(x,y) - f_{min}}{f_{max} - f_{min}}\right)(MAX - MIN) + MIN$$

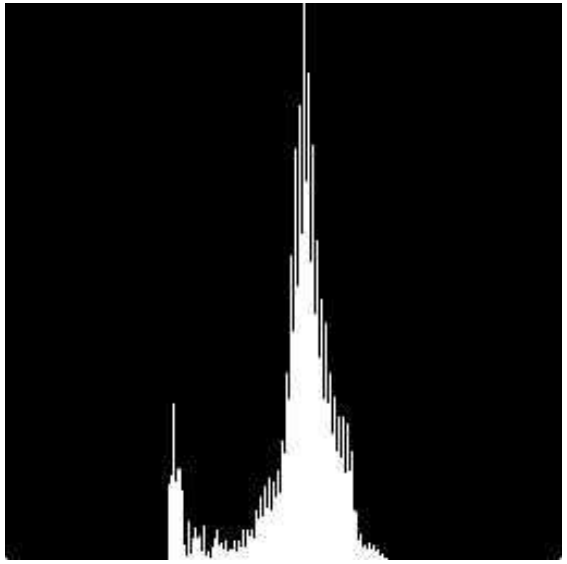


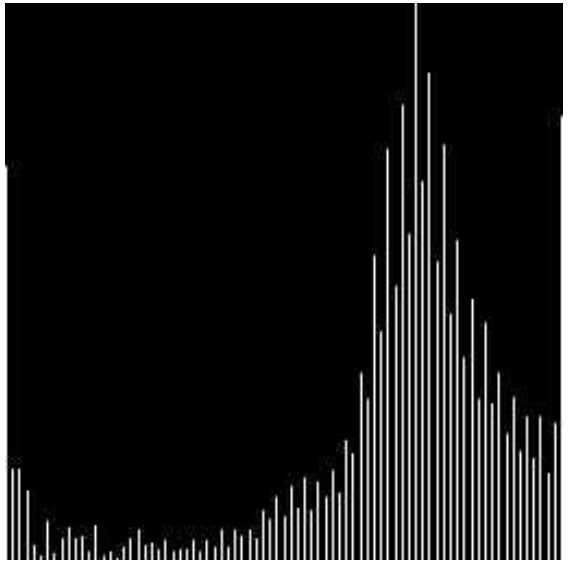
کشش هیستوگرام



کشش هیستوگرام

Histogram Stretching





برش هیستوگرام

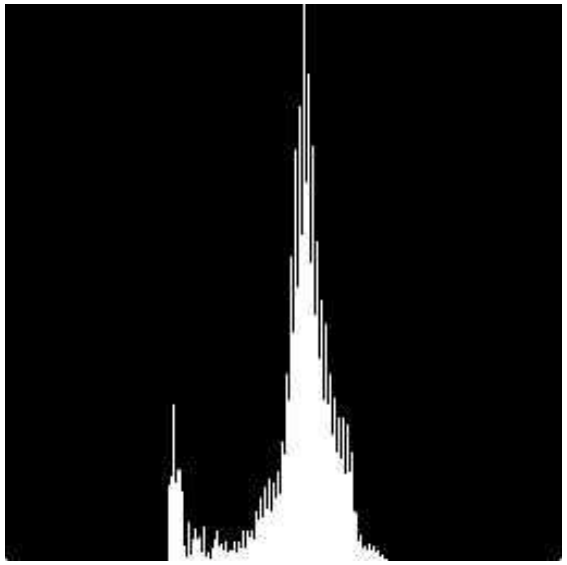
- در برش هیستوگرام، بخشی از مولفه‌های پائین و بالا در نمودار هیستوگرام را قطع می‌کنیم
- به طور مثال اگر ۱ درصد از مولفه‌های بالا و پائین را قطع کنیم:

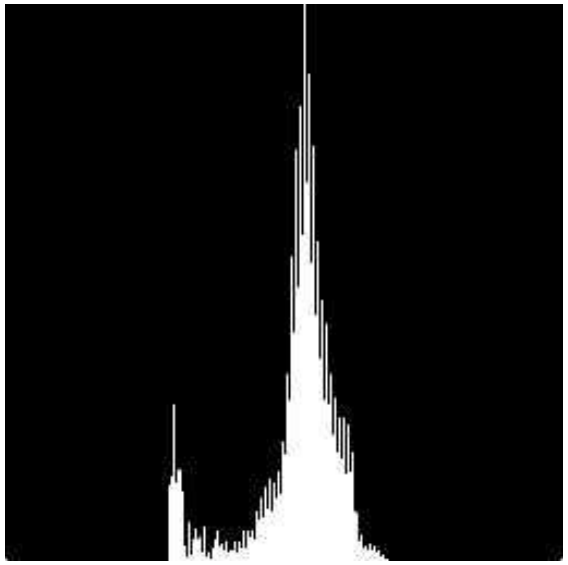
$$g(x,y) = clip[f(x,y)] = \left(\frac{f(x,y) - f_1}{f_{99} - f_1}\right)(MAX - MIN) + MIN$$

$$g(x,y) = stretch[f(x,y)] = \left(\frac{f(x,y) - f_{min}}{f_{max} - f_{min}}\right)(MAX - MIN) + MIN$$

برش هیستوگرام

Histogram Clipping

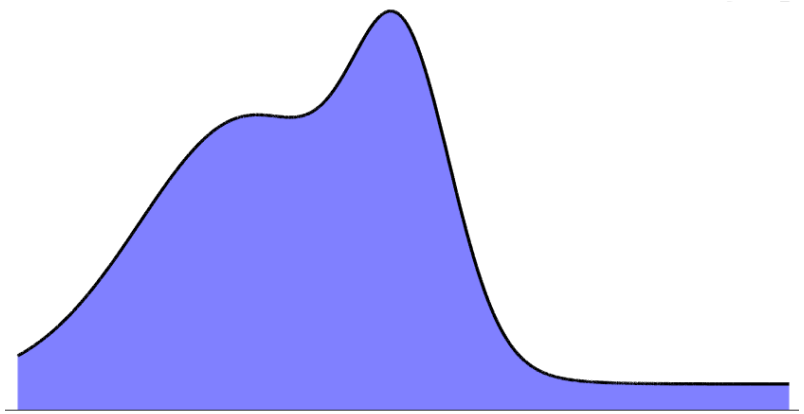


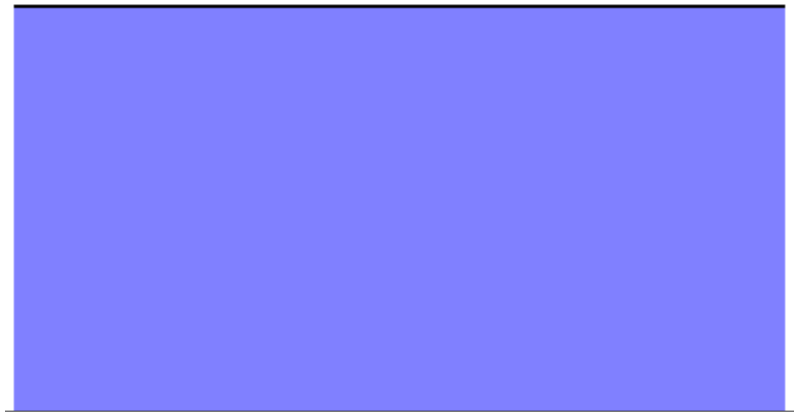


متعادل‌سازی هیستوگرام

- متعادل‌سازی هیستوگرام (Histogram Equalization) پردازشی است که هیستوگرام تصویر را تا حد امکان مسطح می‌کند
- اساس متعادل‌سازی هیستوگرام مبتنی بر تئوری احتمالات است که در آن هیستوگرام به عنوان تابع توزیع احتمال سطوح روشنایی تصویر در نظر گرفته می‌شود
- متعادل‌سازی هیستوگرام برابر با تابعی است که این توزیع احتمال را به توزیع احتمال یکنواخت تبدیل کند

متعادل‌سازی هیستوگرام





متعادل‌سازی هیستوگرام

$$s = T(r) \qquad 0 \le r \le L-1$$

$$0 \le T(r) \le L-1 \qquad T(r_2) \ge T(r_1) \text{ for } r_2 > r_1$$

- چگالی احتمال شدت روشنایی در تصویر اولیه را با $p_r(r)$ و در تصویر جدید را با $p_s(s)$ نشان می‌دهیم
- تابع چگالی احتمال (pdf)

$$p_x(x) = \frac{Pr(x \le X < x + dx)}{dx}$$

- تابع توزیع تجمعی (cdf)

$$P_x(x) = Pr(X \le x)$$

$$P_x(x) = \int_{-\infty}^{x} p_x(x)dx \qquad p_x(x) = \frac{d}{dx} P_x(x)$$

تبدیل توزیع احتمال

- اگر T یک تابع یکنوا از r باشد رابطه توزیع احتمال s برابر است با:

$$p_s(s) = p_r(r)\left|\frac{dr}{ds}\right|$$

- هدف از متعادل‌سازی هیستوگرام آن است که توزیع s یکنواخت باشد

$$p_s(s) = \frac{1}{L-1} = p_r(r)\left|\frac{dr}{ds}\right|$$

$$\left|\frac{ds}{dr}\right| = \left|\frac{dT(r)}{dr}\right| = (L-1)p_r(r) \qquad \Rightarrow \boxed{T(r) = (L-1)P_r(r)}$$

تبدیل توزیع احتمال گسسته

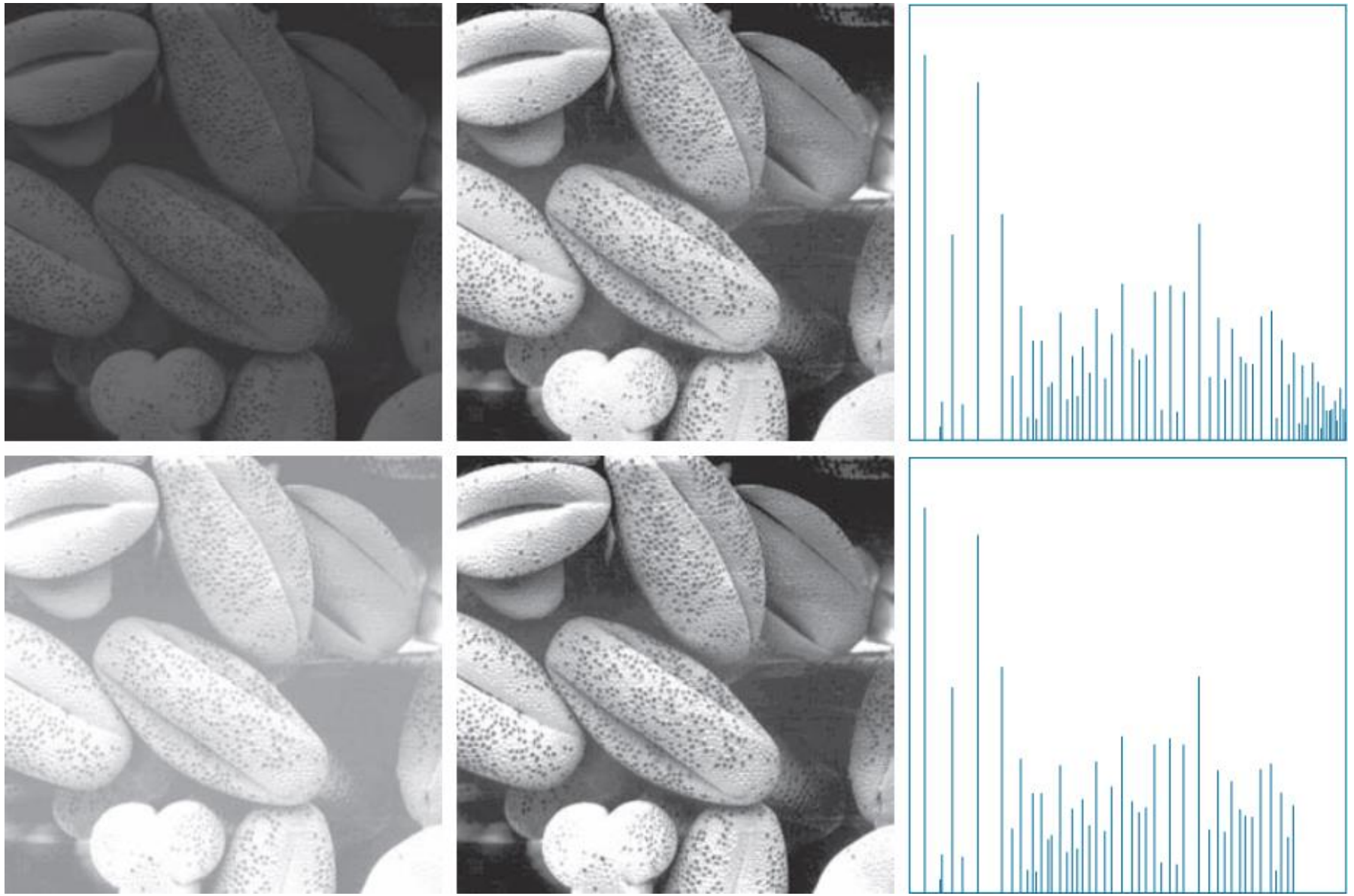
- احتمال تخمینی از هر سطح روشنایی

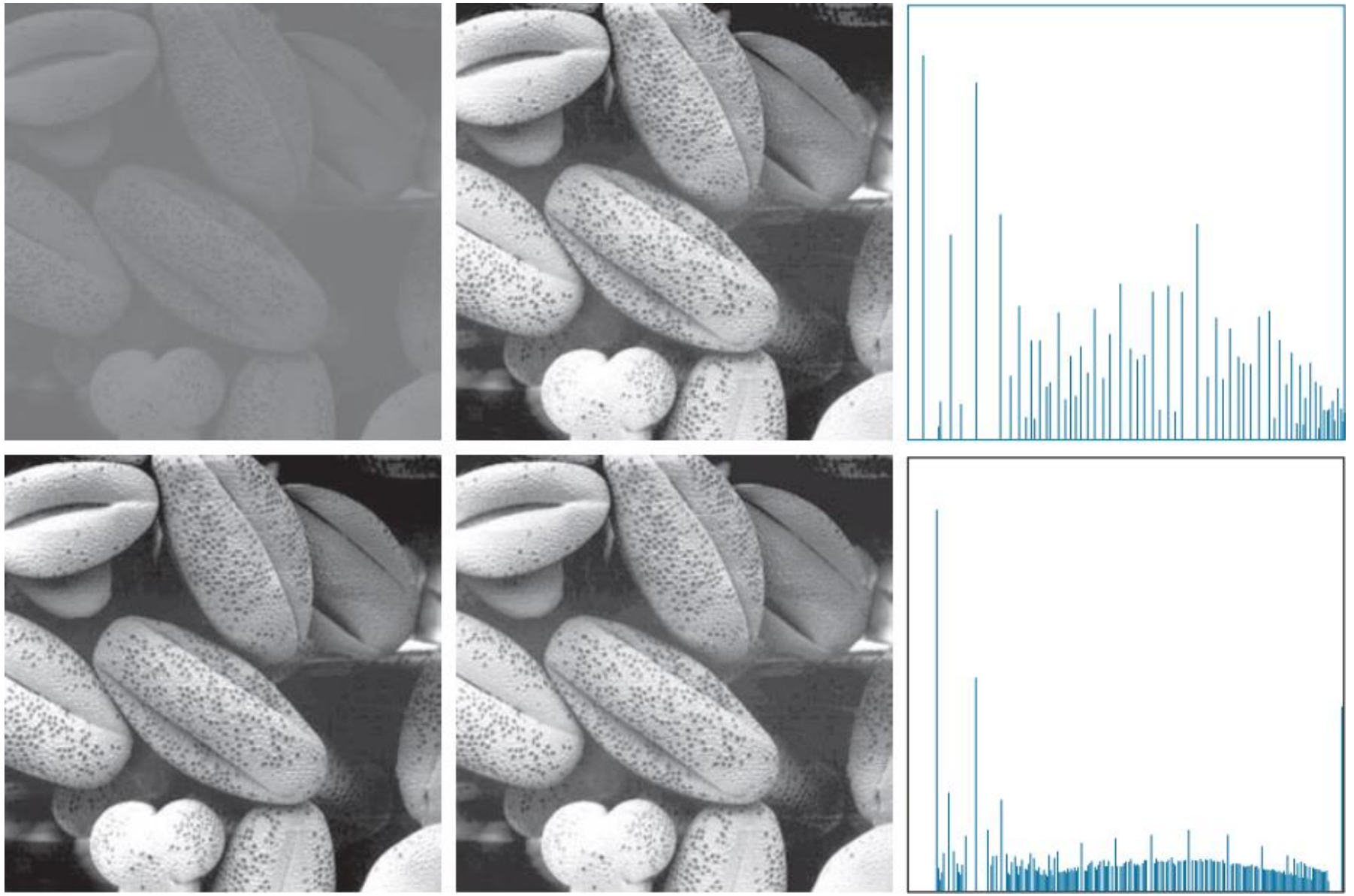
$$p_r(r_k) = \frac{n_k}{n}$$

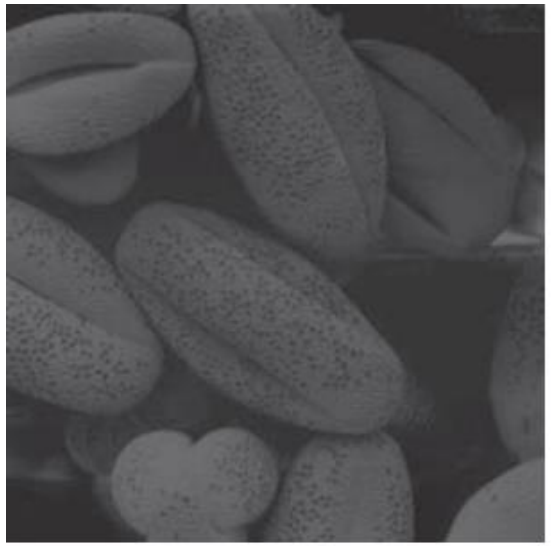
- تابع تبدیل که معادل با توزیع تجمعی است

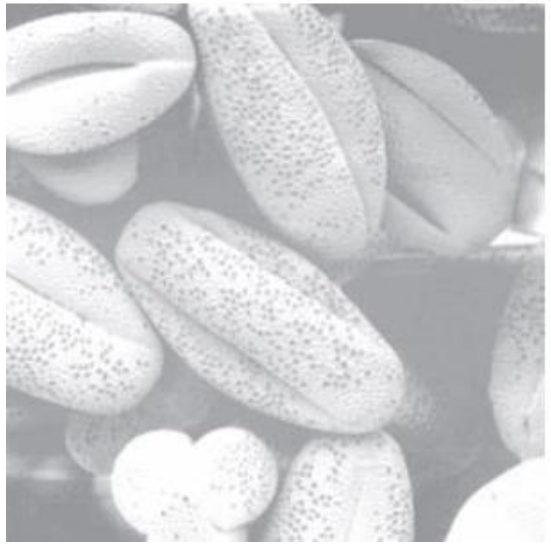
$$s_k = T(r_k) = (L-1)\sum_{j=0}^{k} p_r(r_j) = \frac{L-1}{n}\sum_{j=0}^{k} n_j$$

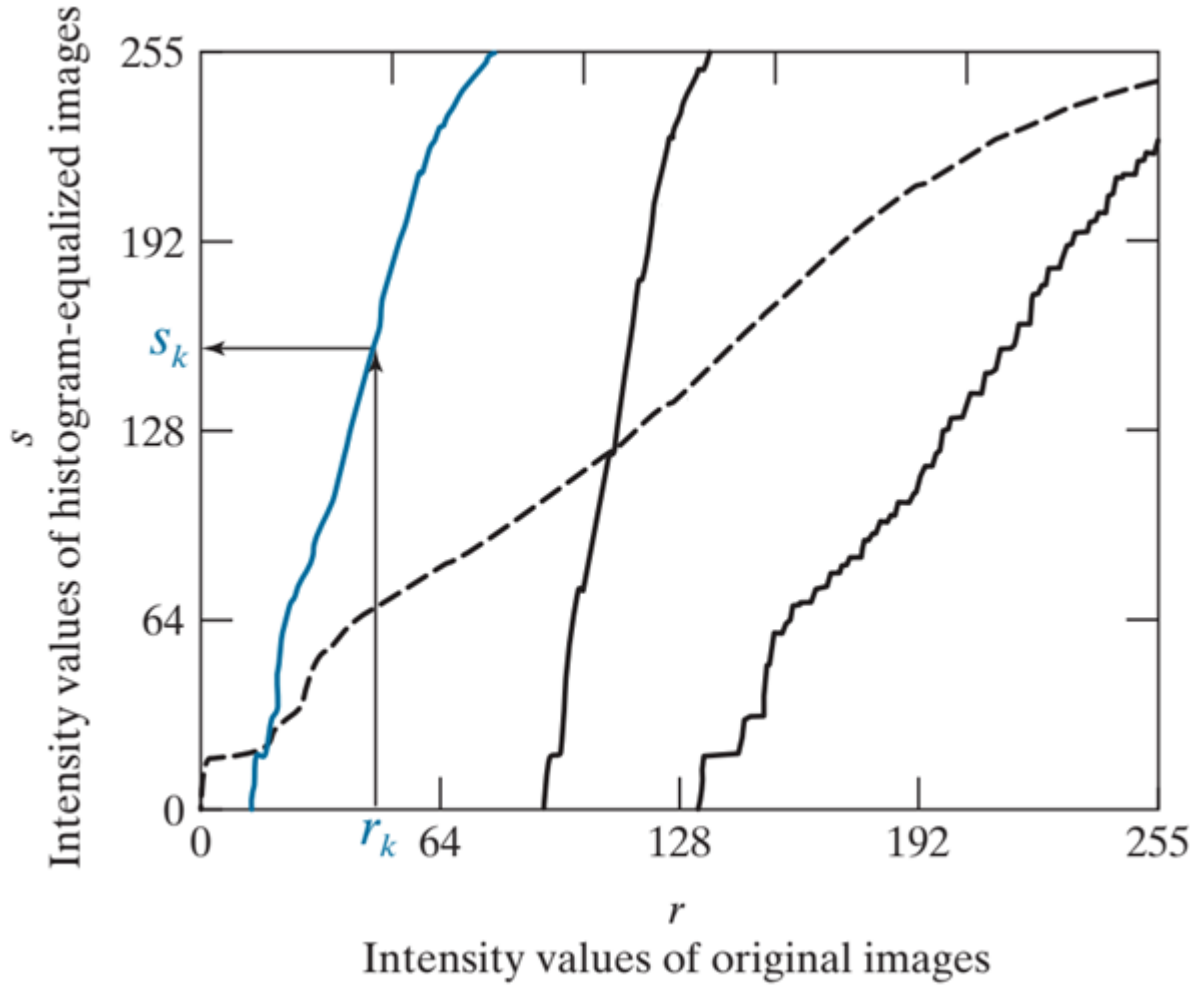
- در فضای گسسته نمی‌توان انتظار داشت که توزیع حاصل کاملا یکنواخت باشد

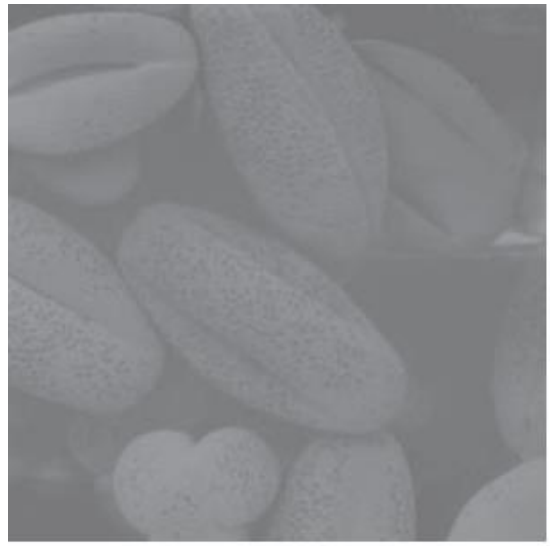








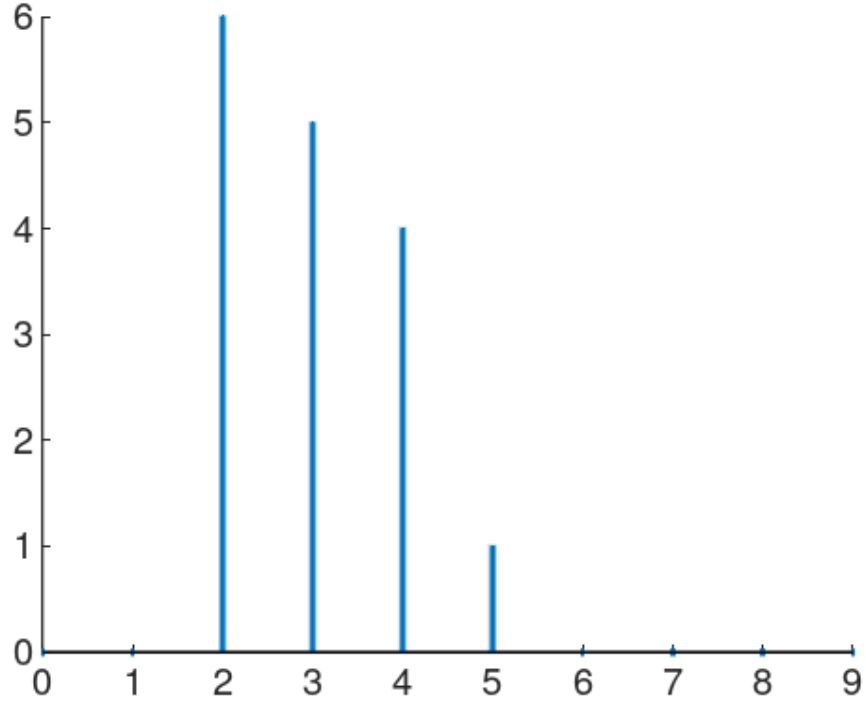

255
192
s_k
128
64
0
0
r_k
64
128
192
255
s
Intensity values of histogram-equalized images
r
Intensity values of original images



مثال عددی

- عملیات متعادل‌سازی هیستوگرام را برای تصویر ۴×۴ زیر انجام دهید (فرض کنید پیکسل‌ها دارای ۱۰ سطح هستند)

2	3	3	4
2	2	4	5
2	3	3	3
2	2	4	4

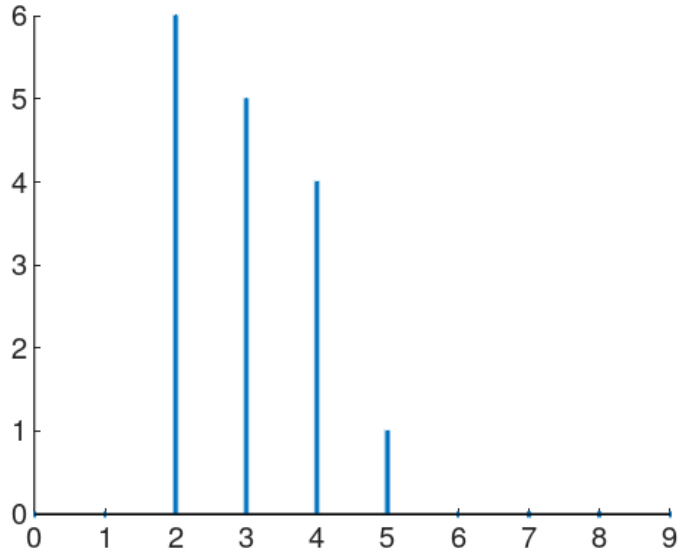


مثال عددی

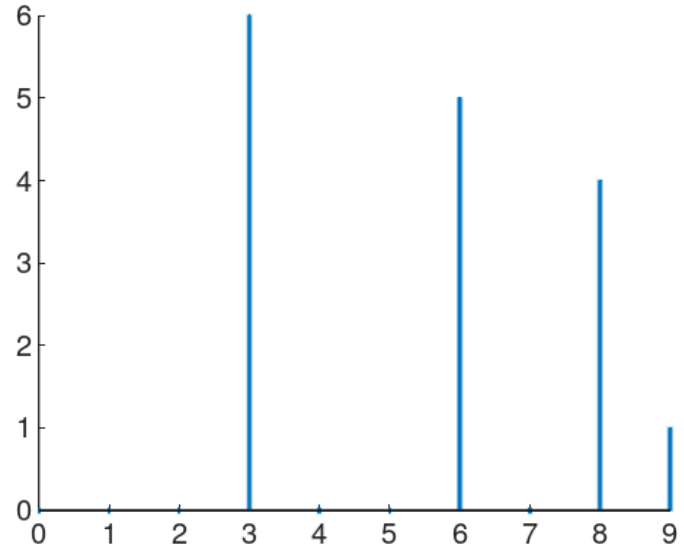
k	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
n_k	0	0	6	5	4	1	0	0	0	0
$\sum_{j=0}^{k} n_j$	0	0	6	11	15	16	16	16	16	16
$\sum_{j=0}^{k} \frac{n_j}{n}$	0	0	$\frac{6}{16}$	$\frac{11}{16}$	$\frac{15}{16}$	1	1	1	1	1
$(L-1)\sum_{j=0}^{k} \frac{n_j}{n}$	0	0	3.38	6.19	8.44	9	9	9	9	9
round	0	0	3	6	8	9	9	9	9	9

مثال عددی

2	3	3	4
2	2	4	5
2	3	3	3
2	2	4	4

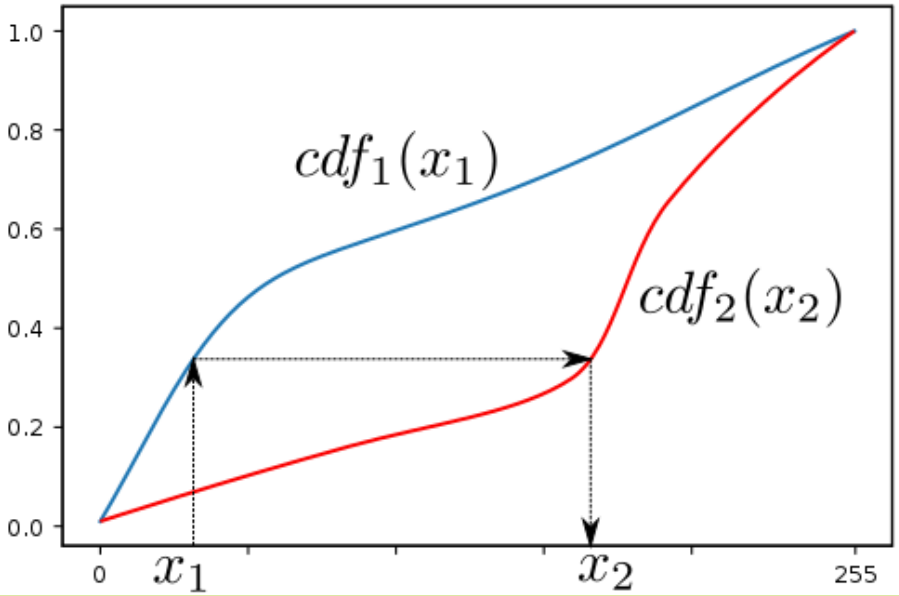


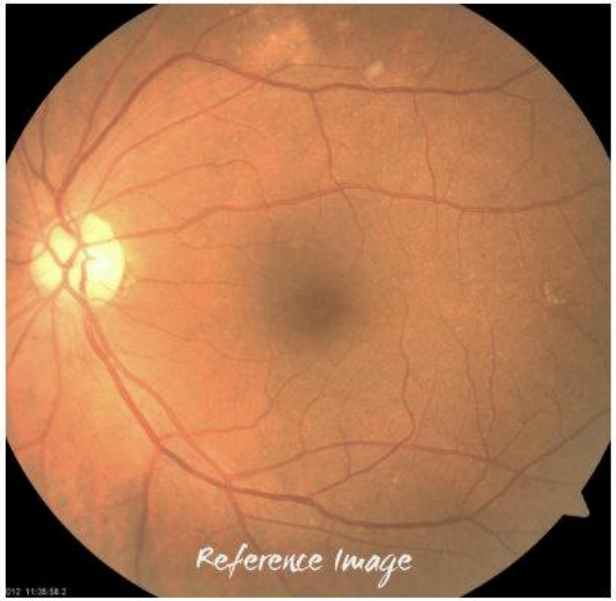
3	6	6	8
3	3	8	9
3	6	6	6
3	3	8	8

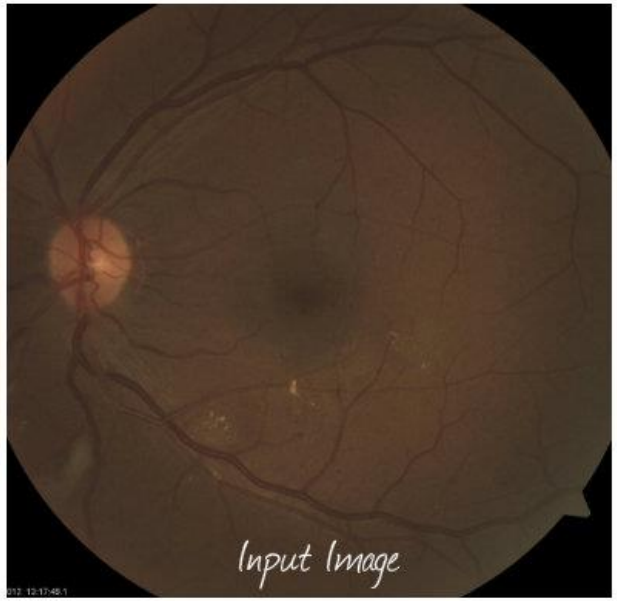


تطبیق هیستوگرام

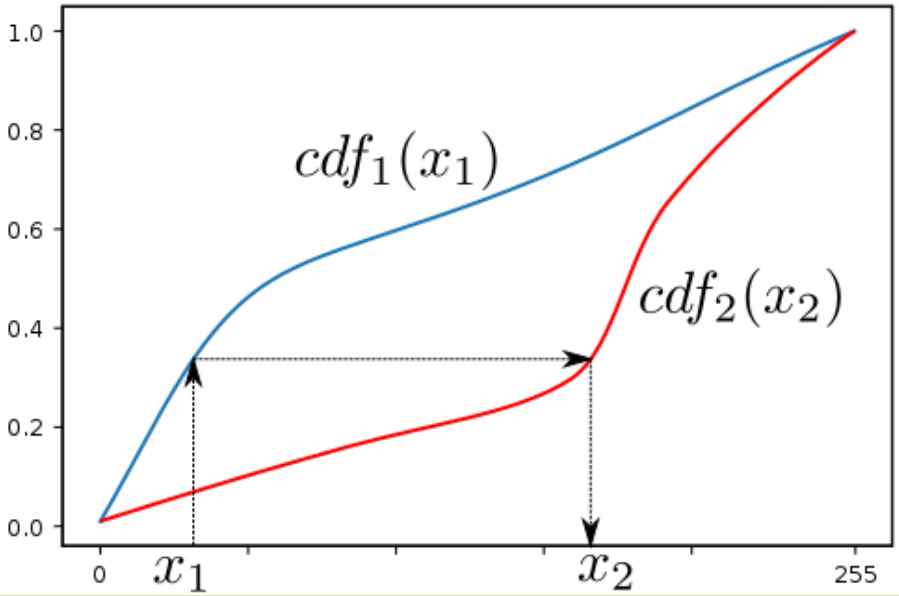
- کاربردهایی وجود دارد که ارتقاء تصویر به روش یکنواخت ساختن هیستوگرام بهترین راه حل نیست
- در برخی موارد لازم است که هیستوگرام تصویر مورد پردازش مشابه با یک هیستوگرام از پیش تعیین شده باشد
- می‌توان ابتدا تابع متعادل‌سازی هیستوگرام تصویر ورودی را اعمال کرد و سپس معکوس تابع متعادل‌سازی تصویر مرجع را بر آن اعمال نمود




Reference Image

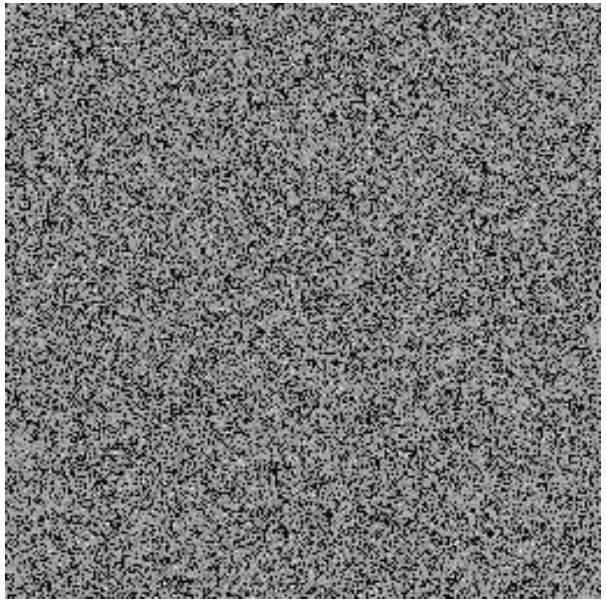

Input Image

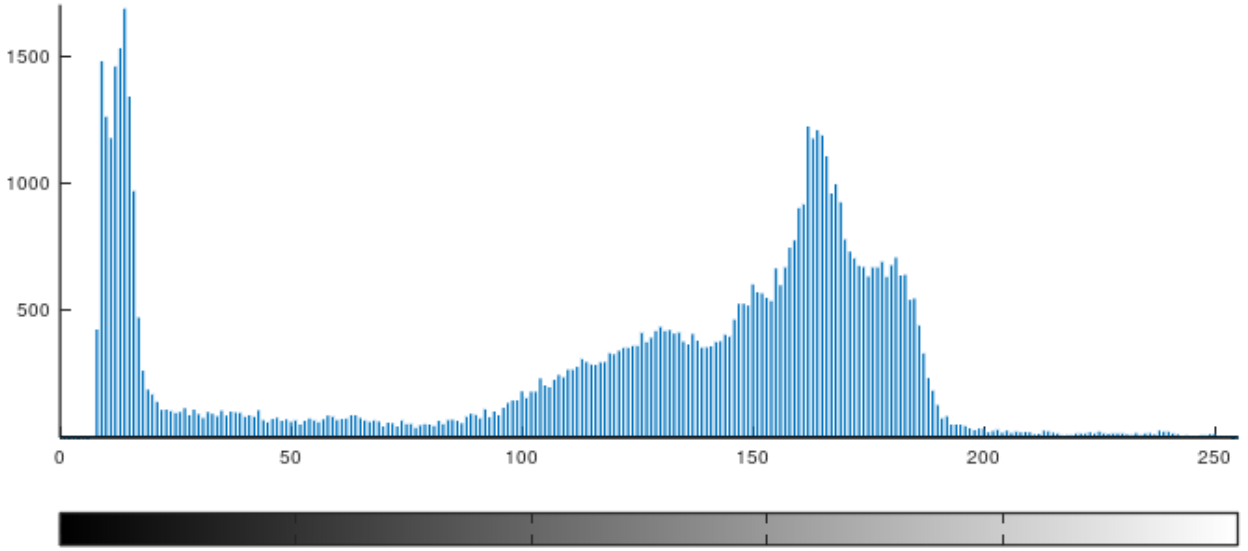
Resulted Image


1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
$cdf_1(x_1)$
$cdf_2(x_2)$
0
x_1
x_2
255

ارتقاء محلی

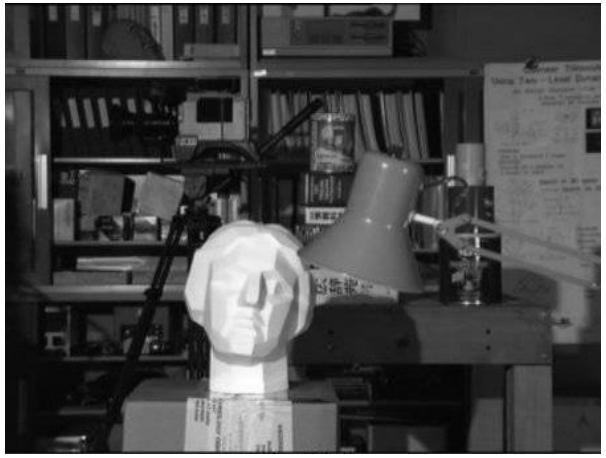
- روش‌هایی که تا کنون برای ارتقاء کیفیت تصویر معرفی شده است سراسری هستند و اطلاعات محلی در آنها لحاظ نشده است
- توابع استفاده شده تنها تابع شدت روشنایی پیکسل مورد نظر هستند و به موقعیت آن در تصویر حساس نیستند

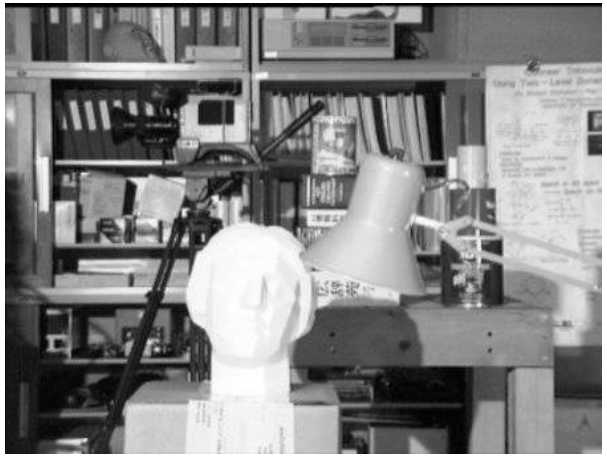


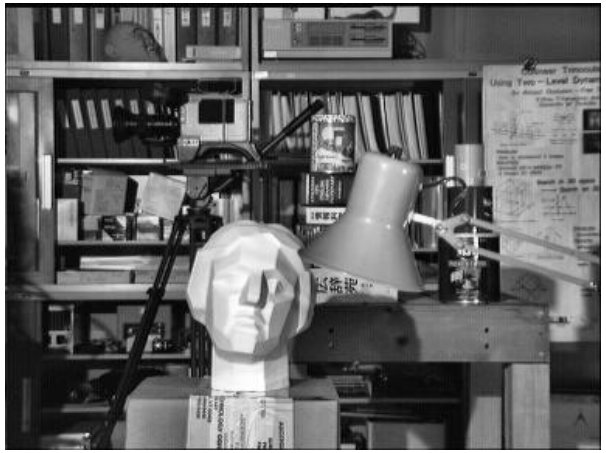

1500
1000
500
0
50
100
150
200
250

ارتقاء محلی

- روش‌هایی که برای ارتقاء کنتراست اطلاعات محلی را در نظر می‌گیرند ارتقاء کنتراست سازگار (ACE) نامیده می‌شوند
- مثال:

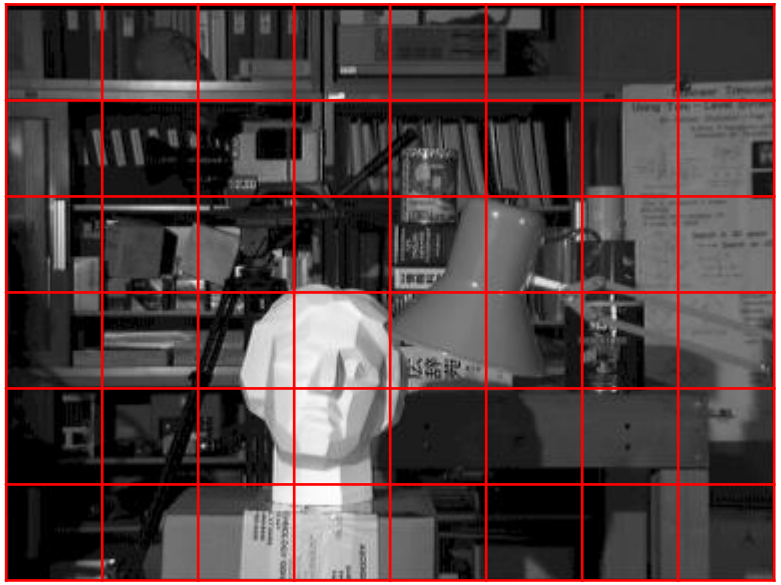






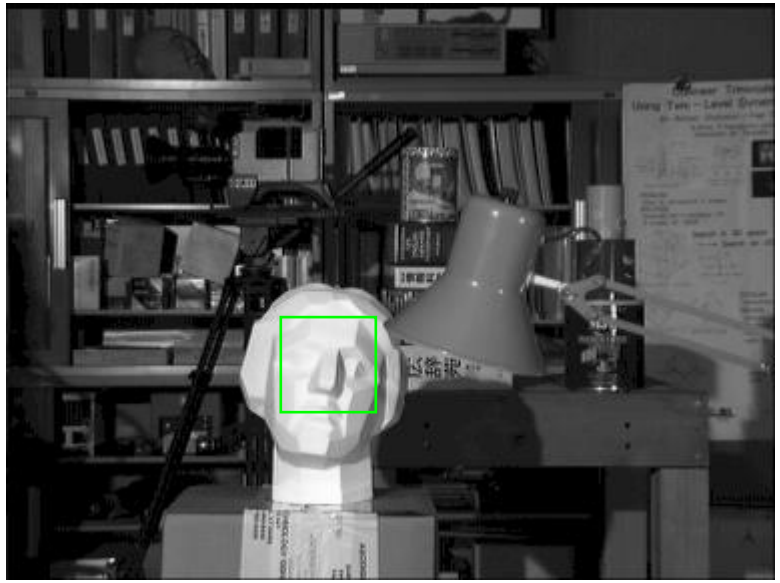
متعادل‌سازی هیستوگرام سازگار

- برای بخش‌های مختلف تصویر، هیستوگرام‌های اختصاصی محاسبه شده و از آنها برای ارتقاء کنتراست تصویر استفاده می‌شود
- روش۱: تصویر به چند زیرتصویر بخش‌بندی شود و هر بخش جداگانه ارتقاء بیابد



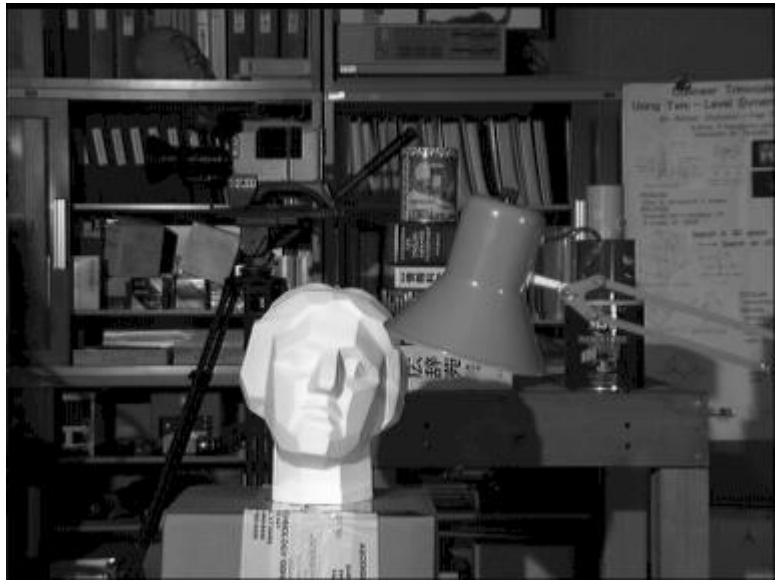
متعادل‌سازی هیستوگرام سازگار

- برای بخش‌های مختلف تصویر، هیستوگرام‌های اختصاصی محاسبه شده و از آنها برای ارتقاء کنتراست تصویر استفاده می‌شود
- روش۱: تصویر به چند زیرتصویر بخش‌بندی شود و هر بخش جداگانه ارتقاء بیابد
- روش۲: برای هر نقطه، تابع تبدیل به طور جداگانه بر حسب پیکسل‌های همسایه محاسبه شود



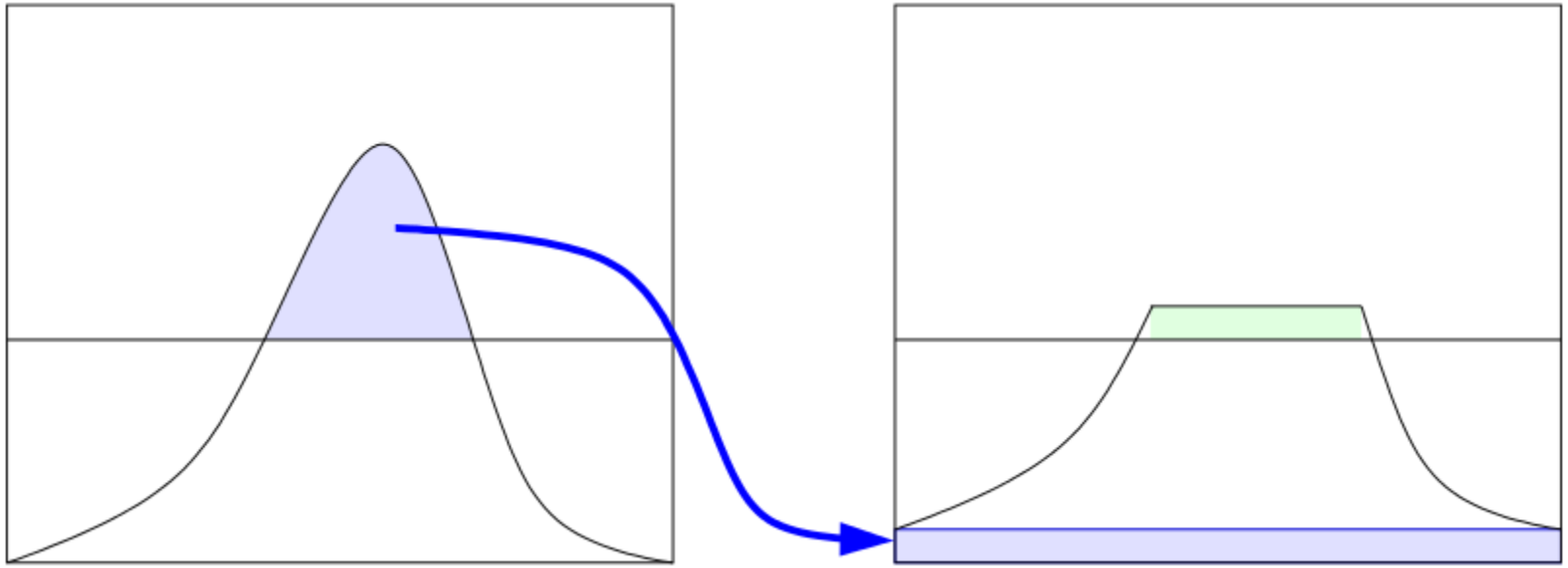
CLAHE

- روش AHE باعث تقویت نویز در ناحیه‌های تقریبا یکنواخت می‌شود
- روش Contrast Limited AHE برای محدود ساختن میزان تقویت کنتراست پیشنهاد شده است



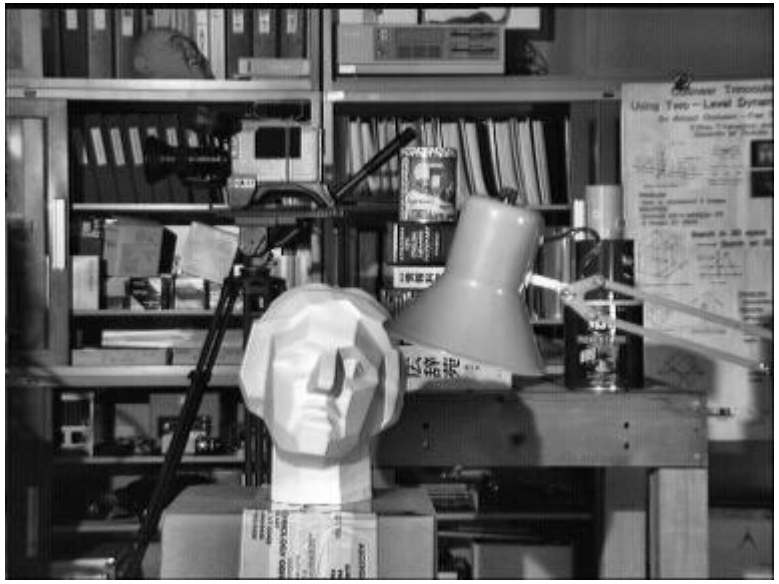
CLAHE

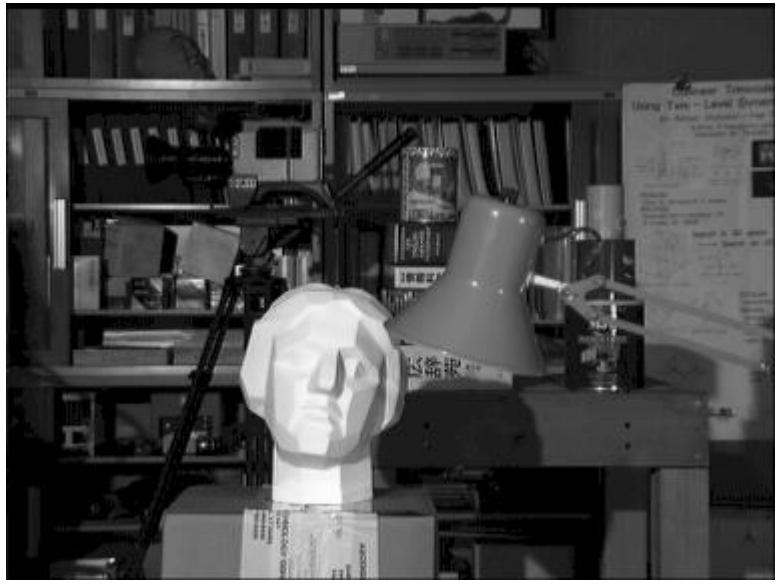
- روش AHE باعث تقویت نویز در ناحیه‌های تقریبا یکنواخت می‌شود
- روش Contrast Limited AHE برای محدود ساختن میزان تقویت کنتراست پیشنهاد شده است



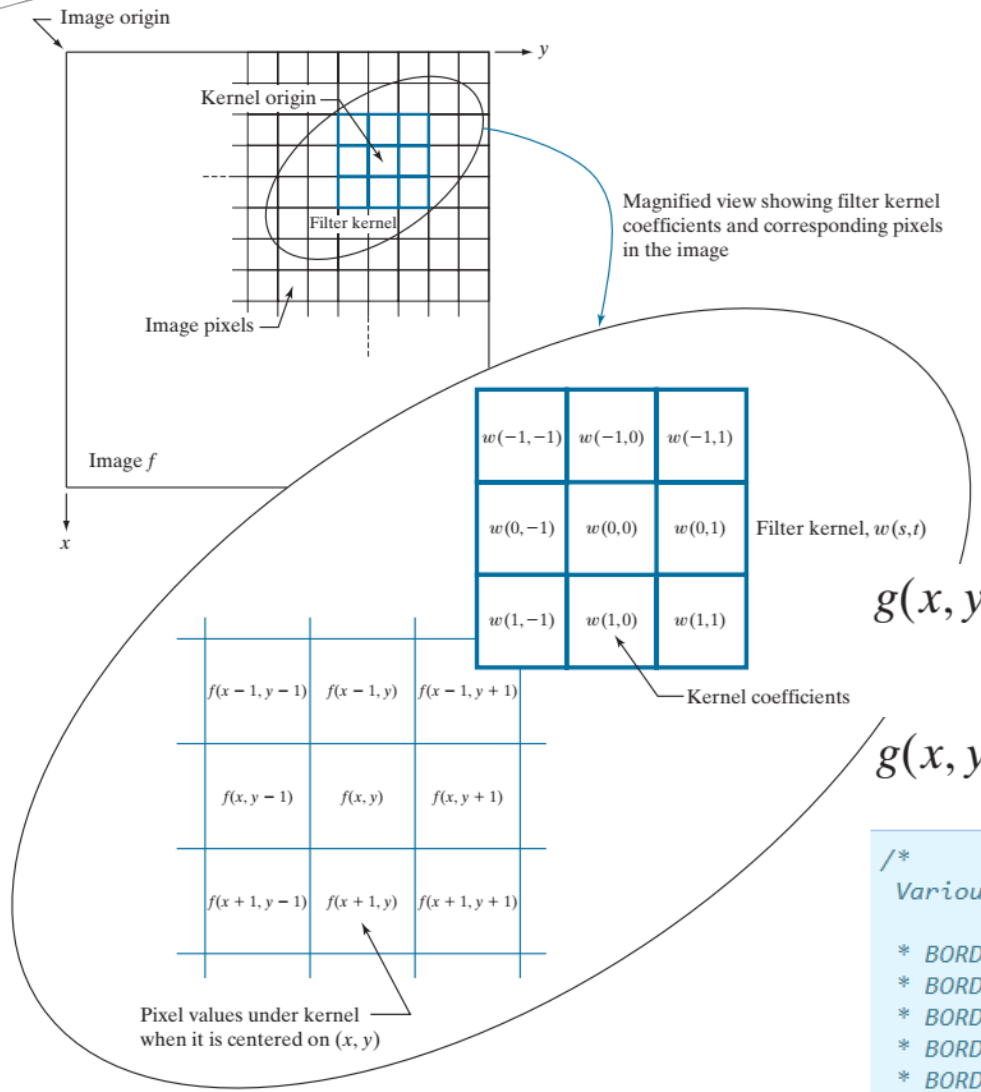
CLAHE

- روش AHE باعث تقویت نویز در ناحیه‌های تقریبا یکنواخت می‌شود
- روش Contrast Limited AHE برای محدود ساختن میزان تقویت کنتراست پیشنهاد شده است





فیلتر در حوزه مکان



- در بسیاری از پردازش‌ها، علاوه بر پیکسل (x,y)، پیکسل‌های موجود در یک همسایگی آن نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند
- فیلتر خطی در حوزه مکان معادل به انجام کانولوشن میان تصویر و یک کرنل دوبعدی است

$$g(x,y) = w(-1,-1)f(x-1,y-1) + w(-1,0)f(x-1,y) + \ldots + w(0,0)f(x,y) + \ldots + w(1,1)f(x+1,y+1)$$

$$g(x,y) = \sum_{s=-a}^{a}\sum_{t=-b}^{b} w(s,t)f(x+s,y+t)$$

OpenCV

- حاشیه تصویر؟

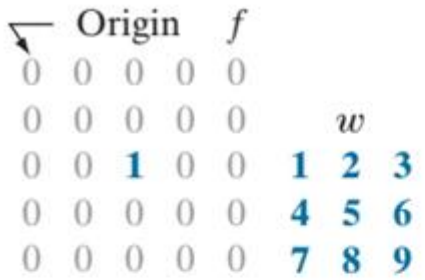
```
/*
 Various border types, image boundaries are denoted with '|'

 * BORDER_REPLICATE:     aaaaaa|abcdefgh|hhhhhhh
 * BORDER_REFLECT:       fedcba|abcdefgh|hgfedcb
 * BORDER_REFLECT_101:   gfedcb|abcdefgh|gfedcba
 * BORDER_WRAP:          cdefgh|abcdefgh|abcdefg
 * BORDER_CONSTANT:      iiiiii|abcdefgh|iiiiiii  with some specified 'i'
 */
```

کانولوشن و همبستگی

- همبستگی به مفهوم حرکت دادن فیلتر روی تصویر و محاسبه مجموع حاصلضرب در هر مکان است
- مکانزیم کانولوشن هم شبیه به همبستگی است با این تفاوت که ابتدا کرنل به اندازه ۱۸۰ درجه می‌چرخد

Correlation

Convolution



$$(w \star f)(x,y) = \sum_{s=-a}^{a} \sum_{t=-b}^{b} w(s,t) f(x+s, y+t)$$

$$(w \star f)(x,y) = \sum_{s=-a}^{a} \sum_{t=-b}^{b} w(s,t) f(x-s, y-t)$$

تولید کرنل

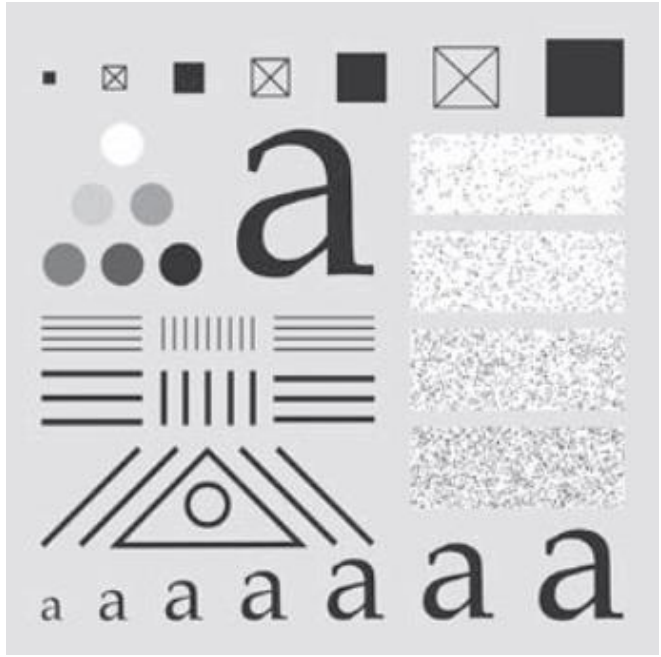
- تولید یک فیلتر $m \times n$ مستلزم تعیین mn ضریب در کرنل است
- مثال: می‌خواهیم مقدار هر پیکسل برابر با میانگین مقدار مقادیر پیکسل‌های اطراف آن باشد
- مثال: میانگین وزن‌دار

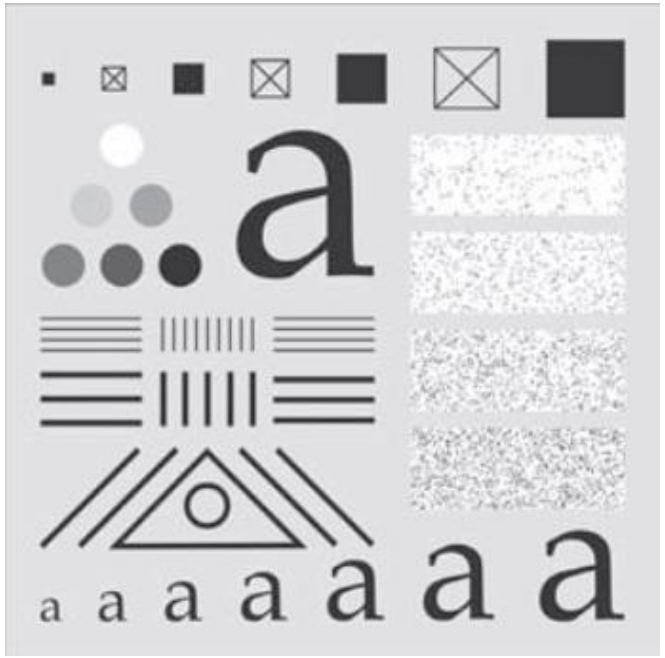
$$\frac{1}{9} \times \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

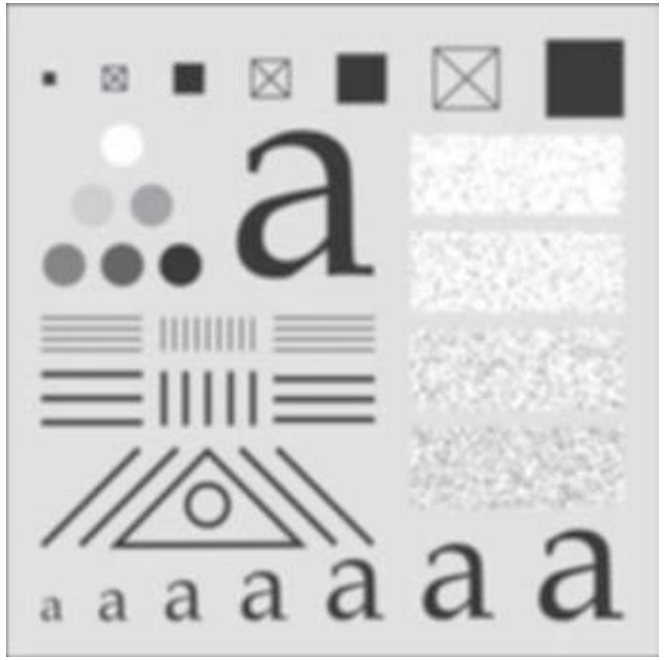
$$\frac{1}{4.8976} \times \begin{bmatrix} 0.3679 & 0.6065 & 0.3679 \\ 0.6065 & 1.0000 & 0.6065 \\ 0.3679 & 0.6065 & 0.3679 \end{bmatrix}$$

فیلترهای هموارساز

- فیلترهای هموارساز فیلترهایی هستند که به منظور کاهش تغییرات شدید در شدت روشنایی پیکسل‌های تصویر به کار می‌روند
- یکی از کاربردهای این فیلترها کاهش نویز است
- همچنین برای حذف جزئیات کم‌اهمیت تصویر قبل از پردازش‌های پیچیده‌تری نظیر استخراج شیئ به کار می‌روند
- ساده‌ترین فیلتر هموارساز همان فیلتر متوسط‌گیر است
- این فیلترها اصولا از لحاظ فرکانسی فیلترهای پائین‌گذر هستند







فیلترهای هموارساز

- لبه‌های تصویر که در بسیاری از کاربردها نظیر تشخیص اشیاء در تصویر نقش مهمی دارند، توسط فیلترهای هموارساز خاصیت پله‌ای خود را از دست می‌دهند و این می‌تواند اثر نامطلوبی باشد
- می‌توان متوسط‌گیری را به صورت وزن‌دار انجام داد

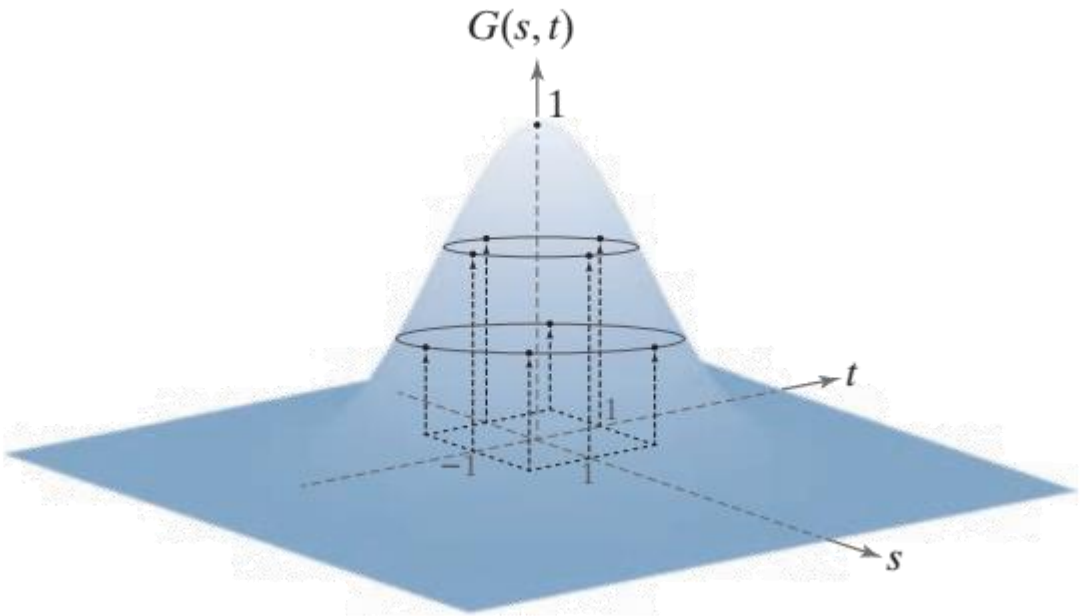
$$\frac{1}{9}\times\begin{bmatrix}1&1&1\\1&1&1\\1&1&1\end{bmatrix}$$

$$\frac{1}{16}\times\begin{bmatrix}1&2&1\\2&4&2\\1&2&1\end{bmatrix}$$

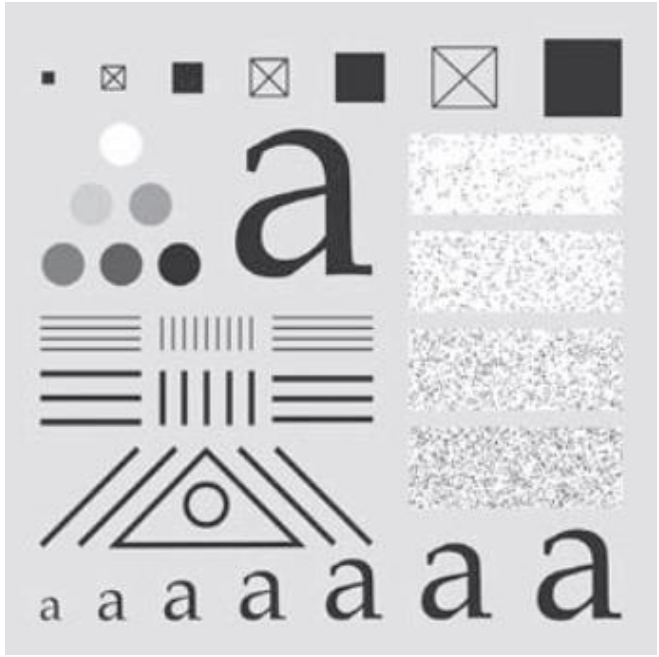
فیلتر گاوسی

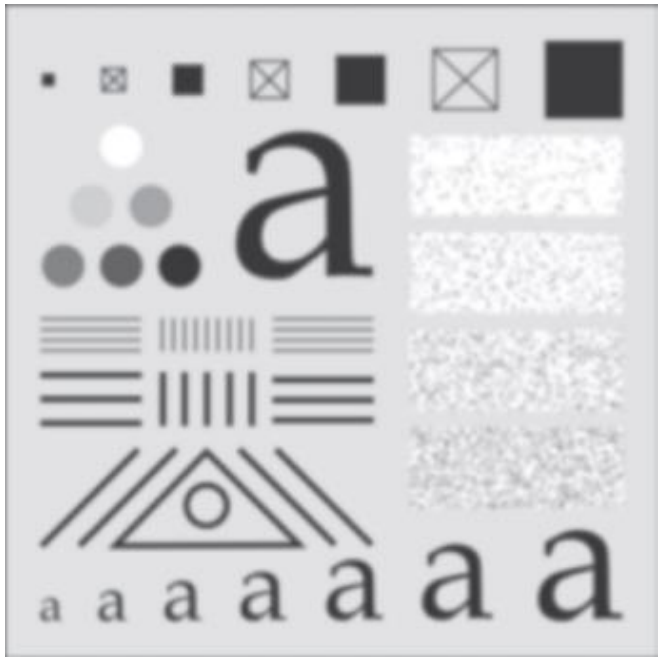
- می‌توان با نمونه‌برداری از توابع پیوسته کاربردی، فیلترهای مناسبی را بدست آورد
- تابع گاوسی:

$$G(s,t) = Ke^{-\frac{s^2+t^2}{2\sigma^2}} = Ke^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}}$$

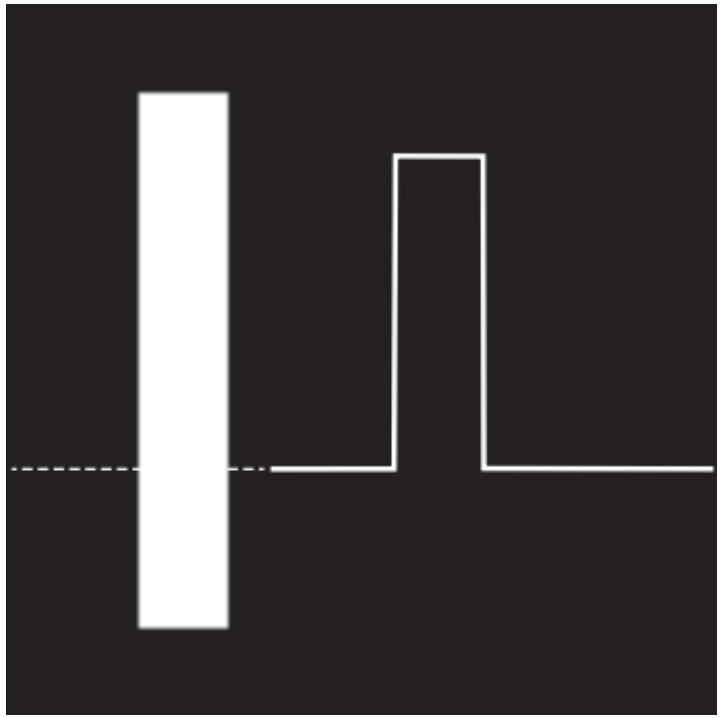


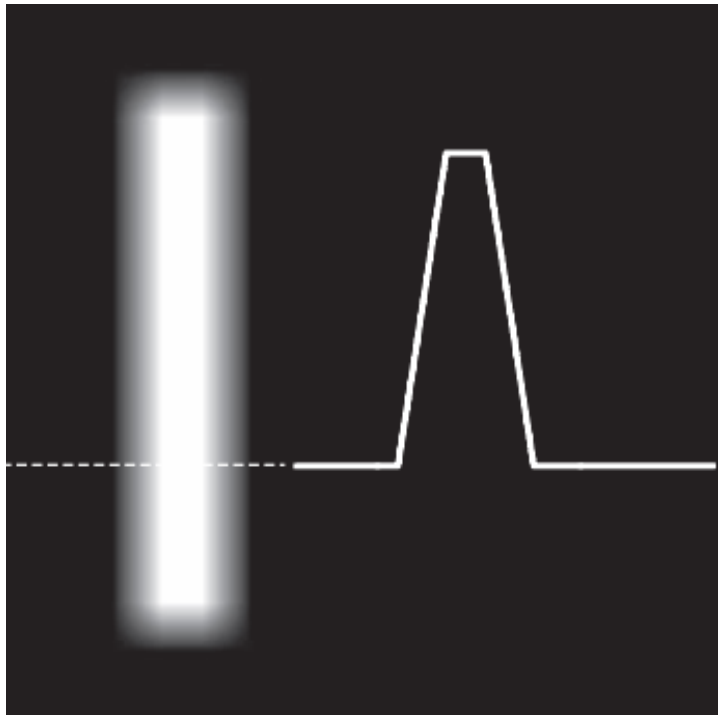
$$\frac{1}{4.8976} \times \begin{bmatrix} 0.3679 & 0.6065 & 0.3679 \\ 0.6065 & 1.0000 & 0.6065 \\ 0.3679 & 0.6065 & 0.3679 \end{bmatrix}$$

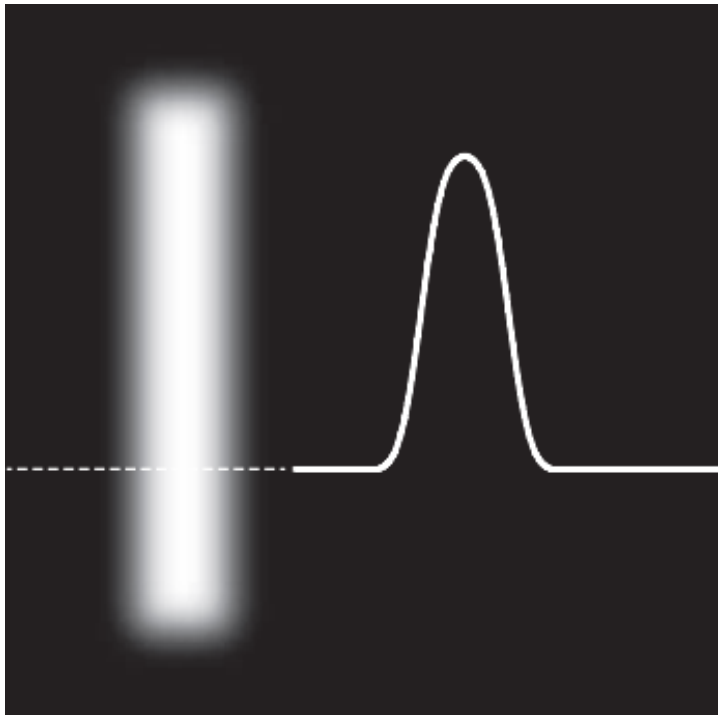




مقایسه فیلتر گاوسی و جعبه‌ای

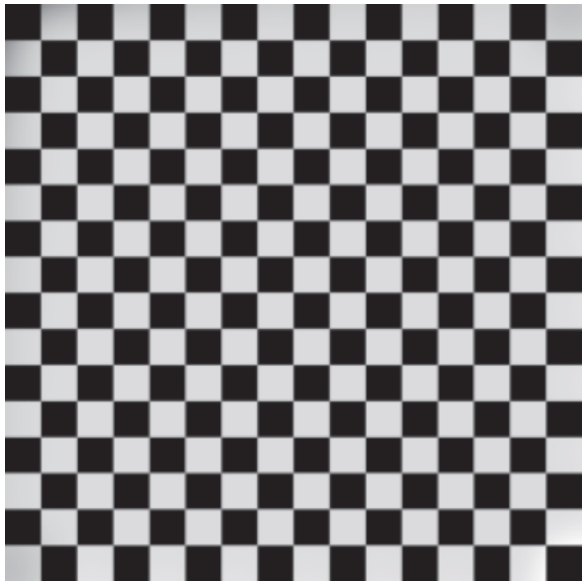


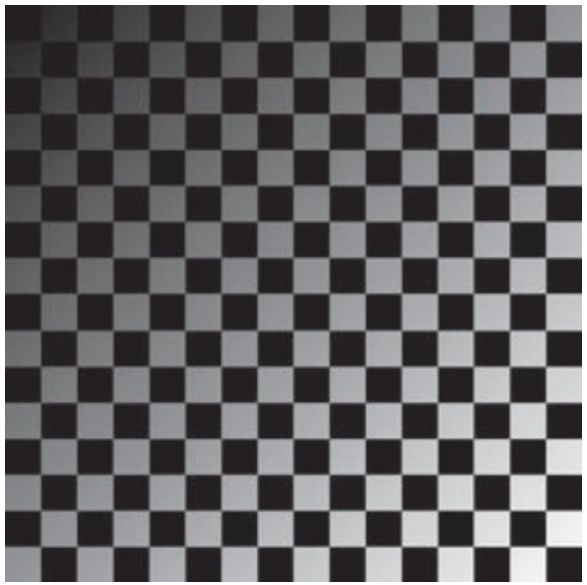




حذف سایه

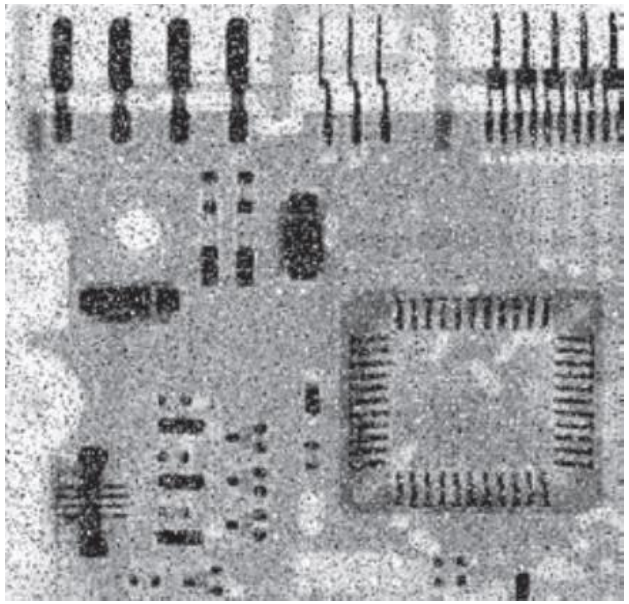
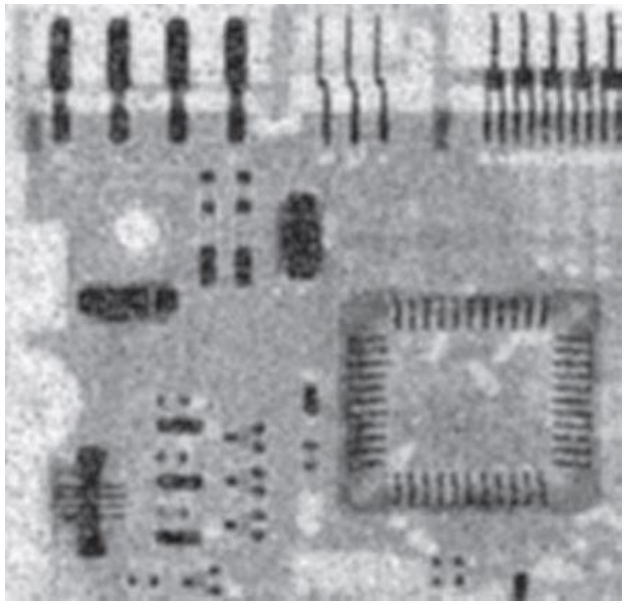
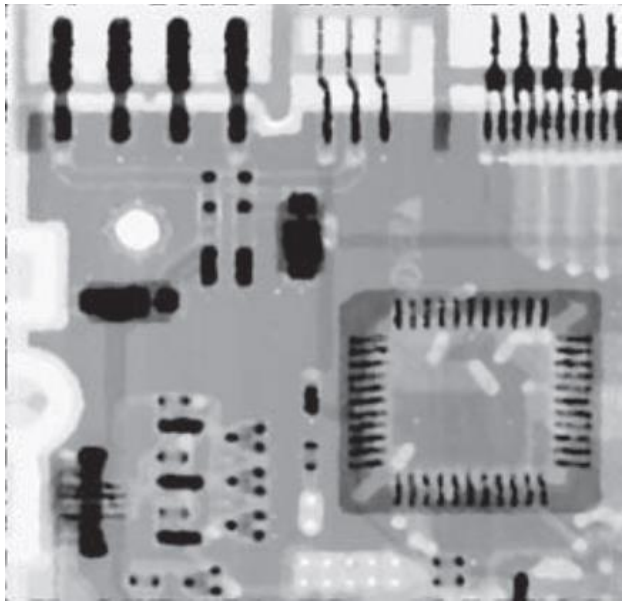
- نورپردازی غیریکنواخت یکی از چالش‌های بینایی کامپیوتر است
- شدت روشنایی محیط معمولا تغییرات کندی دارد
- با یک فیلتر پائین‌گذر می‌توان سایه تصویر را تخمین زد
- با تقسیم دو تصویر، اثر سایه کاهش می‌یابد





نویز نمک و فلفل

- این نوع نویز برخلاف نویزهای بررسی شده، جمع‌شونده نیست
- فیلترهای هموارساز خطی نمی‌توانند این نوع نویز را به خوبی برطرف کنند
- فیلترهای مرتبه‌ای می‌توانند عملکرد بهتری داشته باشند

فیلتر میانه

- فیلتر میانه یک فیلتر غیرخطی است که بر اساس مرتب‌سازی پیکسل‌های درون کرنل و جایگزینی مقدار میانه بجای پیکسل مرکزی عمل می‌کند

	10	11	15	8	7
	7	10	50	12	10
	9	14	12	13	11
	10	16	14	15	14
	8	11	10	10	9

		11	12	12	
		12	14	13	
		11	13	12	

فیلترهای تیزکننده

- برخلاف هموارسازی تصویر، اساس کار تیز کردن تصویر بر برجسته‌سازی جزئیات کوچک در تصویر است
- از آنجائیکه متوسط‌گیری معادل با انتگرال‌گیری است، می‌توان نتیجه گرفت که تیز کردن تصویر را می‌توان توسط مشتق‌گیری که معادل با تفاضل است بدست آورد
- بنابراین، لبه‌ها و البته دیگر گسستگی‌ها نظیر نویز نیز برجسته خواهند شد

مشتق تصویر

- سری تیلور

$$f(x+\Delta x) = f(x) + \Delta x \frac{\partial f(x)}{\partial x} + \frac{(\Delta x)^2}{2!}\frac{\partial^2 f(x)}{\partial x^2} + \frac{(\Delta x)^3}{3!}\frac{\partial^3 f(x)}{\partial x^3} + \cdots$$

- در تصویر $\Delta x = 1$ است

$$f(x+1) = f(x) + \frac{\partial f(x)}{\partial x} + \frac{1}{2!}\frac{\partial^2 f(x)}{\partial x^2} + \frac{1}{3!}\frac{\partial^3 f(x)}{\partial x^3} + \cdots$$

- تقریب یک جمله

$$f(x+1) \approx f(x) + \frac{\partial f(x)}{\partial x}$$

$$\boxed{\frac{\partial f(x)}{\partial x} \approx f(x+1) - f(x)}$$

مشتق تصویر

- سری تیلور

$$f(x+\Delta x) = f(x) + \Delta x \frac{\partial f(x)}{\partial x} + \frac{(\Delta x)^2}{2!}\frac{\partial^2 f(x)}{\partial x^2} + \frac{(\Delta x)^3}{3!}\frac{\partial^3 f(x)}{\partial x^3} + \cdots$$

- به ازای $\Delta x = -1$

$$f(x-1) = f(x) - \frac{\partial f(x)}{\partial x} + \frac{1}{2!}\frac{\partial^2 f(x)}{\partial x^2} - \frac{1}{3!}\frac{\partial^3 f(x)}{\partial x^3} + \cdots$$

- تقریب یک جمله

$$f(x-1) \approx f(x) - \frac{\partial f(x)}{\partial x}$$

$$\boxed{\frac{\partial f(x)}{\partial x} \approx f(x) - f(x-1)}$$

مشتق تصویر

- سری تیلور

$$f(x+\Delta x) = f(x) + \Delta x \frac{\partial f(x)}{\partial x} + \frac{(\Delta x)^2}{2!}\frac{\partial^2 f(x)}{\partial x^2} + \frac{(\Delta x)^3}{3!}\frac{\partial^3 f(x)}{\partial x^3} + \cdots$$

- تفاضل $\Delta x = +1$ از $\Delta x = -1$

$$f(x+1) - f(x-1) = 2\frac{\partial f(x)}{\partial x} + \frac{2}{3!}\frac{\partial^3 f(x)}{\partial x^3} + \cdots$$

- تقریب یک جمله

$$f(x+1) - f(x-1) \approx 2\frac{\partial f(x)}{\partial x}$$

$$\boxed{\frac{\partial f(x)}{\partial x} \approx \frac{f(x+1) - f(x-1)}{2}}$$

مشتق تصویر

- سری تیلور

$$f(x+\Delta x) = f(x) + \Delta x \frac{\partial f(x)}{\partial x} + \frac{(\Delta x)^2}{2!}\frac{\partial^2 f(x)}{\partial x^2} + \frac{(\Delta x)^3}{3!}\frac{\partial^3 f(x)}{\partial x^3} + \cdots$$

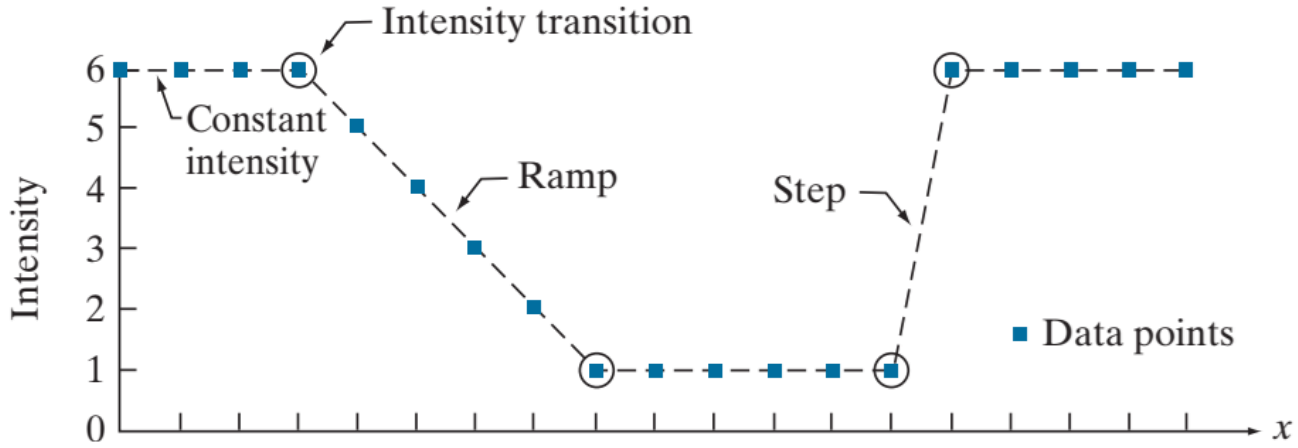
- مشتق مرتبه ۲

$$f(x+1) + f(x-1) = 2f(x) + \frac{2}{2!}\frac{\partial^2 f(x)}{\partial x^2} + \cdots$$

- تقریب یک جمله

$$f(x-1) + f(x-1) \approx 2f(x) + \frac{\partial^2 f(x)}{\partial x^2}$$

$$\boxed{\frac{\partial^2 f(x)}{\partial x^2} \approx f(x+1) + f(x-1) - 2f(x)}$$


Intensity transition
Constant intensity
Ramp
Step
Data points
Intensity
6
5
4
3
2
1
0
x

مشتق تصویر

- تصویر یک سیگنال دوبعدی است که مشتق آن نسبت به هر جهت قابل محاسبه است

$$\frac{\partial f(x,y)}{\partial x} \approx \frac{f(x+1,y) - f(x-1,y)}{2}$$

$$\frac{\partial f(x,y)}{\partial y} \approx \frac{f(x,y+1) - f(x,y-1)}{2}$$

$$\frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial x^2} \approx f(x+1,y) - 2f(x,y) + f(x-1,y)$$

$$\frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial y^2} \approx f(x,y+1) - 2f(x,y) + f(x,y-1)$$

لاپلاسین تصویر

$$\Delta^2 f(x,y) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$$

$$\Delta^2 f(x,y) \approx f(x,y+1) - 2f(x,y) + f(x,y-1) +$$
$$f(x+1,y) - 2f(x,y) + f(x-1,y)$$

- نمایش کرنلی
- می‌توان مشتق در جهت‌های قطری را نیز اضافه کرد

0	1	0
1	−4	1
0	1	0

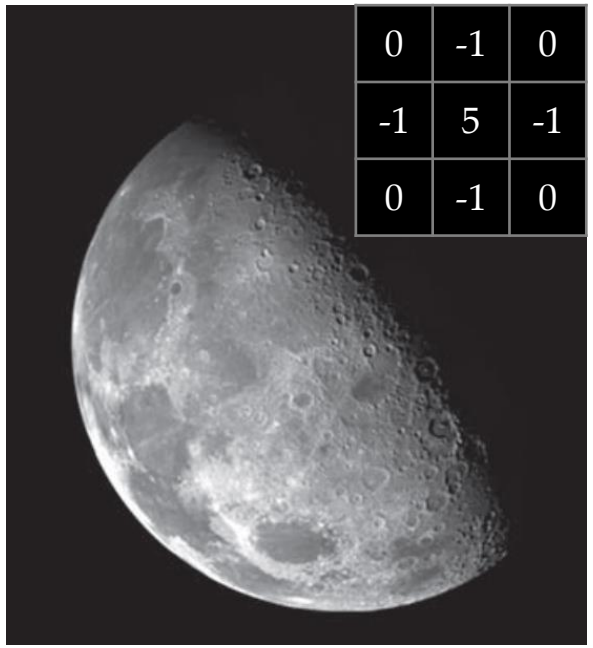
1	1	1
1	−8	1
1	1	1

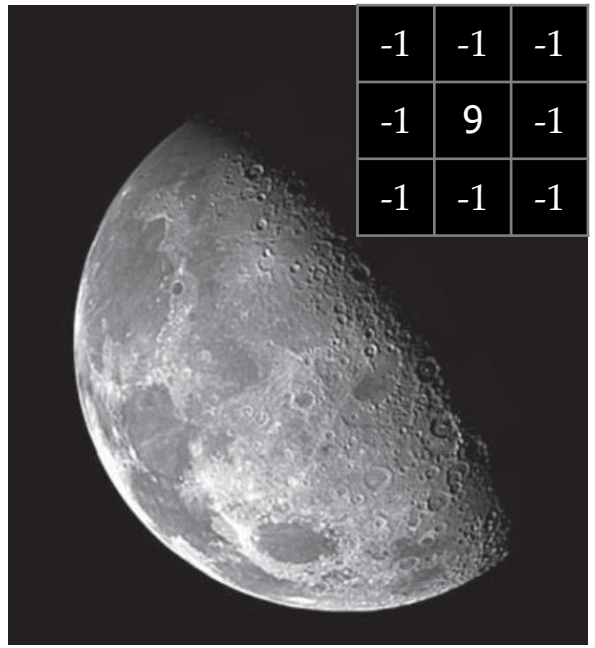
لاپلاسین تصویر

$$\Delta^2 f(x,y) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$$

- لاپلاسین تغییرات شدت روشنایی را برجسته می‌کند
- تقویت پیکسل‌هایی که تغییرات دارند موجب تیز شدن تصویر می‌شود

$$g(x,y) = f(x,y) + c\,\Delta^2 f(x,y)$$





پردازش تصویر در حوزه فرکانس

Image Processing in Frequency Domain

تبدیلات تصویر

- تبدیل تصویر به معنای انتقال تصویر از فضای اصلی به فضای نگاشت (مانند فرکانس) است
- هدف از تبدیل تصویر دستیابی به مشخصه‌هایی از تصویر است که در فضای نگاشت مشخص‌تر هستند
- یک تبدیل باید دارای خصوصیات زیر باشد:
  - توانایی بازسازی و بازیابی سیگنال اولیه وجود داشته باشد
  - پایدار باشد