پردازش تصاویر دیجیتالی

فصل پنجم: ترمیم و بازسازی تصویر

موضوعات فصل

- مقدمه
- مدل خرابی
- کاهش نویز در تصویر
- حذف خرابی در حالت عدم وجود نویز
- حذف خرابی در حضور نویز
- بازسازی تصویر

مقدمه

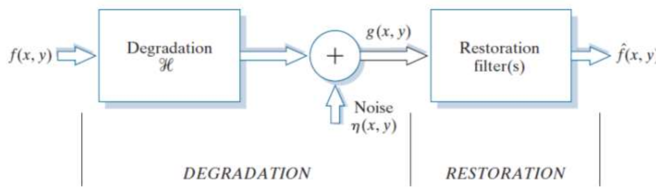
- ترمیم تصویر در مقابل بهبود تصویر
- **بهبود :**
  - لزومی به داشتن دانش پیشین در مورد عامل خرابی تصویر نیست (در بعضی موارد اصلاً خرابی وجود ندارد)
  - رویه‌ها اکتشافی هستند و از جنبه‌های روان بصری سیستم بینایی انسان استفاده می‌کنند
- **ترمیم :**
  - تصاویر خراب شده‌اند
  - با استفاده از دانشی که نسبت به عامل خرابی وجود دارد سعی در بازیابی تصاویر دارد

مدل خرابی

- دو نوع خرابی
  - نویز جمع شونده : تکنیک‌های ترمیم در حوزه مکان ترجیح داده می‌شوند (de-noising)
  - محوشدگی تصویر : روشهای حوزه فرکانس ترجیح داده می‌شوند
- فرایند خرابی را با تابع خرابی $h(x,y)$ و یک عبارت نویز جمع شونده $\eta(x,y)$ به این صورت $g(x,y)=h(x,y)*f(x,y)+ \eta(x,y)$ مدل می‌کنیم
  - $f(x,y)$ تابع ورودی بدون عامل هیچگونه خرابی است
  - $g(x,y)$تصویر خراب شده است
  - $*$ نشاندهنده‌ی عملگر کانولوشن است
  - هدف بدست آوردن تخمینی از $f(x,y)$ با توجه به دانشی در مورد تابع خرابی h و نویز جمع شونده η است
  - در حوزه‌ی فرکانس: $G(u,v)=H(u,v)F(u,v)+N(u,v)$
- سه حالت در این فصل پوشش داده شده است
  - $g(x,y)=f(x,y)+ \eta(x,y)$
  - $g(x,y)=h(x,y)*f(x,y)$
  - $g(x,y)=h(x,y)*f(x,y)+\eta(x,y)$

مدل خرابی

FIGURE 5.1 A model of the image degradation/restoration process.



کاهش نویز

- ابتدا فقط خرابی ناشی از نویز در نظر می‌گیریم:
  h فعلاً یک impulse است (H ثابت است)
- نویز سفید
  - تابع خود همبستگی یک تابع ضربه است که در یک مقدار ثابت ضرب شده است.

$$a(x,y)=\sum_{t=0}^{N-1}\sum_{s=0}^{M-1}\eta(s,t)\cdot\eta(s-x,t-y)=N_0\delta(x,y)$$

به این معنی که در تصویر نویز هیچ دو پیکسل با یکدیگر همبستگی ندارند.
هیچ راهی برای پیش بینی مقدار بعدی نویز وجود ندارد

- نویز(تصویر) را می توان بر اساس توزیع مقادیر پیکسل‌های آن (در تصویر نویز) یا هیستوگرام (نرمالیزه شده) آن طبقه‌بندی کرد.

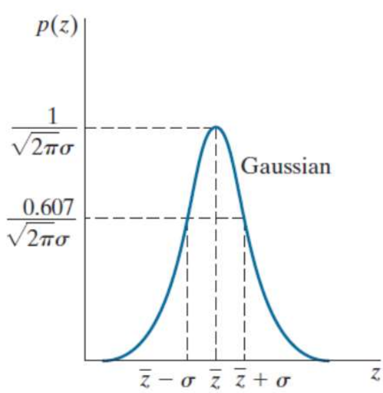
کاهش نویز– نویز گوسی

- نویز گوسی بوسیله دو پارامتر میانگین μ و واریانس σ^2 توصیف می‌شود

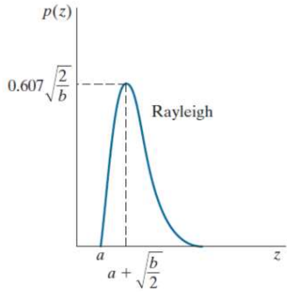
$$p(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(z-\mu)^2/2\sigma^2}$$

- %70 مقادیر z در بازه‌ی $[(\mu-\sigma),(\mu+\sigma)]$ قرار می‌گیرند.
- %95 مقادیر z در بازه‌ی $[(\mu-2\sigma),(\mu+2\sigma)]$ قرار می‌گیرند.

کاهش نویز– نویز گوسی



کاهش نویز– نویز رایلی (Rayleigh)



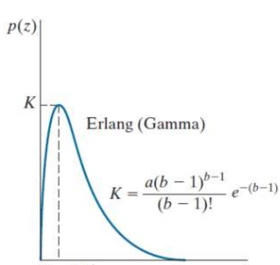
$$p(z)=\begin{cases}\frac{2}{b}(z-a)e^{-(z-a)^2/b} & \text{for } z \ge a\\ 0 & \text{for } z < a\end{cases}$$

- میانگین و واریانس این توزیع به این صورت داده شده‌اند:

$$\mu = a+\sqrt{\pi b/4} \text{ and } \sigma^2 = \frac{b(4-\pi)}{4}$$

- پارامترهای a و b را می‌توان از روی میانگین و واریانس بدست آورد

کاهش نویز– نویز ارلانگ یا گاما (Erlang)



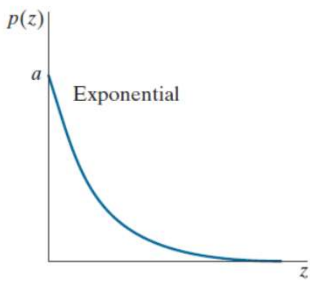
$$p(z)=\begin{cases}\frac{a^b z^{b-1}}{(b-1)!}e^{-az} & \text{for } z \ge 0\\ 0 & \text{for } z < 0\end{cases}$$

- میانگین و واریانس این توزیع به این صورت داده شده‌اند:

$$\mu = b/a \text{ and } \sigma^2 = \frac{b}{a^2}$$

- پارامترهای a و b را می‌توان از روی میانگین و واریانس بدست آورد

کاهش نویز– نویز نمایی



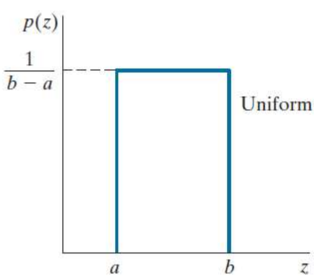
$$p(z)=\begin{cases} ae^{-az} & \text{for } z\geq 0 \\ 0 & \text{for } z<0 \end{cases}$$

- میانگین و واریانس این توزیع به این صورت داده شده‌اند:

$$\mu = 1/a \ \text{ and } \sigma^2 = \frac{1}{a^2}$$

- حالت خاصی از توزیع ارلانگ با b=1

کاهش نویز– نویز یکنواخت



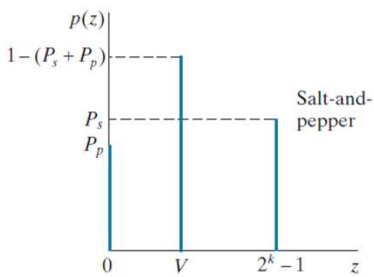
$$p(z)=\begin{cases} \dfrac{1}{b-a} & \text{if } \ a\leq z\leq b \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

- میانگین و واریانس این توزیع به این صورت داده شده‌اند:

$$\mu = (a+b)/2 \ \text{ and } \sigma^2 = \frac{(b-a)^2}{12}$$

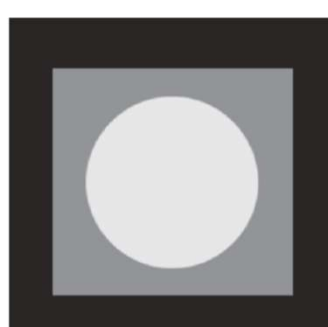
کاهش نویز– نویز ضربه (نمک و فلفل)

- اگر هر کدام از مقادیر Ps یا Pp صفر باشند نویز ضربه تک قطبی نامیده می‌شود.
- s و p معمولاً مقادیر نهایی در نظر گرفته می‌شوند چرا که میزان خرابی ضربه‌ای معمولاً با قدرت سیگنال تصویر سنجیده می‌شود.
- تنها نوع نویزی است که با چشم قابل تشخیص است.

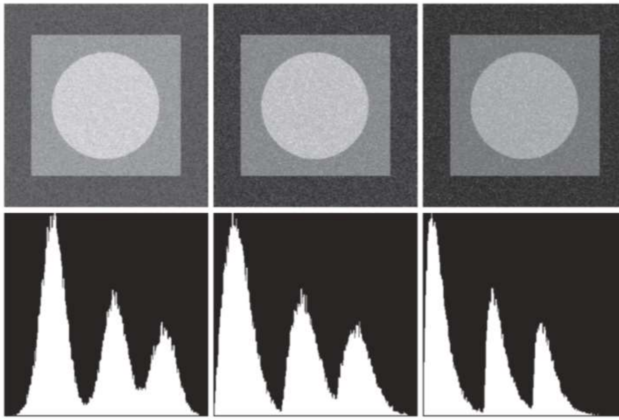


کاهش نویز- افزودن نویز به تصویر

FIGURE 5.3
Test pattern used to illustrate the characteristics of the PDFs from Fig. 5.2.



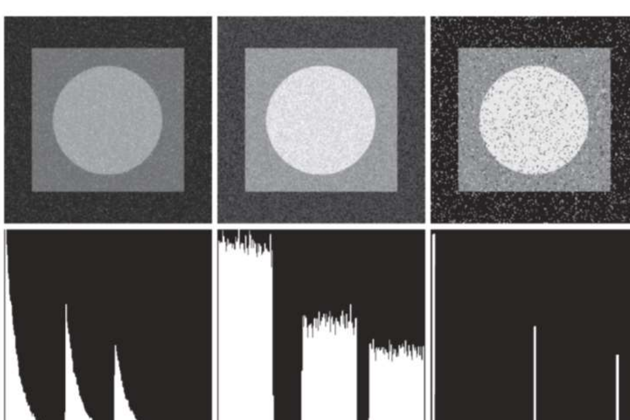
کاهش نویز- افزودن نویز به تصویر



a b c
d e f

FIGURE 5.4 Images and histograms resulting from adding Gaussian, Rayleigh, and Erlanga noise to the image in Fig. 5.3.

کاهش نویز- افزودن نویز به تصویر

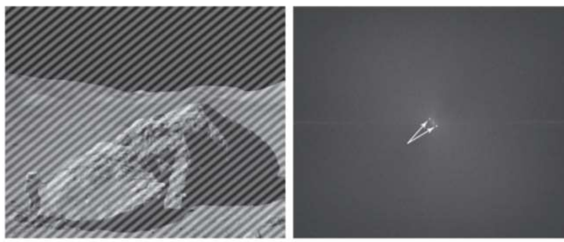


g h i
j k l

FIGURE 5.4 (*continued*) Images and histograms resulting from adding exponential, uniform, and salt-and-pepper noise to the image in Fig. 5.3. In the salt-and-pepper histogram, the peaks in the origin (zero intensity) and at the far end of the scale are shown displaced slightly so that they do not blend with the page background.

کاهش نویز- افزودن نویز پریودیک به تصویر

- این نویز از تداخلات الکتریکی یا الکترومغناطیسی در طی فرایند اخذ تصویر ایجاد می‌شود
- هم در حوزه‌ی مکان و هم در حوزه‌ی فرکانس با بررسی چشمی قابل مشاهده است
- تنها نویز وابسته به مکان تلقی می‌شود.



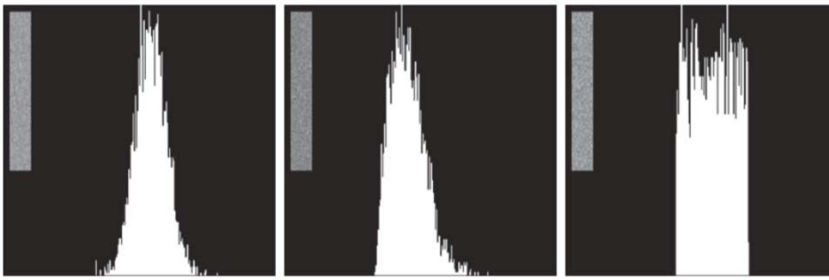
a b
FIGURE 5.5 (a) Image corrupted by additive sinusoidal noise. (b) Spectrum showing two conjugate impulses caused by the sine wave. (Original image courtesy of NASA.)

کاهش نویز- شناسایی نویز

- نویز پریودیک:
  - پارامترها با وارسی در فضای فرکانس انجام می‌شود
- تابع چگالی احتمال نویز:
  - بر اساس مدل کردن: مشخصات حسگر
  - بر اساس آزمایش: در صورت در دسترس بودن دوربین، تهیه تصاویری از یک صحنه یکنواخت
  - بر اساس مشاهده: اگر تنها تصویر نویزی در دسترس است، انتخاب بخشی از تصویر که مربوط به یک صحنه یکنواخت باشد

کاهش نویز - شناسایی نویز

- انتخاب بخشی از تصویر:



a b c

FIGURE 5.6 Histograms computed using small strips (shown as inserts) from (a) the Gaussian, (b) the Rayleigh, and (c) the uniform noisy images in Fig. 5.4.

کاهش نویز - تخمین پارامترهای نویز

- در بیشتر موارد، فقط نیاز به تخمین میانگین و واریانس است. و بقیه پارامترها را می‌توان با استفاده از میانگین و واریانس تخمین زد
- فرض کنید یک زیر تصویر با صحنه‌ای ساده در دسترس است و با S نشان داده می‌شود:

$$\hat{\mu} = \frac{1}{N_S} \sum_{(x_i, y_i) \in S} z(x_i, y_i)$$

$$\hat{\sigma}_0{}^2 = \frac{1}{N_S} \sum_{(x_i, y_i) \in S} (z(x_i, y_i) - \mu)^2$$

$$\hat{\sigma}_1{}^2 = \frac{1}{N_S} \sum_{(x_i, y_i) \in S} (z(x_i, y_i) - \hat{\mu})^2$$

ترمیم تصویر در حضور فقط نویز– فیلترهای میانگین

- فیلتر میانگین حسابی
  - g(x,y) تصویر خراب شده و $S_{x,y}$ ماسک است
- فیلتر میانگین هندسی
  - جزئیات بیشتری را حفظ می‌کند
- فیلتر میانگین هارمونیک
  - برای نویز نمک خوب کار می‌کند اما برای نویز فلفل بد جواب می‌دهد
- فیلتر میانگین کنترا هارمونیک
  - Q: مرتبه‌ی فیلتر
  - Q مثبت برای نویز فلفل کار می‌کند
  - Q منفی برای نویز نمک کار می‌کند
  - Q=0 ← فیلتر میانگین حسابی
  - Q=-1 ← فیلتر میانگین هارمونیک

$$\hat{f}(x,y)=\frac{1}{mn}\sum_{(s,t)\in S_{x,y}} g(s,t)$$

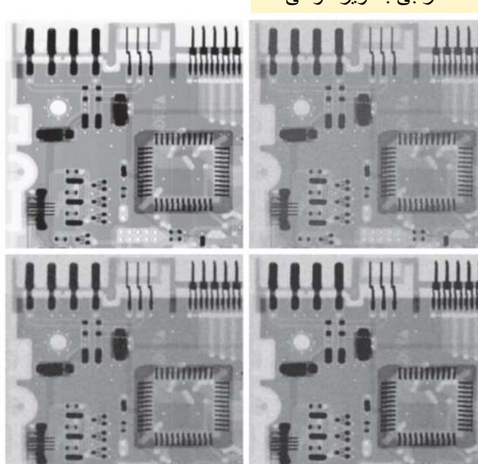
$$\hat{f}(x,y)=\left[\prod_{(s,t)\in S_{x,y}} g(s,t)\right]^{\frac{1}{mn}}$$

$$\hat{f}(x,y)=\frac{mn}{\sum_{(s,t)\in S_{x,y}} \frac{1}{g(s,t)}}$$

$$\hat{f}(x,y)=\frac{\sum_{(s,t)\in S_{x,y}} g(s,t)^{Q+1}}{\sum_{(s,t)\in S_{x,y}} g(s,t)^{Q}}$$

ترمیم تصویر در حضور فقط نویز– فیلترهای میانگین

خرابی با نویز گوسی



a b
c d

FIGURE 5.7 (a) X-ray image of circuit board. (b) Image corrupted by additive Gaussian noise. (c) Result of filtering with an arithmetic mean filter of size 3 × 3. (d) Result of filtering with a geometric mean filter of the same size. (Original image courtesy of Mr. Joseph E. Pascente, Lixi, Inc.)

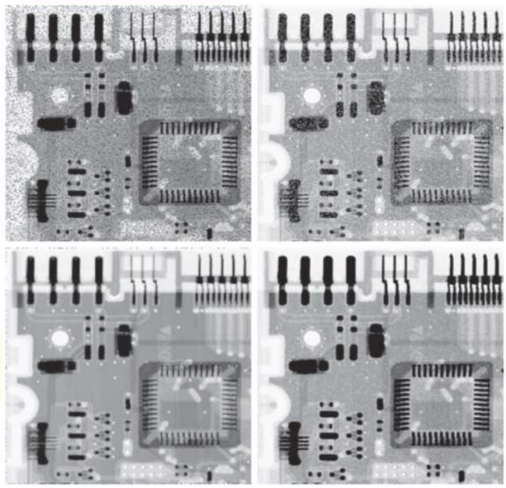
فیلتر میانگین

فیلتر میانگین هندسی

ترمیم تصویر در حضور فقط نویز – فیلترهای میانگین

خراب شده با نویز فلفل

خراب شده با نویز نمک



a b
c d

FIGURE 5.8
(a) Image corrupted by pepper noise with a probability of 0.1. (b) Image corrupted by salt noise with the same probability. (c) Result of filtering (a) with a 3×3 contraharmonic filter $Q = 1.5$. (d) Result of filtering (b) with $Q = -1.5$.

3x3 کنتراهارمونیک
Q=1.5

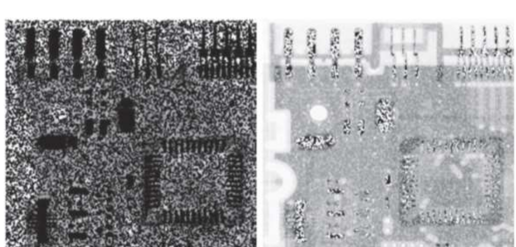
3x3 کنتراهارمونیک
Q=-1.5

ترمیم تصویر در حضور فقط نویز – فیلترهای میانگین

- انتخاب نادرست Q

خراب شده با نویز فلفل

خراب شده با نویز نمک



a b

FIGURE 5.9
Results of selecting the wrong sign in contraharmonic filtering. (a) Result of filtering Fig. 5.8(a) with a contraharmonic filter of size 3×3 and $Q = -1.5$. (b) Result of filtering Fig. 5.8(b) using $Q = 1.5$.

3x3 کنتراهارمونیک
Q=-1.5

3x3 کنتراهارمونیک
Q=1.5

ترمیم تصویر در حضور فقط نویز– فیلترهای مرتبه آماری

- فیلتر میانه

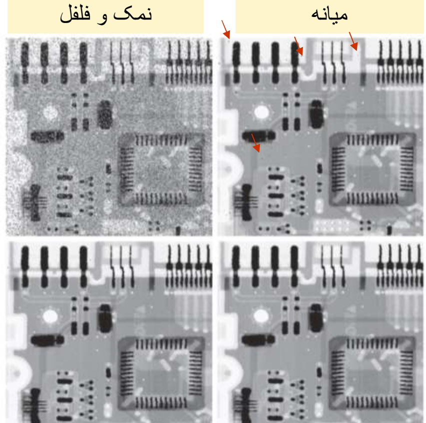
$$\hat{f}(x,y) = \underset{(s,t)\in S_{x,y}}{\text{median}}\{g(s,t)\}$$

  - میانه نشاندهندهی عنصر وسط مجموعهی مرتب شده از اعداد است
- فیلترهای ماکزیمم و مینیمم
  - ماکزیمم بزرگترین عنصر مجموعهی مرتب شده از اعداد است و برای رفع نویز فلفل مناسب است
  - مینیمم کوچکترین عنصر مجموعهی مرتب شده از اعداد است و برای رفع نویز نمک مناسب است
- فیلتر نقطهی میانی

$$\hat{f}(x,y) = \frac{1}{2}\left[\max_{(s,t)\in S_{xy}}\{g(s,t)\} + \min_{(s,t)\in S_{xy}}\{g(s,t)\}\right]$$

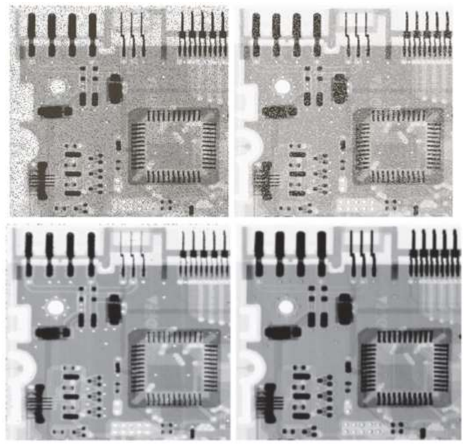
- برای نویز هایی با تابع چگالی احتمال متقارن مانند گاوسی خوب جواب میدهد

ترمیم تصویر در حضور فقط نویز– فیلترهای مرتبه آماری



a b
c d
FIGURE 5.10 (a) Image corrupted by salt-and-pepper noise with probabilities $P_s = P_p = 0.1$. (b) Result of one pass with a median filter of size 3×3. (c) Result of processing (b) with this filter. (d) Result of processing (c) with the same filter.

ترمیم تصویر در حضور فقط نویز– فیلترهای مرتبه آماری



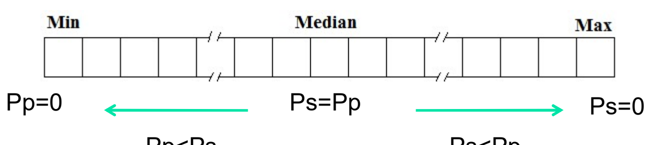
a b
FIGURE 5.11
(a) Result of filtering Fig. 5.8(a) with a max filter of size 3×3.
(b) Result of filtering Fig. 5.8(b) with a min filter of the same size.

استفاده از فیلتر ماکزیمم

استفاده از فیلتر مینیمم

ترمیم تصویر در حضور فقط نویز– فیلترهای مرتبه آماری

- فیلتر آماری مناسب برای پوشش هر سه فیلتر میانه، ماکزیمم و مینیمم
  - بجای استفاده از عنصر اول، میانه و یا آخر در اعداد مرتب شده، انتخاب عدد بر اساس احتمال وقوع نویزهای نمک و فلفل انتخاب شود.



  - برای یک فیلتر nxn آماری، بهترین نمونه در نمونه‌های مرتب شده (مینیمم با 1 و ماکزیمم با n^2 مشخص می‌شود) عبارتست از:

$$s = Round\left(\left(\frac{P_p}{P_s + P_p}\right).(n^2 - 1) + 1\right)$$

- فیلتر میانه وزن‌دار
  - در این فیلتر، هر پیکسل متناسب با فاصله از مرکز چند بار تکرار می‌شود. مجموعه داده‌های تولید شده مرتب و میانه آن به عنوان نتیجه‌ی اعمال فیلتر استفاده می‌شود.

- فیلتر میانگین Alpha-trimmed پس از حذف پیکسل‌های با d/2 مقدار کمترین سطح خاکستری و d/2 پیکسل‌هایی با مقدار بیشترین سطح خاکستری میانگین پیکسل‌هایی را که در ماسک m×n محدود شده‌اند را بدست می‌آورد.

$$\hat{f}(x,y)=\frac{1}{mn-d}\sum_{(s,t)\in S_{xy}} g_r(s,t)$$

$g_r(s,t)$ نشاندهنده ی mn-d پیکسل باقیمانده است

  - در مواقعی که نویز شامل چند نوع نویز مثلاً ترکیبی از نویز نمک و فلفل و گاوسین است