



Technical University of Cluj - Napoca
Computer Science Department

Procesarea Imaginilor

Curs 9:

Prelucrari pe imagini multinivel (grayscale) (IV)

Zgomote in imagini digitale. Modelarea si eliminarea lor.



Definitia zgomotului

Zgomot := Orice proces (n) care afecteaza imaginea (f) si nu face parte din scena (semnalul initial - s):

$$f(i,j) = s(i,j) + n(i,j) \text{ (modelul zgomotului aditiv)}$$

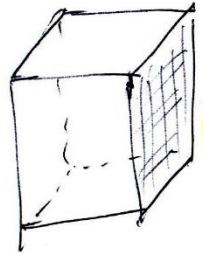
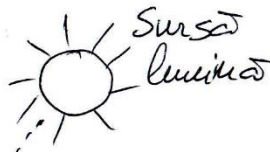
Cauze:

1. Natura discreta radiatiei
2. Sensibilitatea detectorului (sensibilitate variabila a elementelor din senzorul CCD/CMOS \Rightarrow fixed pattern noise (dark current noise (DCN) & photon response nonuniformity (PhRNU))
3. *Zgomot electric*
4. *Erori de transmisie a datelor*
5. *Turbulente atmosferice*
6. *Rezolutia senzorului (cuantizarea spatiala)*
7. *Digitizarea semnalului video (cuantizarea nivelelor de culoare / intensitate)*

Tipuri de zgomot (in functie de forma FDP $p(g)$):

- **Salt&pepper (sare si piper)**
- **Uniform**
- **Gaussian**
- *Alte distributii: Rayleigh, Erlang/Gamma, Exponential etc.*

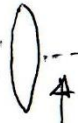
Obiect



$s(i,j)$

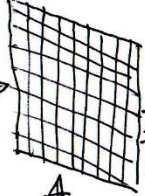
⑤

Lețivă



①

Senzor



②

⑥

Amplificator
semnal

③

semnal
electric

semnal
electric
amplificat

⑦

CAD

④

semnal
digital

Sistem
de calcul / procesor

Mem

$f(i,j)$



$u(i,j)$

$s(i,j)$ - semnal initial (lumina reflectată de pe obiectul în scenă)

$f(i,j)$ - semnalul (imaginea digitală) memorat în sistemul de calcul

$u(i,j)$ - zgomot : procese care se interpun ① + ② + ... + ⑦

① Natura discretă a radiației

② Sensibilitatea variabilă a elementelor / pixelilor din senzor.

③ Zgomotul electric

④ Erori de transmisie a datelor.

⑤ Turbulențe atmosferice

⑥ Rezoluția senzorului (culoarea
lețivă de cuantizare spațială)

⑦ Digitizarea semnalului
electric → semnal digital
(rezoluția de culoare / intensitate).



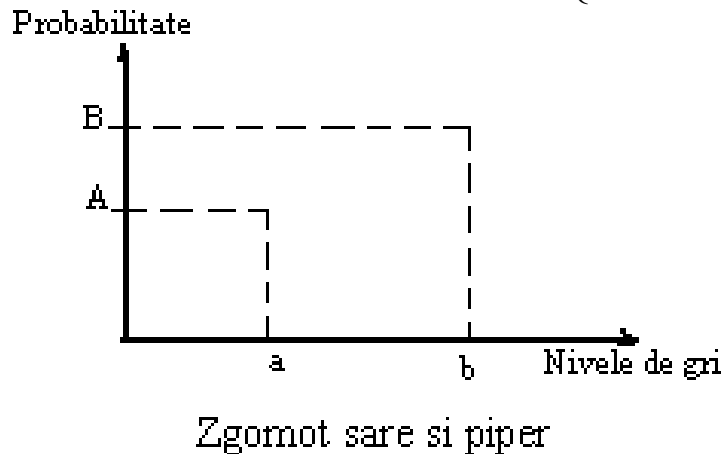
Zgomot Salt & Pepper (sare si piper)

Cauze

- functionarea proasta a celulelor din senzorii camerelor
- greseli ale locatiilor de memorie
- erori de sincronizare in procesul de digitizare
- erori (pierderi de biti) pe canalul de comunicatie in cazul transmisilor imaginilor (ex: transmisii prin satelit in conditi atmosferice proaste).

Model

$$FDP_{Sare\&peper} = \begin{cases} A & \text{pentru } g = a \text{ ("peper")} \\ B & \text{pentru } g = b \text{ ("sare")} \end{cases}$$



In modelul de zgomot de tip **salt & pepper** exista doar doua valori posibile, a si b. Din aceasta cauza se mai numeste si zgomot de tip impuls (speckle). Probabilitatea de aparitie a fiecaruia este mai mica de 0.1 → la valori mai mari decat acestea, zgomotul va domina imaginea. Pentru o imagine de 8 biti, valoare de intensitate tipica pentru *zgomotul peper* este ≈ 0 si pentru *zgomotul salt* este in jur de ≈ 255 .



Zgomot Salt & Pepper (sare si piper)



IMAGE PROCESSING



Zgomot Salt &Pepper (sare si piper)

Eliminarea zgomotului \Rightarrow Filtru median (neliniar)

- Se pun intensitatile din vecinatatea pixeluului current $Src(i,j)$ intr-o lista
- Se aplica o statistica ordonata asupra elementelor din lista (sorteaza crescator)
- Se inlocuieste intensitatea pixelului $Dst(i,j)$ cu valoarea elementului median din lista sortata.

Exemplu:

- Se da o fereastră de dimensiune 3x3 cu urmatoarele intensitati:
- Se pun intensitatite intr-o lista:

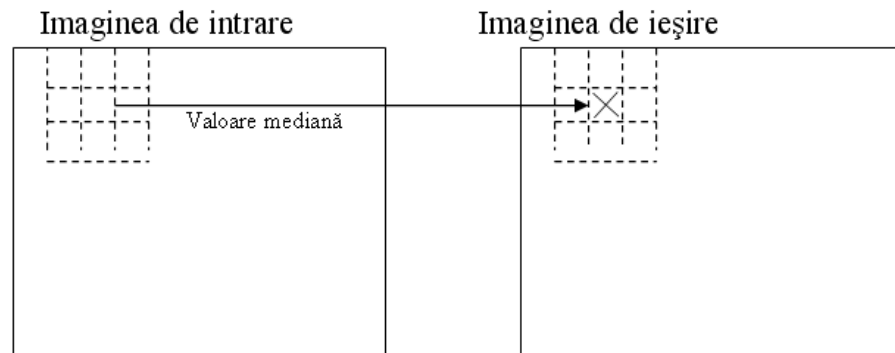
110	110	114
100	106	104
95	88	85

{ 110, 110, 114, 100, **106**, 104, 95, 88, 85} , $Src(i,j) = 106$

- Se aplica statistica ordonata asupra listei vecinilor :

{85, 88, 95, 100, **104**, 106, 110, 110, 114}

- $Dst(i,j) = 104$ (intensitatea elementului median din lista)





Zgomot uniform

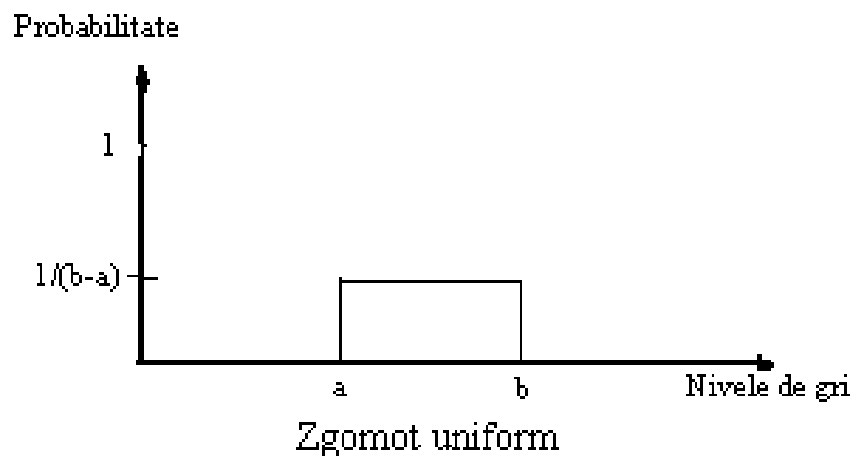
- Folosit pentru generarea oricarui alt tip de zgomot
- Folosit la degradarea imaginilor pentru evaluarea algoritmilor de restaurare (deoarece ofera un model de zgomot neutru)

Model

$$FDP_{Uniform} = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & , a \leq g \leq b \\ 0 & , \text{altfel} \end{cases}$$

Media: $\mu = (a+b)/2$

Vrianta: $\sigma^2 = (b-a)^2/12$



Cu distributia uniforma, valorile nivelelor de gri ale zgomotelor sunt distribuite intr-un domeniu specific, care poate fi intreg domeniul (0 - 255 pentru 8 biti), sau o portiune mai mica din acest domeniu [a ... b].



Zgomot uniform



IMAGE PROCESSING



Zgomot gaussian

- Folosit pentru modelarea proceselor naturale care introduc zgomote (ex: zgomotul electric din timpul procesului de achizitie)
- Folosit pentru a modela si zgomotul datorat naturii discrete a radiatiei si procesului de conversie in semnal electric (detector/shot noise). Acest zgomot se datoreaza procesului de masurare (elementele fotosensibile numar particule (photoni) care sunt guvernate de legi statistice). Pentru modelarea acestui zgomot ar trebui folosita o distributie **poisson**, $\frac{u^n \exp(-u)}{n!}$, dar cu aceasta este dificil de lucrat (matematic) \Rightarrow se aproximeaza printr-o distributie **gaussiana**

Model

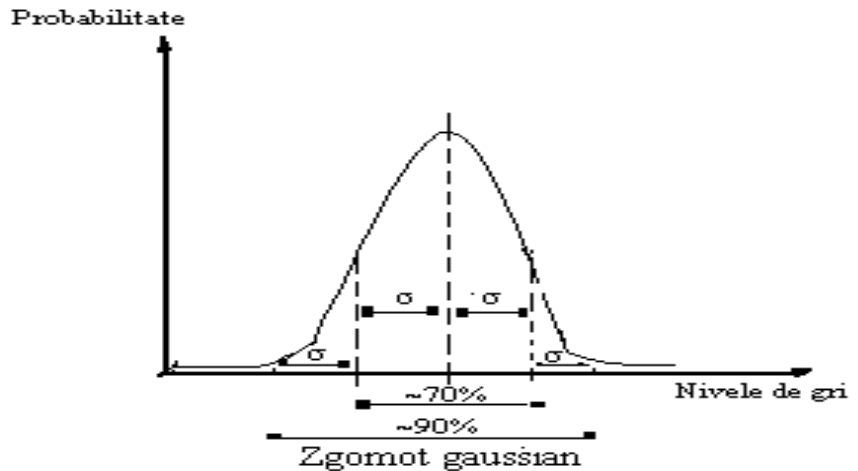
$$FDP_{Gaussian} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(g-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

unde:

g = nivel de gri;

μ = media zgomotului;

σ = deviatia standard a zgomotului;



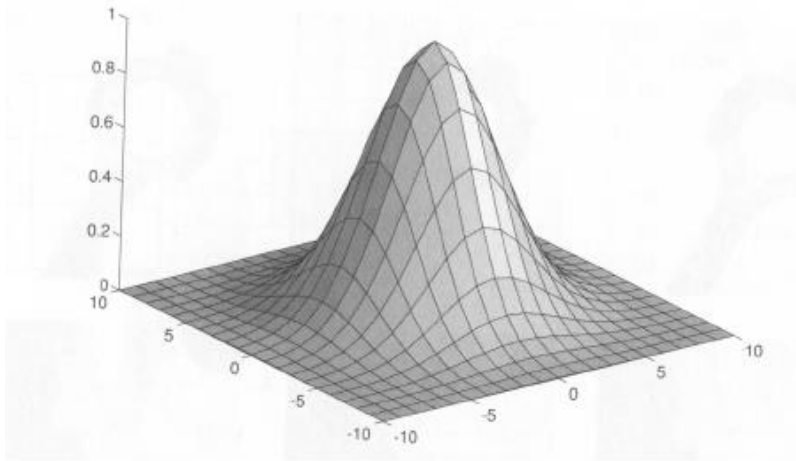


Zgomot gaussian





Calculul nucleului gaussian – cazul 2D

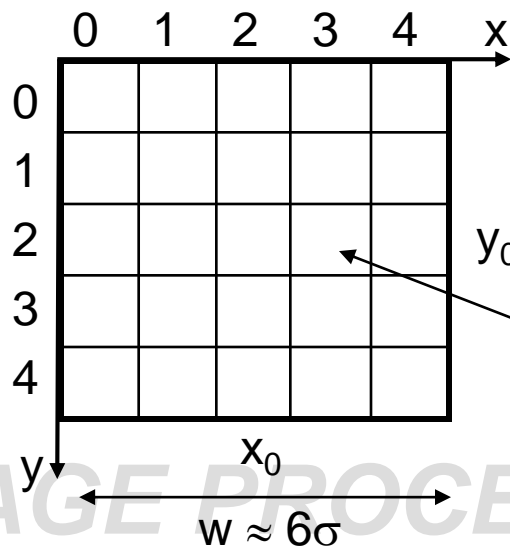


FDP pt. zgomot gaussian cu medie 0:

$$G(x,y) = G(x)G(y)$$

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}}$$

Proiectarea unui nucleu de convolutie gaussian pentru restaurarea imaginilor corupte de zgomot gaussian cu deviatie standard σ si dimensiune w (variabile) :



$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{((x - x_0)^2 + (y - y_0)^2)}{2\sigma^2}}$$



Calculul nucleului gaussian – cazul 2D

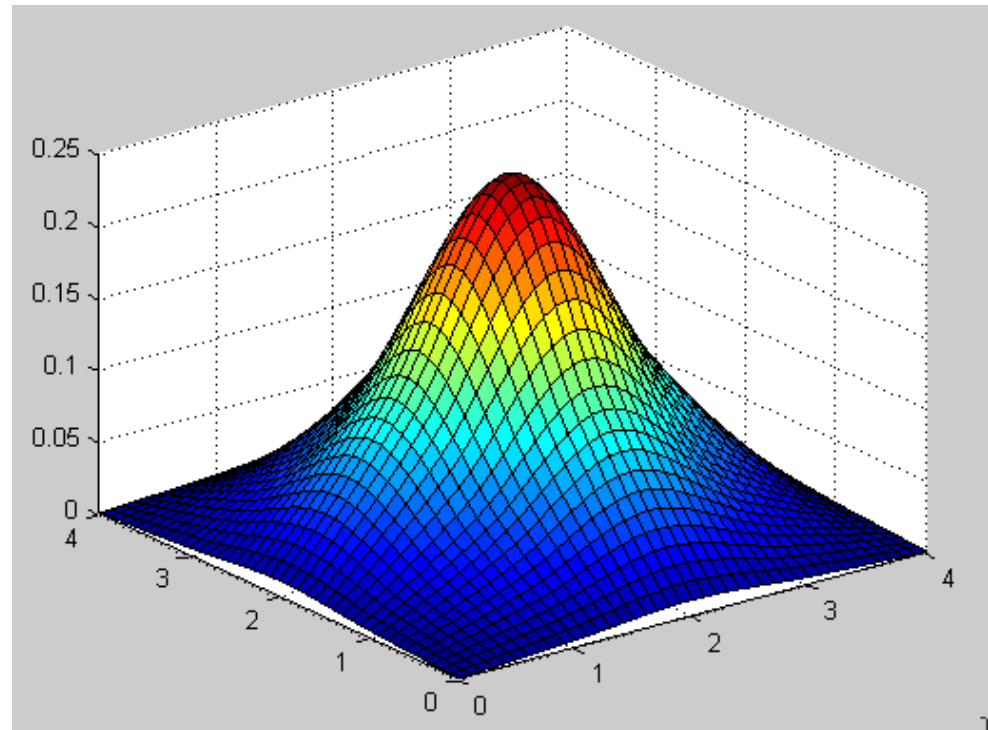
Exemplu Matlab

```
function [G]=gaussian(sigma);  
w=round(6*sigma);  
x0=floor(w/2)+1;  
y0=x0;  
sigma2=2*sigma*sigma;  
for x=1:w  
    for y=1:w  
        G(x,y)=1/(pi*sigma2)*exp(-((x-x0)*(x-x0)+(y-y0)*(y-y0))/sigma2);  
    end  
end  
[X,Y] = meshgrid(1:.1:w,1:.1:w);  
Z = interp2(G,X,Y,'cubic');  
x=1:0.1:5;  
y=1:0.1:5;  
surf(x,y,Z);
```

$$\sigma = 0.8 \Rightarrow w = 5$$

```
G =  
    0.0005    0.0050    0.0109    0.0050    0.0005  
    0.0050    0.0521    0.1139    0.0521    0.0050  
    0.0109    0.1139    0.2487    0.1139    0.0109  
    0.0050    0.0521    0.1139    0.0521    0.0050  
    0.0005    0.0050    0.0109    0.0050    0.0005
```

```
>> sum(sum(G))  
ans =  
    0.9982
```





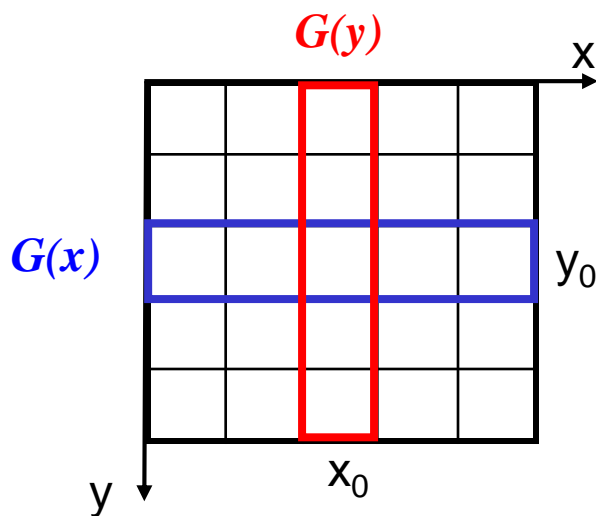
Eliminarea zgomotului gaussian

Filtrare in domeniul spatial (cu nuclee de convolutie)

$$I_D(x, y) = G(x, y) * I_S(x, y)$$

sau

$$I_D(x, y) = (G(x)G(y)) * I_S(x, y) = G(x) * (G(y) * I_S(x, y))$$



$$G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma^2}}$$

$$G(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(y-y_0)^2}{2\sigma^2}}$$

Filtrare in domeniul frecventelor (Transformata Fourier) – vezi C7 si C8



Determinarea prezentei zgomotului in imagine

Raportul semnal zgomot (Signal to Noise Ratio - SNR) [1]

Modelul zgomotului aditiv:

$$f(i,j) = s(i,j) + n(i,j) \quad (1)$$

n – medie zero ($\langle n(i,j) \rangle = 0$) si independent de semnal ($\langle s(i,j)n(i,j) \rangle = 0$)

$\Rightarrow \langle s(i, j) \rangle = \langle f(i, j) \rangle = \mu \Rightarrow$ Zgomotul afecteaza deviatia standard (varianta) dar nu afecteaza media imaginii

$$\sigma_f^2 = \langle |f - \langle f \rangle|^2 \rangle = \langle |f|^2 \rangle - \langle f \rangle^2 \quad (2)$$

Din (1) + (2) \Rightarrow

$$\begin{aligned} \sigma_f^2 &= \langle |s + n|^2 \rangle - \langle s + n \rangle^2 \\ &= \langle |s|^2 + |n|^2 + 2|s||n| \rangle - (\langle s \rangle + \langle n \rangle)^2 \\ &= \langle |s|^2 \rangle - \langle s \rangle^2 + \langle |n|^2 \rangle \\ &= \sigma_s^2 + \sigma_n^2 \end{aligned}$$

SNR > 20 Little visible noise

SNR \approx 10 Some noise visible

SNR \approx 4 Noise clearly visible

SNR \approx 2 Image severely degraded

SNR \approx 1 Is there an image?

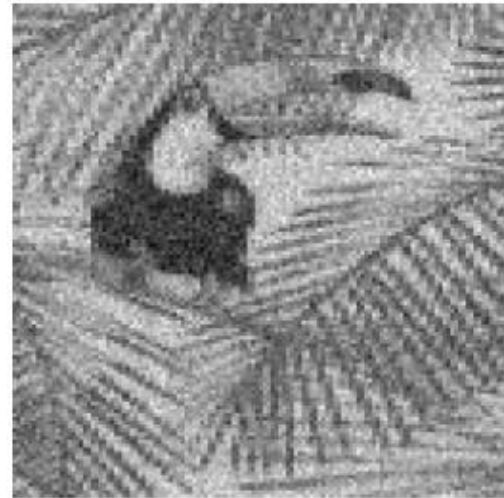
$$SNR = \frac{\sigma_s}{\sigma_n} = \sqrt{\frac{\sigma_f^2}{\sigma_n^2} - 1}$$



SNR – Exemple [1]:



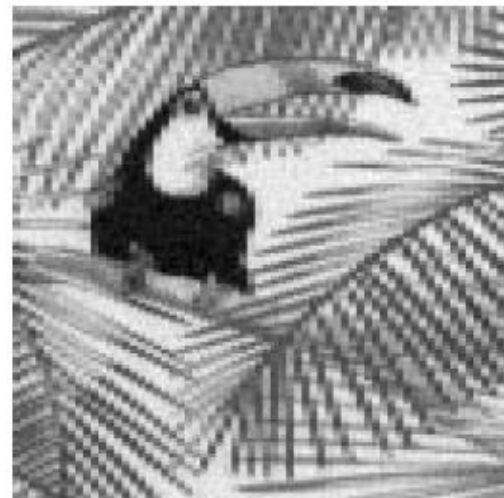
SNR = 1



SNR = 2



SNR = 4



SNR = 8

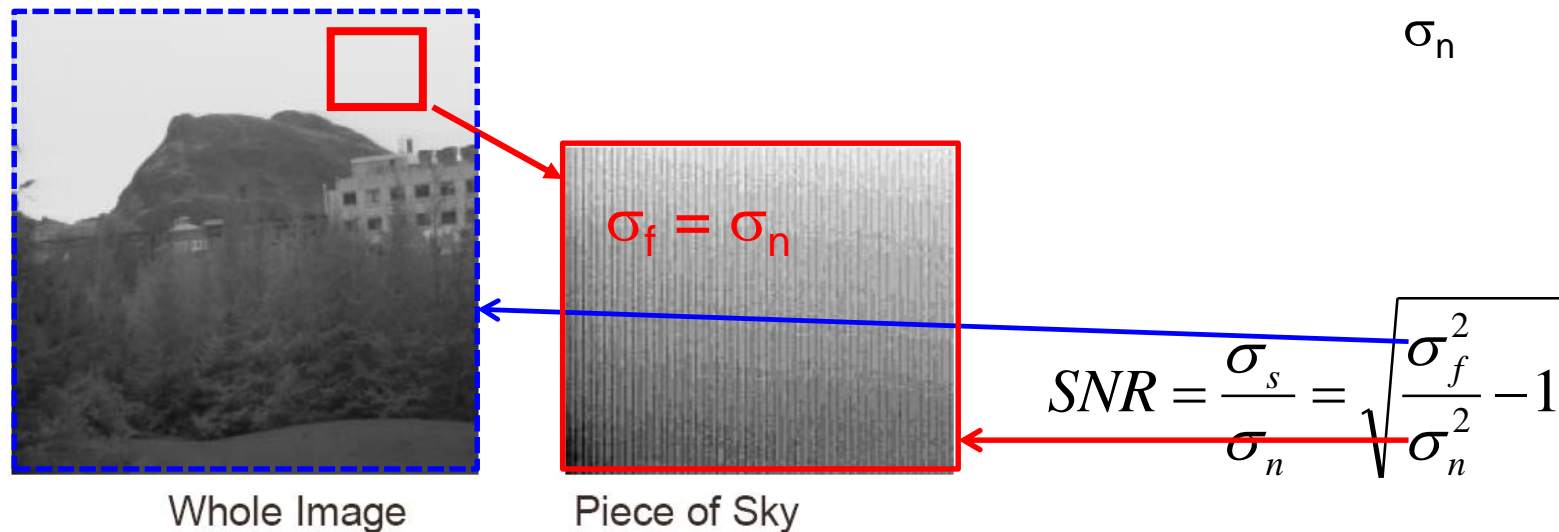


Calculul raportului semnal zgomot (SNR)

A. Dintr-o singura imagine

1. Se calculeaza σ_f pe toata imaginea ($f(i,j) = s(i,j) + n(i,j)$)
2. Se selecteaza o regiune cu intensitate uniforma $\sigma_s = 0$ (ex: zona de cer, apa, un perete uniform etc. si se calculeaza:

$$\sigma_f^2 = \sigma_s^2 + \sigma_n^2 = \sigma_n^2 \quad \Rightarrow \quad \sigma_f = \sigma_n$$





Calculul raportului semnal zgomot (SNR)

B. Din doua imagini succesive (in timp) ale aceleiasi scene:

$$f(i,j) = s(i,j) + n(i,j)$$

$$g(i,j) = s(i,j) + m(i,j)$$

- n si m au aceeasi FDP: au aceasi medie: $\langle n \rangle = \langle m \rangle = 0$ si deviatie standard $\langle |n|^2 \rangle = \langle |m|^2 \rangle = \sigma_n^2$
- n si m sunt necorelate intre ele si fata de semnal: ($\langle s(i,j)n(i,j) \rangle = 0$, $\langle s(i,j)m(i,j) \rangle = 0$), $\langle n(i,j)m(i,j) \rangle = 0$
- f si g necorelate ($\langle f(i,j)g(i,j) \rangle = 0$)

Corelatia normalizata dintre f si g :

$$c = \frac{\langle f - \langle f \rangle \rangle \langle g - \langle g \rangle \rangle}{\sqrt{\sigma_f^2} \sqrt{\sigma_g^2}}$$
$$c = \frac{\langle f - \langle f \rangle \rangle \langle g - \langle g \rangle \rangle}{(\langle |f - \langle f \rangle|^2 \rangle)^{\frac{1}{2}} (\langle |g - \langle g \rangle|^2 \rangle)^{\frac{1}{2}}}$$



Calculul raportului semnal zgomot (SNR)

B. Din doua imagini succesive (in timp) ale aceleiasi scene:

$$c = \frac{\langle f - \langle f \rangle \rangle \langle g - \langle g \rangle \rangle}{\sqrt{\sigma_f^2} \sqrt{\sigma_g^2}}$$

$$\sigma_f^2 = \sigma_g^2 = \sigma_s^2 + \sigma_n^2; \quad f = s + n; \quad g = s + m; \quad \langle n \rangle = \langle m \rangle = 0$$

$$c = \frac{\sigma_s^2}{\sigma_s^2 + \sigma_n^2}$$

$$\text{SNR} = \sqrt{\frac{\frac{\sigma_s^2}{\sigma_s^2 + \sigma_n^2}}{1 - \frac{\sigma_s^2}{\sigma_s^2 + \sigma_n^2}}} = \frac{\sigma_s}{\sigma_n}$$

$$\text{SNR} = \sqrt{\frac{c}{1 - c}}$$



Bibliografie

[1] Noise in images, Lecture notes on Digital Image Analysis, Applied Optics Group, Department of Physics, University of Edinburgh.