



Zuzana Krivá

Základné princípy filtrácie SAR snímok Zeme

Kľúčové slová: SAR , šum spekl noise, evolučná PDR, lineárna difúzia, Perona-Malikova rovnica, štatistické filtre, Leeho filter

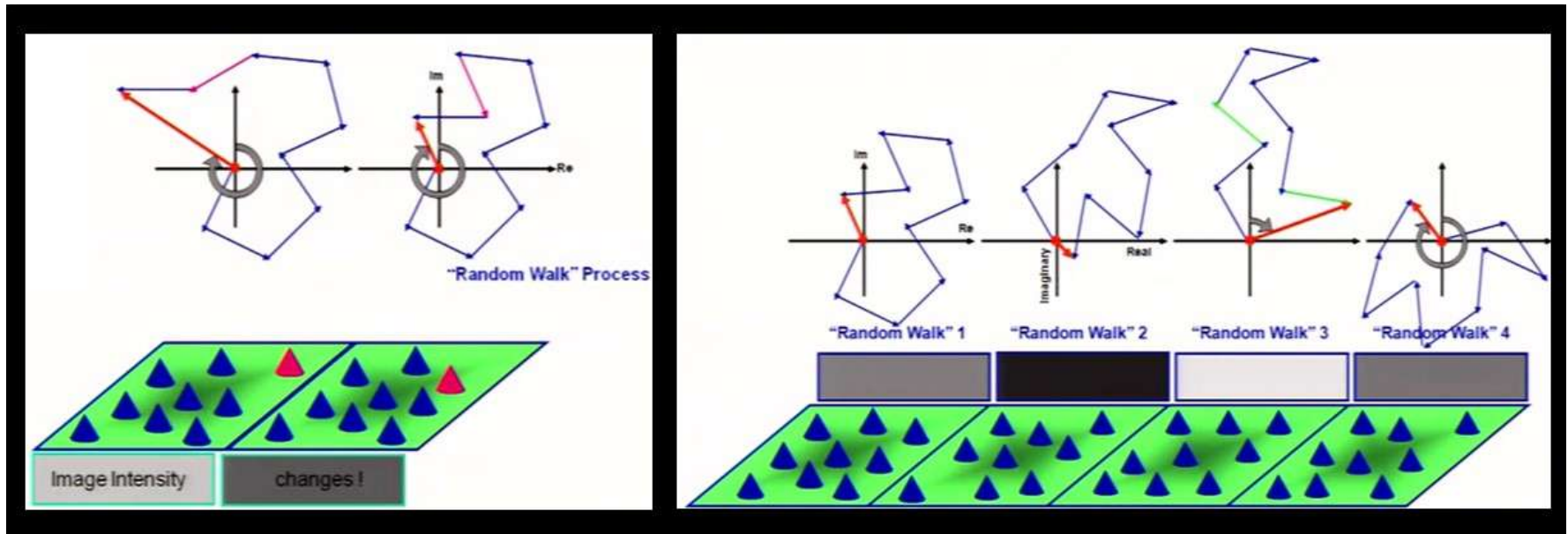
Tvorba šumu spekl

- radarový senzor vysiela elektromagnetický pulz a meria odraz späť
- na anténe sa meria elektrické pole reprezentované komplexným číslom
- jeho amplitúda závisí na vlastnostiach objektu a fáza na vzdialenosti O a A

Obrázok vľavo: mení sa pozícia jedného objektu ($\text{dim} > \lambda$), výsledný signál sa výrazne mení

Obrázok vpravo: **nedá sa usudzovať na základe jednej hodnoty**

Riešením je priemerovanie



Od filtrov pre potlačenie šumu spekl sa vyžaduje priemerovať homogénne oblasti a uchovávať detaily, príp. uchovať strednú hodnotu

Typy používaných filtrov

1. Štatistické filtre vykonávajúce priemerovanie

(**Lee** , Frost, Kuan, K-NN) a ich modifikácie (napr. refined Lee), tieto filtre nie sú schopné vylepšovať hrany

2. Filtre založené na Waveletovej transformácii

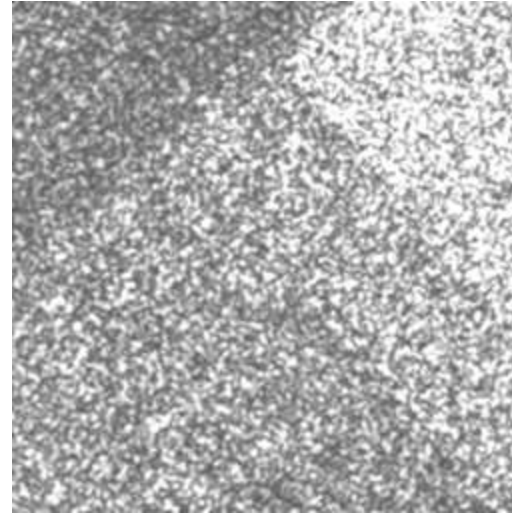
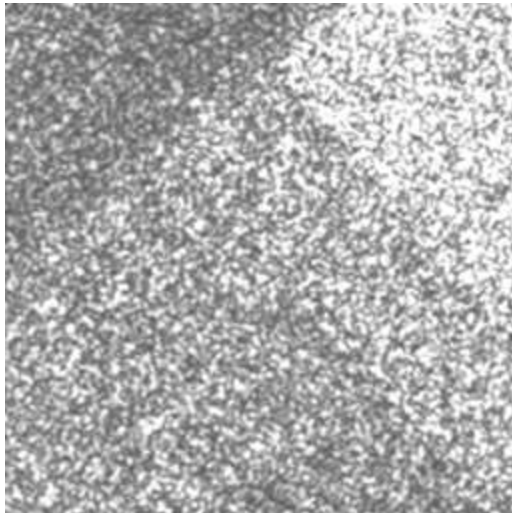
(neuchovávajú dobre drobné detaily)

3. Filtre založené na evolučných parciálnych diferenciálnych rovniciach

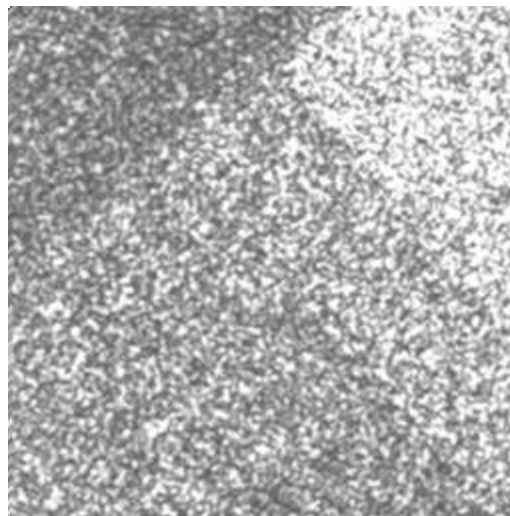
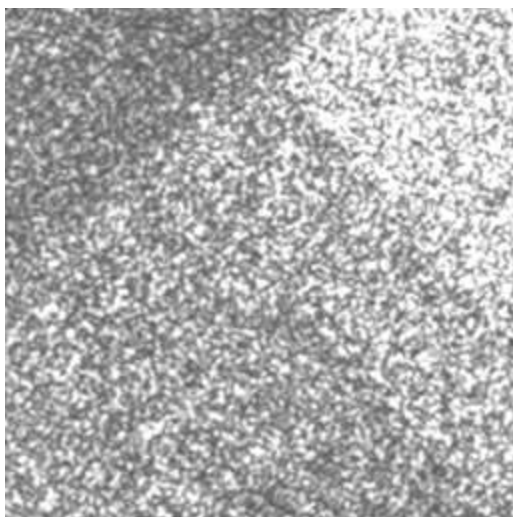
(**Perona-Malikova** rovnica, filtre pre pohyb podľa strednej krivosti, majú schopnosť vylepšovať hrany, ale nevyužívali sme štatistiku)

Príklad filtra založeného na Perona-Malikovej PDR:

Filter založený na konečno-objemovej adaptívnej schéme pre **Perona-Malikovu rovnicu**. Dáta boli na počiatku logaritmované, čím sa zmenil multiplikatívny šum na aditívny.

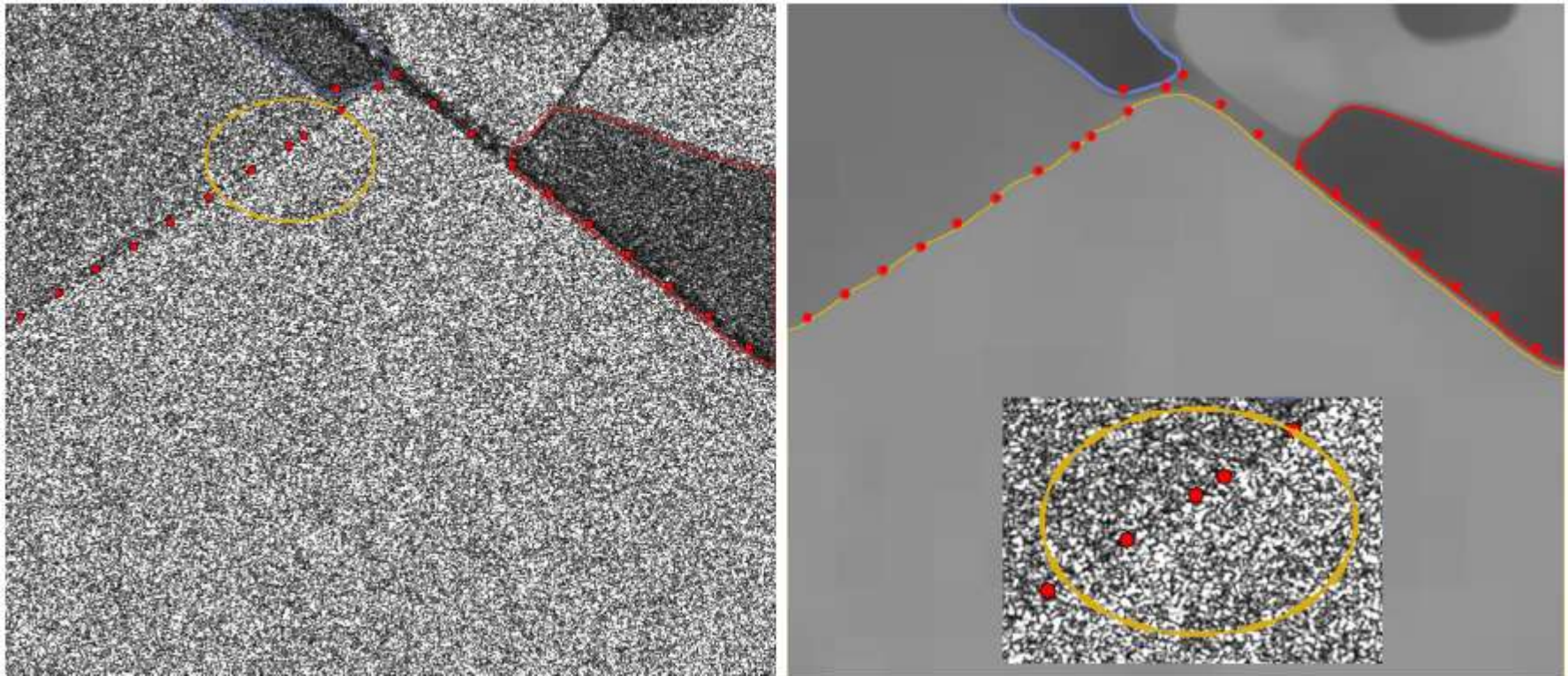


Filter založený na konečno-objemovej adaptívnej schéme pre **Perona-Malikovu rovnicu**. Dáta boli na počiatku logaritmované, čím sa zmenil multiplikatívny šum na aditívny.



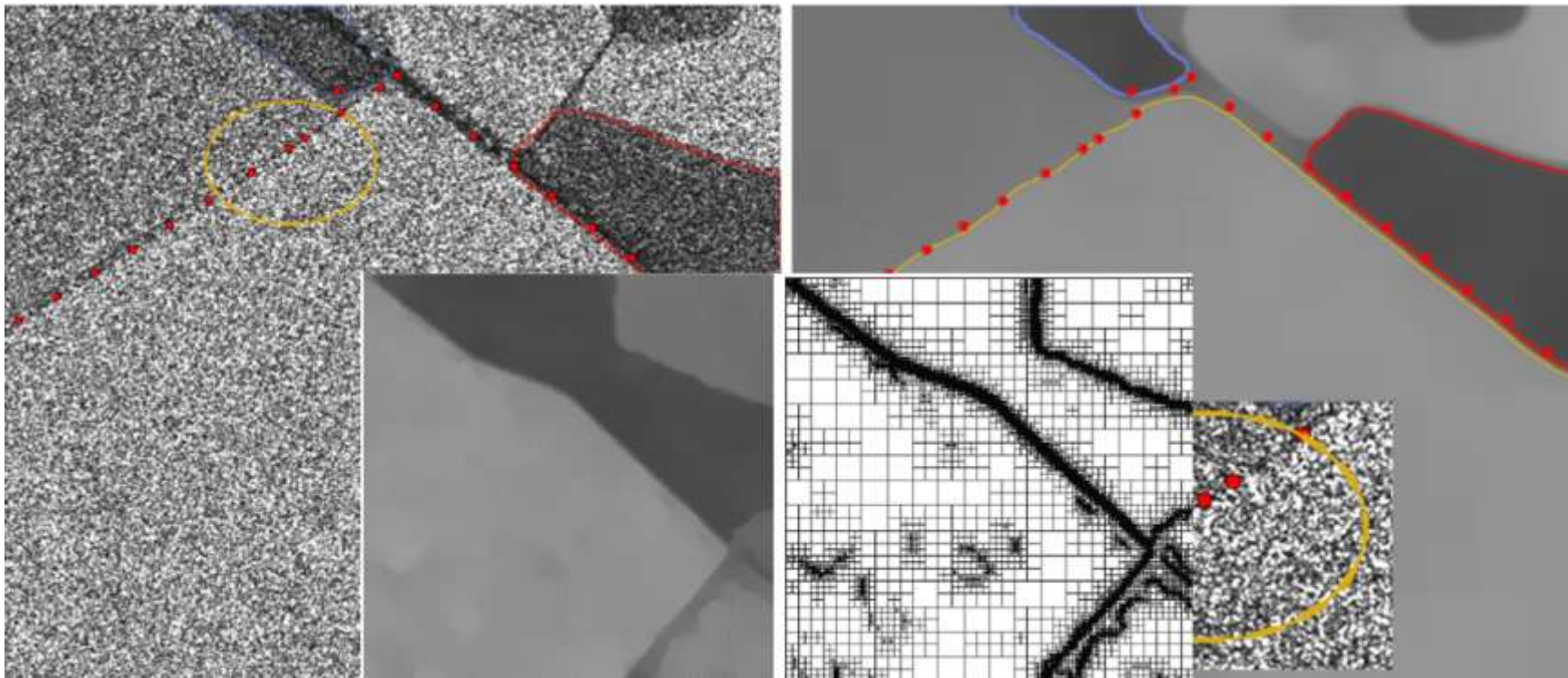
Možno si všimnúť zaostrovanie hrán!!

Filter založený na konečno-objemovej **adaptívnej** schéme pre **Perona-Malikovu rovnicu**. Dáta boli na počiatku logaritmované, čím sa zmenil multiplikatívny šum na aditívny.



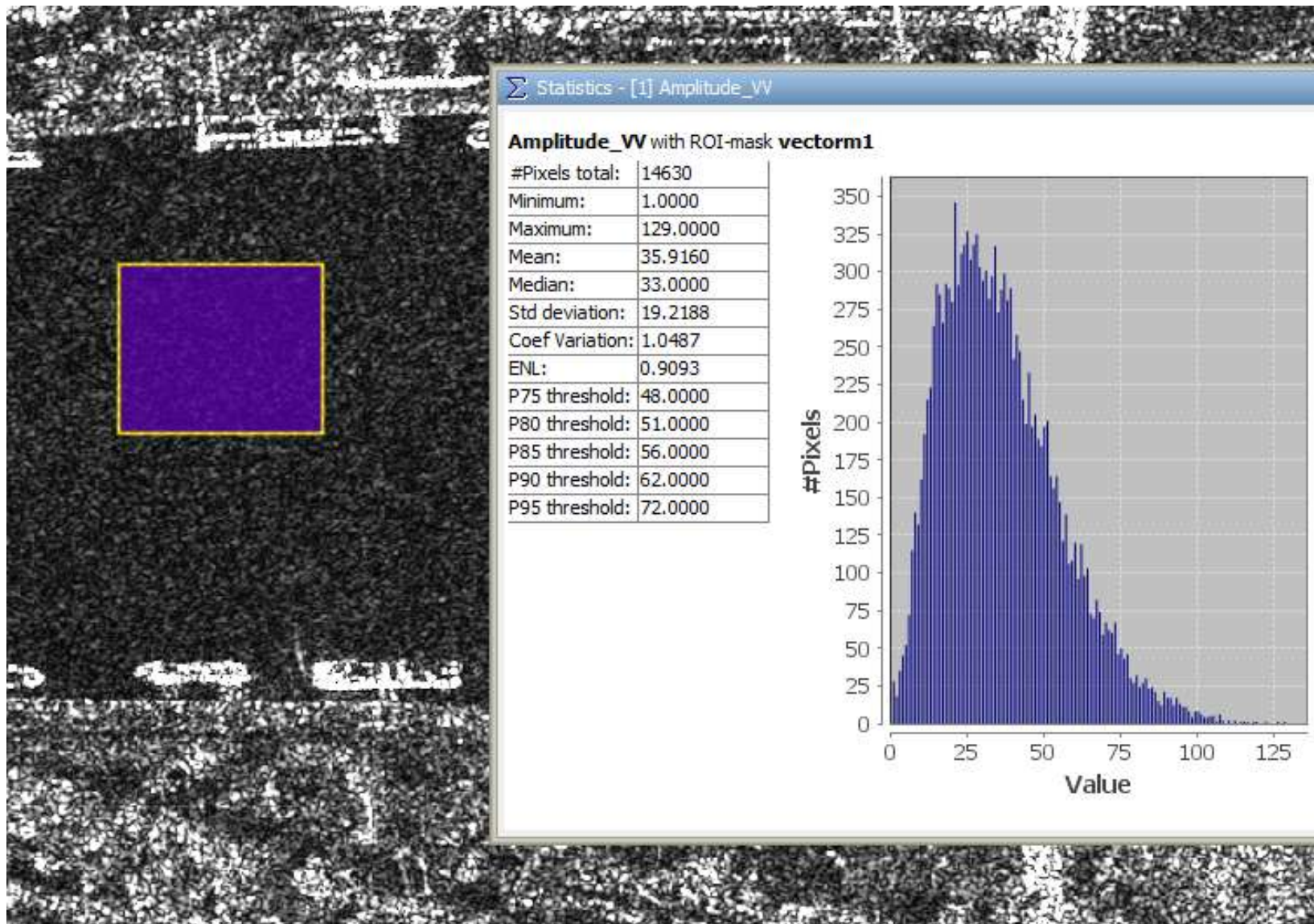
Viac : Z. Krivá, J. Papčo, J. Vanko: Quad-tree Based FV Method for Diffusion ..., Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Facultas Rerum Naturalium. Mathematica, Vol. 54 (2015), No. 2, 41–61

Príklad adaptívnej mriežky založenej na kvadrantových stromoch

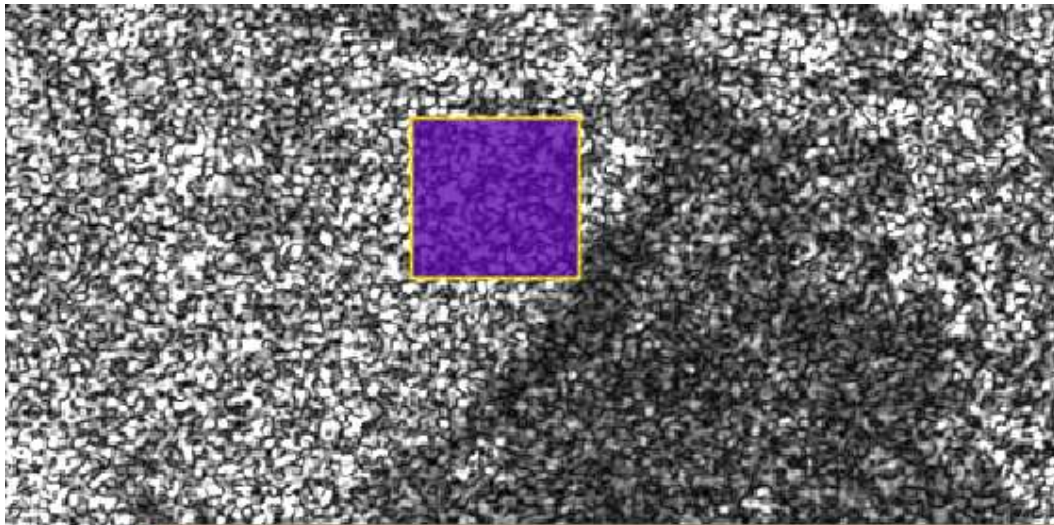


Štatistika šumu spekl:
silá šumu závisí od odrazivosti

**využíva sa model pre multiplikatívny
šum**



$$\frac{stdev}{mean} = \frac{19.2}{35.9} = 0.5333$$

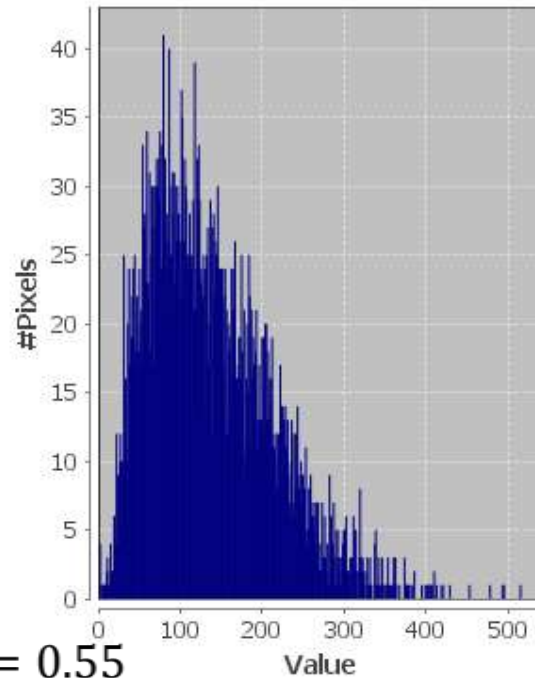


Statistics - [1] Amplitude_VV

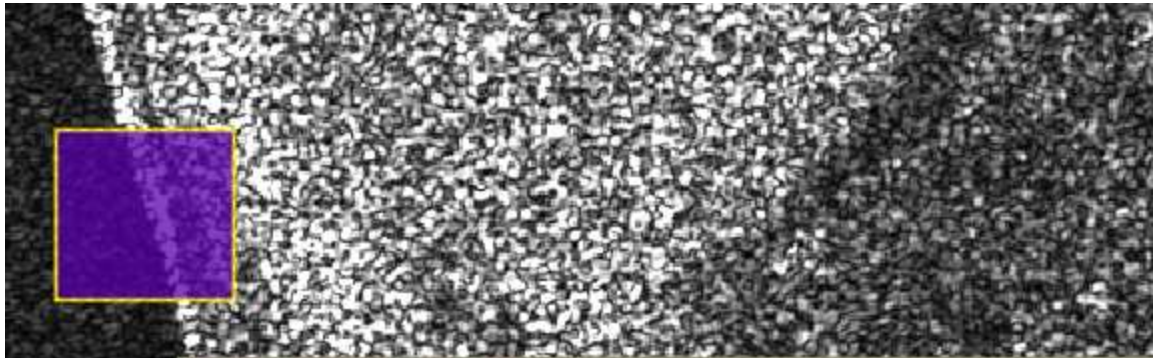
Display statistics for a selected

Amplitude_VV with ROI-mask vector

| | |
|-----------------|----------|
| #Pixels total: | 4968 |
| Minimum: | 1.0000 |
| Maximum: | 515.0000 |
| Mean: | 135.2919 |
| Median: | 122.4727 |
| Std deviation: | 74.1782 |
| Coef Variation: | 1.0795 |
| ENL: | 0.8581 |
| P75 threshold: | 182.7070 |
| P80 threshold: | 198.7695 |
| P85 threshold: | 213.8281 |
| P90 threshold: | 236.9180 |
| P95 threshold: | 271.0508 |



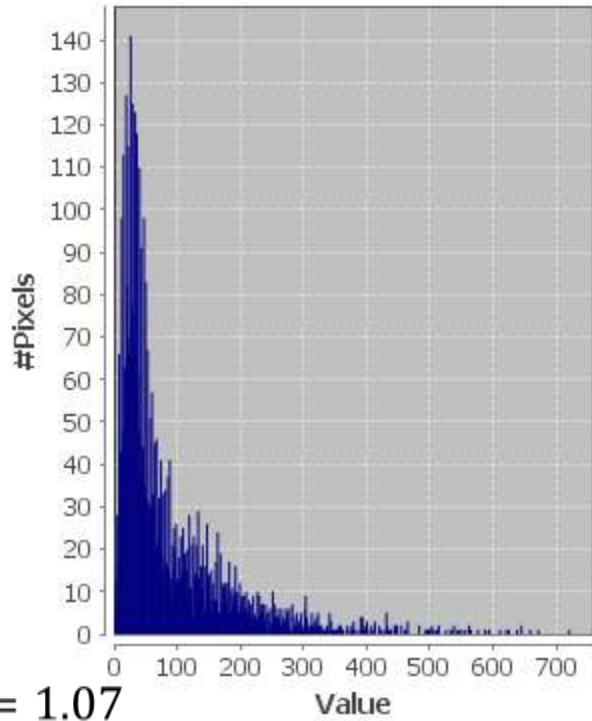
$$\frac{stdev}{mean} = \frac{74.1}{135.3} = 0.55$$



Σ Statistics - [1] Amplitude_VV

Amplitude_VV with ROI-mask vector

| | |
|-----------------|----------|
| #Pixels total: | 4896 |
| Minimum: | 1.0000 |
| Maximum: | 721.0000 |
| Mean: | 85.4982 |
| Median: | 48.8125 |
| Std deviation: | 92.1197 |
| Coef Variation: | 2.4341 |
| ENL: | 0.1688 |
| P75 threshold: | 114.9063 |
| P80 threshold: | 137.4063 |
| P85 threshold: | 166.9375 |
| P90 threshold: | 202.0938 |
| P95 threshold: | 272.4063 |



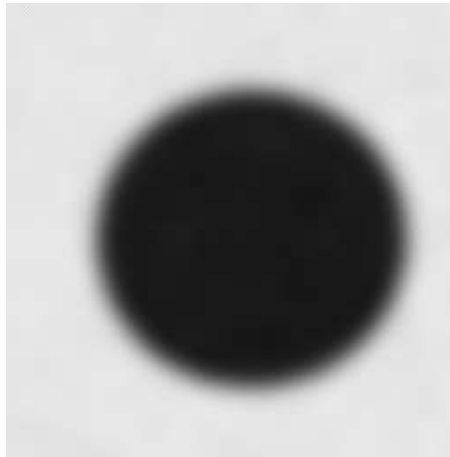
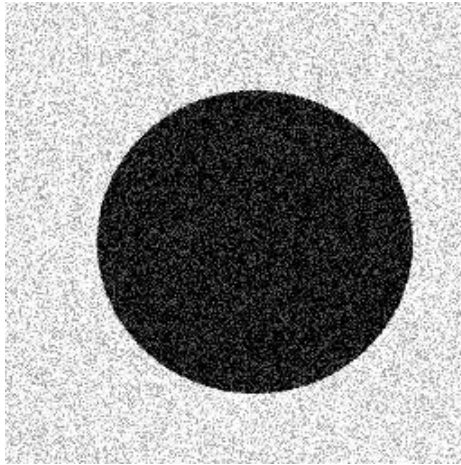
$$\frac{stdev}{mean} = \frac{92.12}{85.5} = 1.07$$

Základné difúzne rovnice

Lineárna rovnica vedenia tepla (difúzie)

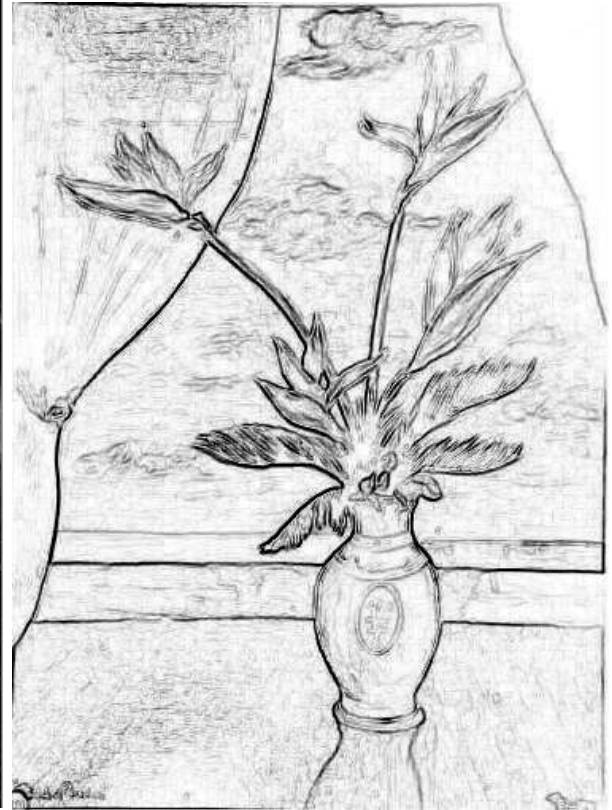
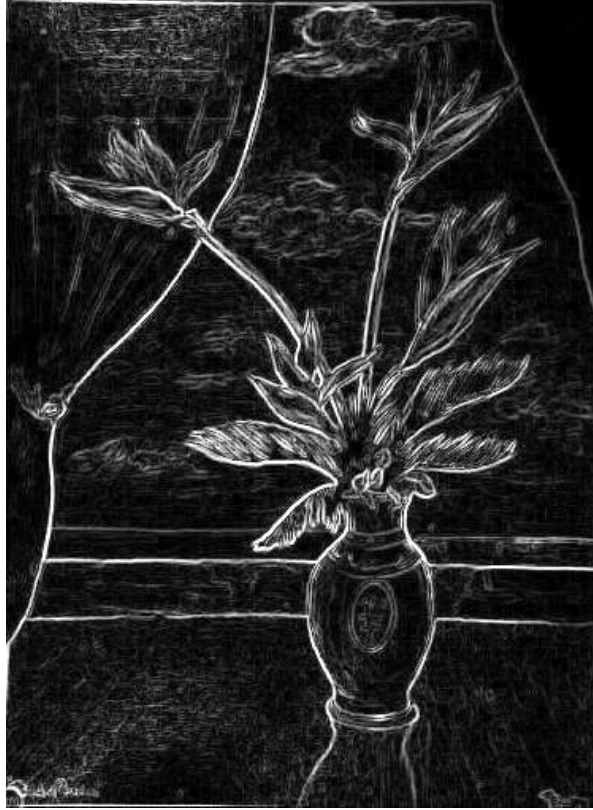
$$\frac{\partial u}{\partial t} - \Delta u = 0$$

u_0



Ako spomaliť difúziu na hranách ?

Príklad hranovej detekcie pomocou normy gradientu



Spomalená dopredná difúzia

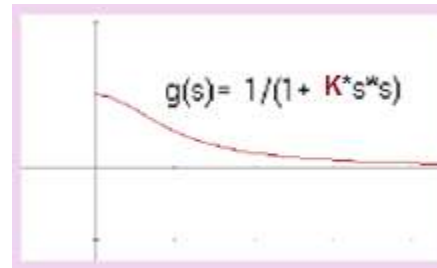
Lineárna rovnica vedenia tepla:

$$\frac{\partial u}{\partial t} - \Delta u = 0$$

Hranový detektor :

$$|\nabla u|$$

Difúzny koeficient:



Spomalená dopredná difúzia:

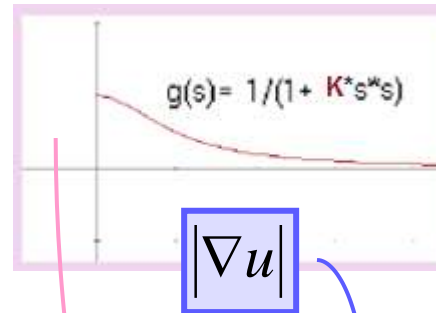
$$\frac{\partial u}{\partial t} - g(|u|)\Delta u = 0 \quad \text{in } Q_T \equiv I \times \Omega$$

Perona-Malikova rovnica

lineárna rovnica VT:

$$\frac{\partial u}{\partial t} - \Delta u = \frac{\partial u}{\partial t} - \operatorname{div}(\nabla u) = 0$$

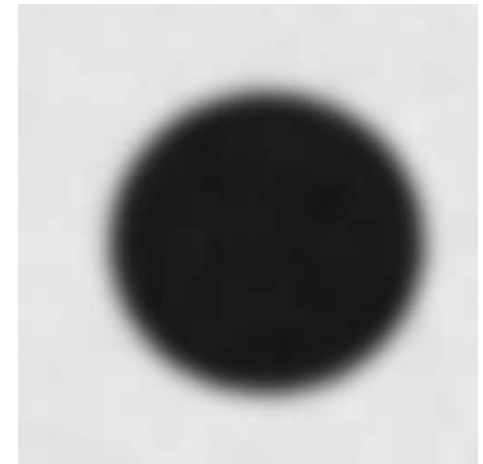
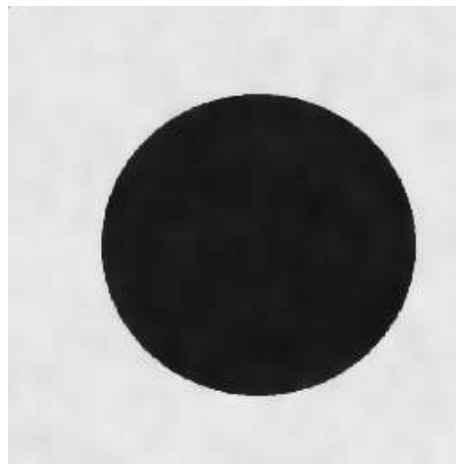
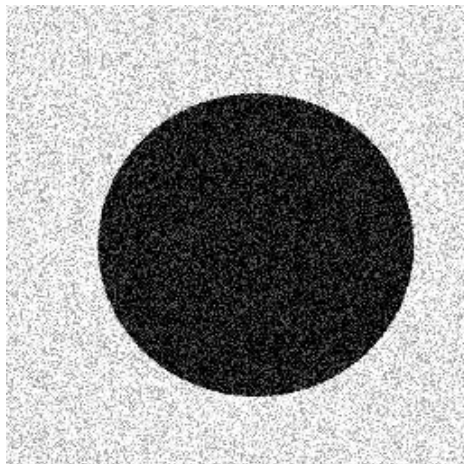
Perona – Malikova funkcia:



Hranový detektor:

Perona-Malikova rovnica:

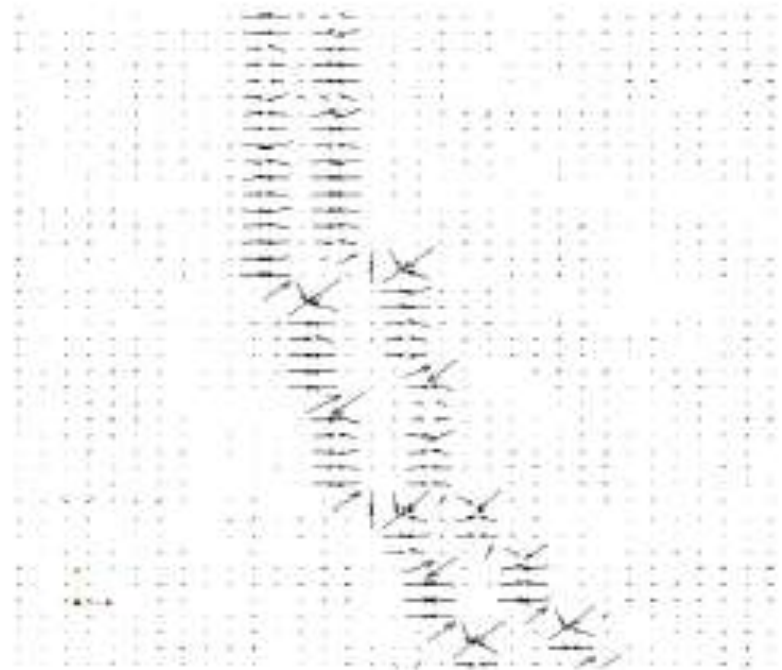
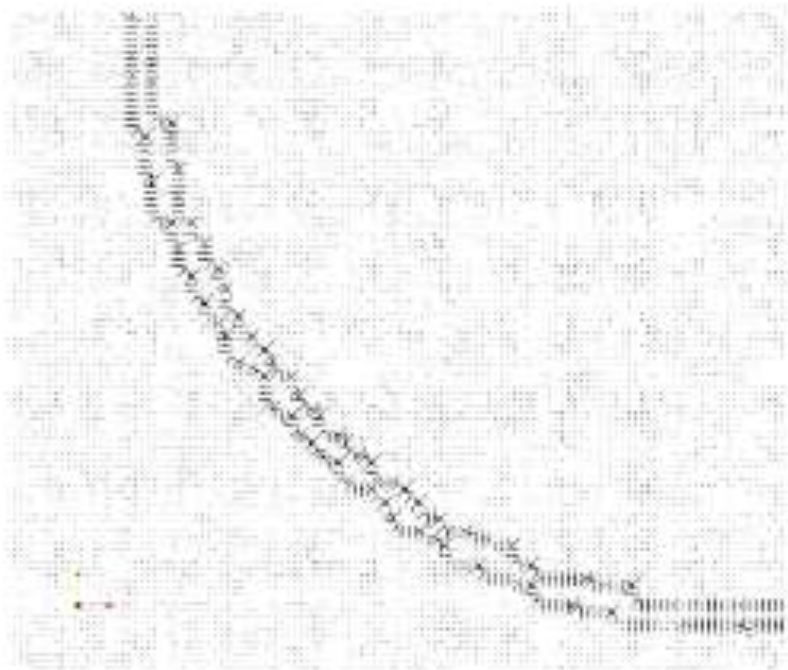
$$\frac{\partial u}{\partial t} - \operatorname{div}(g(|\nabla u|)\nabla u) = 0 \quad \text{in } Q_T \equiv I \times \Omega$$



Prečo je PM lepšia ako dopredná spomalená difúzia?

$$\frac{\partial u}{\partial t} - \nabla g(|\nabla u|) \nabla u = g(|\nabla u|) \Delta u \quad \text{in } Q_T \equiv I \times \Omega$$

$$v = -\nabla g(|\nabla u|)$$



- ak je hranový detektor gradient, tak oba modely sú úspešné vtedy, keď má šum menší gradient ako hrana
- pre SAR nie je dobrý gradientný hranový detektor- svetlé homogénne oblasti

Štatistické filtre – Lee (aditívny aj multiplikatívny)

$$\hat{x} = a\bar{y} + by = a\bar{x} + by$$

Metóda najmenšej chyby:

$$a=1-b, \quad b = \frac{\text{Var}(x)}{\text{Var}(y)}$$

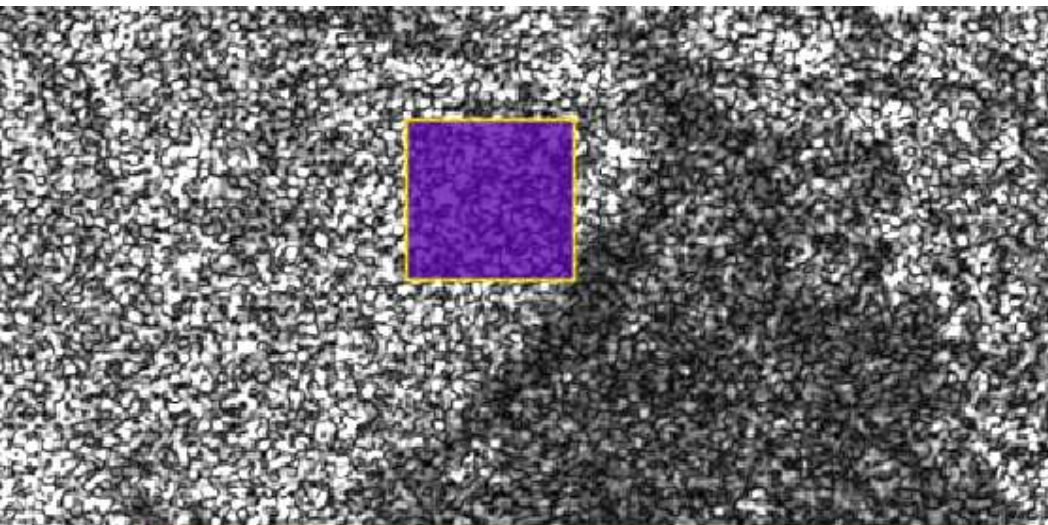
Porovnanie Lee-ho filtra pre aditívnu šum a spomalenej doprednej difúzie:

- Leeho filter pre aditívny šum zodpovedá doprednej difúzii, t.j. nevylepšuje hrany (izotropická difúzia)

Porovnanie Lee-ho filtra pre multiplikatívny šum a PM rovnice

- Leeho filter pre multiplikatívny šum zodpovedá izotropickej difúzii
- PM filter musí použiť inú charakteristiku na hľadanie hraníc oblastí, a to **koeficient variácie**

$$C_y^2 = \frac{\text{Var}(y)}{\bar{y}^2}$$

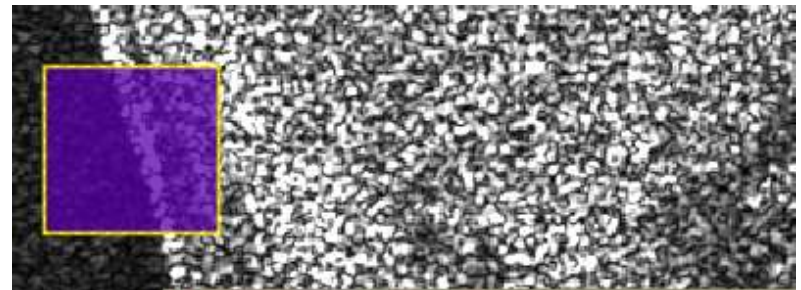
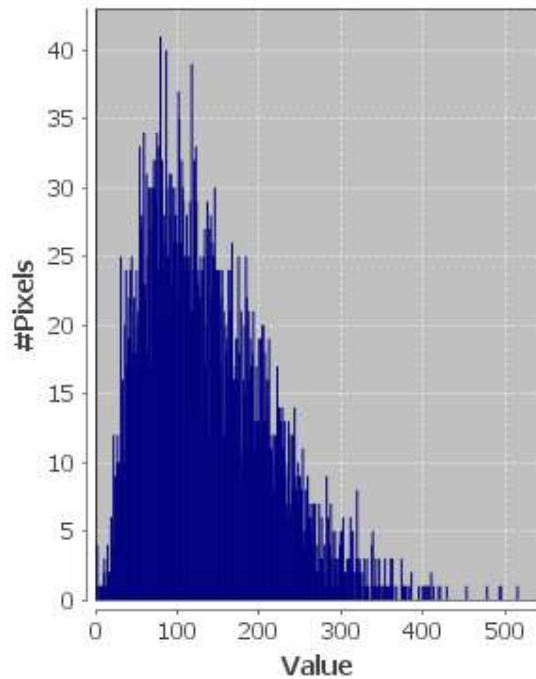


Statistics - [1] Amplitude_VV

Amplitude_VV with ROI-mask vector

| | |
|-----------------|----------|
| #Pixels total: | 4968 |
| Minimum: | 1.0000 |
| Maximum: | 515.0000 |
| Mean: | 135.2919 |
| Median: | 122.4727 |
| Std deviation: | 74.1782 |
| Coef Variation: | 1.0795 |
| ENL: | 0.8581 |
| P75 threshold: | 182.7070 |
| P80 threshold: | 198.7695 |
| P85 threshold: | 213.8281 |
| P90 threshold: | 236.9180 |
| P95 threshold: | 271.0508 |

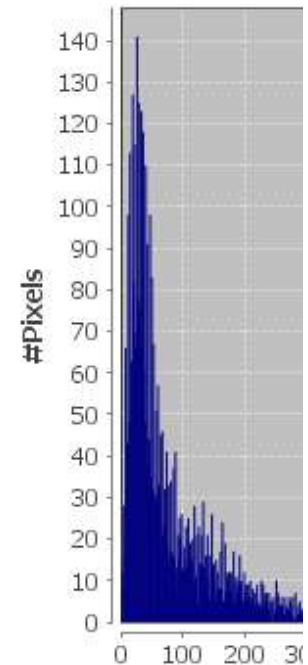
Display statistics for a selected



Statistics - [1] Amplitude_VV

Amplitude_VV with ROI-mask vector

| | |
|-----------------|----------|
| #Pixels total: | 4896 |
| Minimum: | 1.0000 |
| Maximum: | 721.0000 |
| Mean: | 85.4982 |
| Median: | 48.8125 |
| Std deviation: | 92.1197 |
| Coef Variation: | 2.4341 |
| ENL: | 0.1688 |
| P75 threshold: | 114.9063 |
| P80 threshold: | 137.4063 |
| P85 threshold: | 166.9375 |
| P90 threshold: | 202.0938 |
| P95 threshold: | 272.4063 |



SRAD (Speckle Reducing Anisotropic Diffusion)

Koeficient Variácie:
$$C_y^2 = \frac{\text{Var}(y)}{\bar{y}^2}$$

Yu a Acton, 2004 odhadli KV pomocou operátorov PDR:

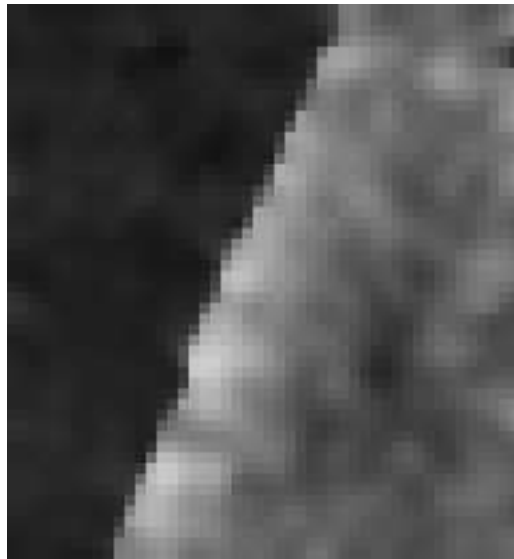
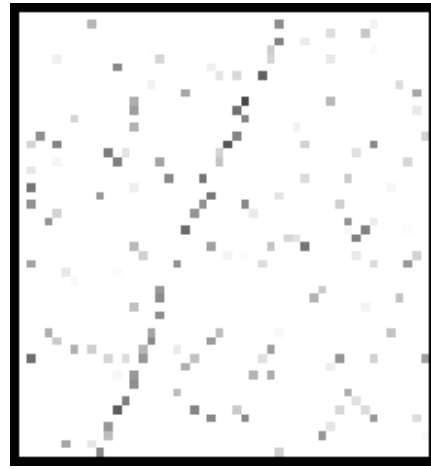
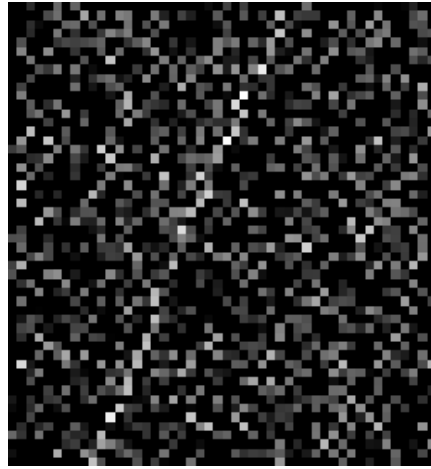
$$C_p^2 = \frac{\frac{1}{2} |\nabla I_p|^2 - \frac{1}{16} (\Delta I_p)^2}{\left(I_p + \frac{1}{4} \Delta I_p\right)^2}$$

Momentálny KV:

$$q = \sqrt{\frac{\frac{1}{2} \left(\frac{\nabla I_p}{I_p}\right)^2 - \frac{1}{16} \left(\frac{\Delta I_p}{I_p}\right)^2}{\left(1 + \frac{1}{4} \frac{\Delta I_p}{I_p}\right)^2}}$$

Difúzny koeficient $c(q)$:

$$c(q) = \frac{1}{1 + [q^2(x, y; t) - q_0^2(t)]/[q_0^2(t)(1 + q_0^2(t))]}$$



Ďakujem za pozornosť

x-ová aj y-ová zložka vektora odrazenej energie má normálne rozdelenie. Jednotlivé homogénne oblasti amplitúdových obrázkov s intenzitou odrazu $I = \sqrt{x^2 + y^2}$ majú **Rayleigho rozdelenie**:

| | |
|-------------------|---|
| Parameter: | $\sigma > 0$ sm. odchýlka jednotlivých normálne rozdelených zložiek |
| Priemer: | $\sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}}$ |
| Medián: | $\sigma \sqrt{2 \ln(2)}$ |
| Modus: | σ |
| Disperzia: | $\frac{4 - \pi}{2} \sigma^2$ |

pomer smerodajnej odchýlky a priemeru je rovnaký $-\sqrt{\frac{4-\pi}{\pi}} = \mathbf{0.5227}$
t.j. čím väčšia je odrazovosť (t.j. čím svetlejšia je oblasť), tým väčšia je smerodajná odchýlka šumu, t. j. tým je šum výraznejší

Leeho filter pre aditívny šum

Cieľ: priemerovať iba homogénne oblasti

Model pre aditívny šum

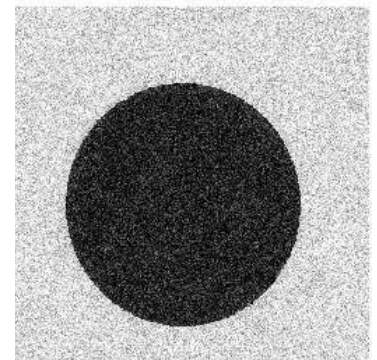
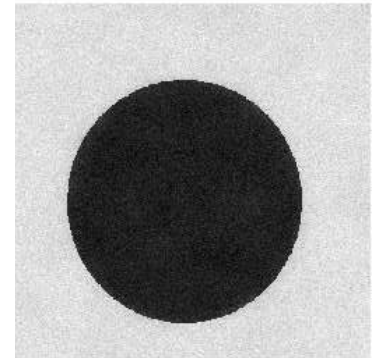
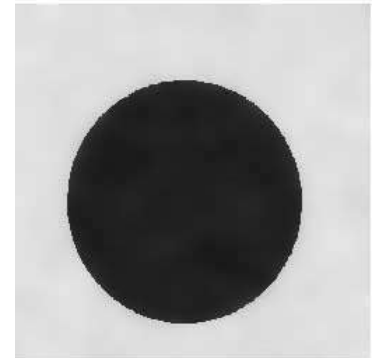
$$y(i, j) = x(i, j) + v(i, j)$$

- $y(i, j)$ nameraná hodnota pixla (i, j)
 $x(i, j)$ pôvodná hodnota odrazivosti (bez šumu)
 $v(i, j)$ hodnota aditívneho šumu s $(E[v(i, j)] = 0)$
a *stdev* σ_v ,
 x a v sú štatisticky nezávislé

Metóda: $\text{Var}(x)$ je odhadnutá pomocou $\text{Var}(y)$

$$\text{Var}(x) = \text{Var}(y) - \sigma_v^2$$

$$b = \frac{\text{Var}(x)}{\text{Var}(x) + \text{Var}(\sigma_v^2)} = \frac{\text{Var}(y) - \text{Var}(\sigma_v^2)}{\text{Var}(y)} = 1 - \frac{\text{Var}(\sigma_v^2)}{\text{Var}(y)}$$



Leeho filter pre aditívny šum

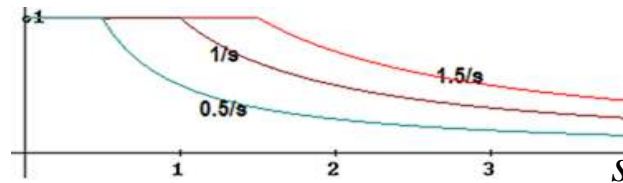
$$\text{Var}(x) = \text{Var}(y) - \sigma_v^2$$

$$\hat{x} = a\bar{y} + by = a\bar{x} + by \quad a = 1 - b, b = 1 - \frac{\text{Var}(\sigma_v^2)}{\text{Var}(y)} \quad \text{Var}(y) = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2$$

Dopredná spomalená difúzia

$$\frac{\partial u}{\partial t} - g(|\nabla u|) \Delta u = 0 \quad \text{in } Q_T \equiv I \times \Omega$$

$$|\nabla u_p|^2 = \frac{1}{2} \sum_{q \in N(p)} (u_q - u_p)^2$$



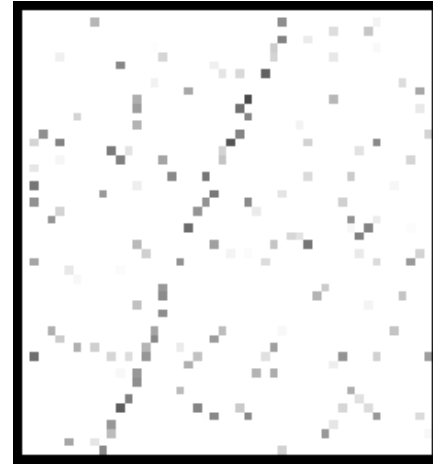
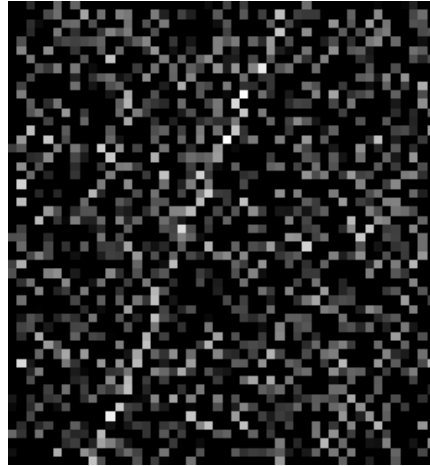
$$g(s) = \max\left(\frac{K_1}{s}, 1\right)$$

$$u_p^{n+1} = u_p^n + kg_p \sum_{q \in N(p)} (u_q^n - u_p^n)$$

$$u_p^{n+1} = (1 - b)\bar{u} + bu_p^n = \underbrace{4kg_p}_{a} \bar{u} + \underbrace{(1 - 4kg_p)}_b u_p^n$$

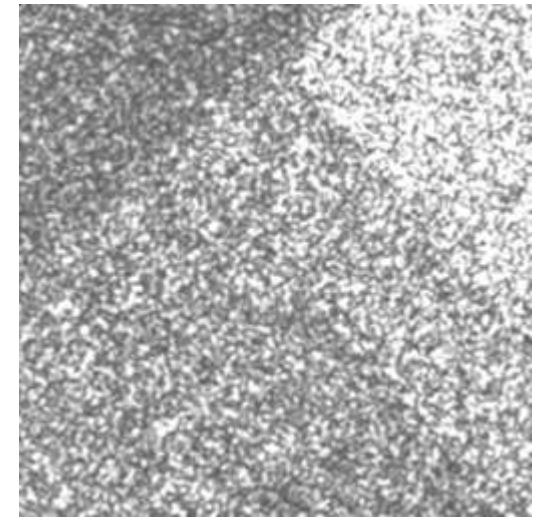
$$b = 1 - 4kg_p = \max\left(1 - \frac{K_2}{|\nabla u_p|^2}, 0\right), k \leq \frac{1}{4}$$

- Leeho filter je forma **izotropnej difúzie**, t.j. sila difúzie závisí od hodnoty pixela a jeho susedov, ale je rovnaká pre každého suseda
- **Takýto filter nemá mechanizmus vylepšovať hrany**
- **PM predstavuje anizotropnú difúziu a môže byť lepší v práci s hranami**
- na SAR sa dá použiť po logaritmovaní dát



- Odhad $Var(x)$ a priemeru závisí od veľkosti „štatistického“ okna
- Po aplikácii filtrácie sa smerodajná odchýlka mení, ale stále máme charakter multiplikatívneho šumu

Leeho filter pre multiplikatívny šum



Cieľ: priemerovať iba homogénne oblasti

$$\hat{x} = a\bar{y} + by = a\bar{x} + by$$

Model pre multiplikatívny šum

$$y(i,j) = x(i,j) v(i,j)$$

$y(i,j)$ nameraná hodnota pixla (i,j)

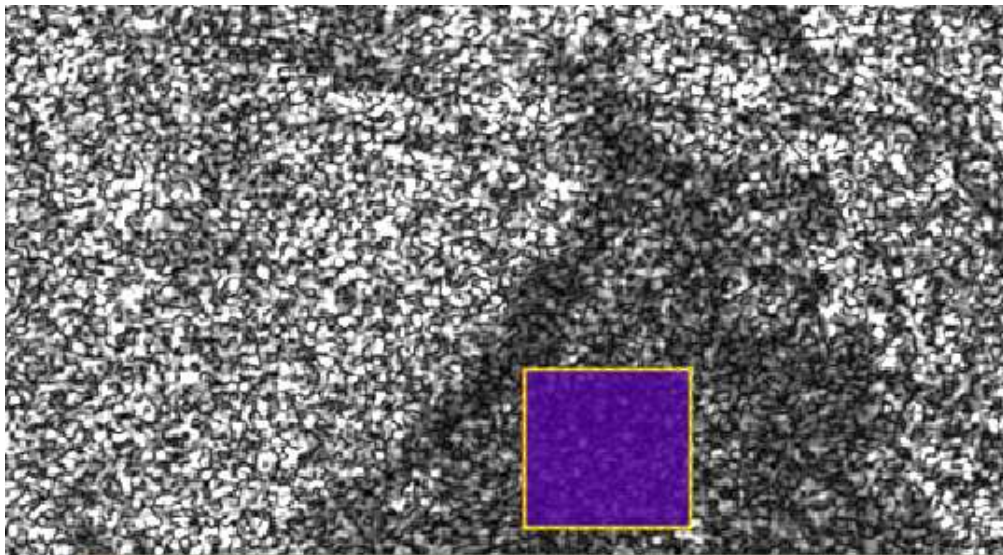
$x(i,j)$ pôvodná hodnota reflektancie (bez šumu)

$v(i,j)$ hodnota multiplikatívneho šumu ($E[v(i,j)] = 1$) a stdev σ_v ,
 x a v sú štatisticky nezávislé

Metóda: $Var(x)$ odhadneme pomocou $Var(y)$:

$$Var(x) = \frac{Var(y) - \bar{y}^2 \sigma_v^2}{1 + \sigma_v^2}$$

$$a = 1 - b, \quad b = \frac{Var(x)}{Var(y)} = \max\left(0, \frac{1}{1 + \sigma_v^2} \left(1 - \frac{C_v^2}{C_y^2}\right)\right),$$



Statistics - [1] Amplitude_WV

Amplitude_WV with ROI-mask vector

| | |
|-----------------|----------|
| #Pixels total: | 4896 |
| Minimum: | 1.0000 |
| Maximum: | 219.0000 |
| Mean: | 66.1234 |
| Median: | 59.7578 |
| Std deviation: | 35.5831 |
| Coef Variation: | 1.0584 |
| ENL: | 0.8927 |
| P75 threshold: | 87.8594 |
| P80 threshold: | 95.9492 |
| P85 threshold: | 104.8906 |
| P90 threshold: | 115.9609 |
| P95 threshold: | 132.9922 |

