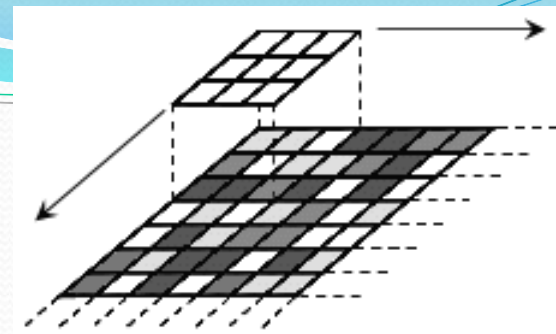


Metody zvýrazňování obrazu II

Prostorová zvýraznění - filtrace



Princip filtrace obrazu

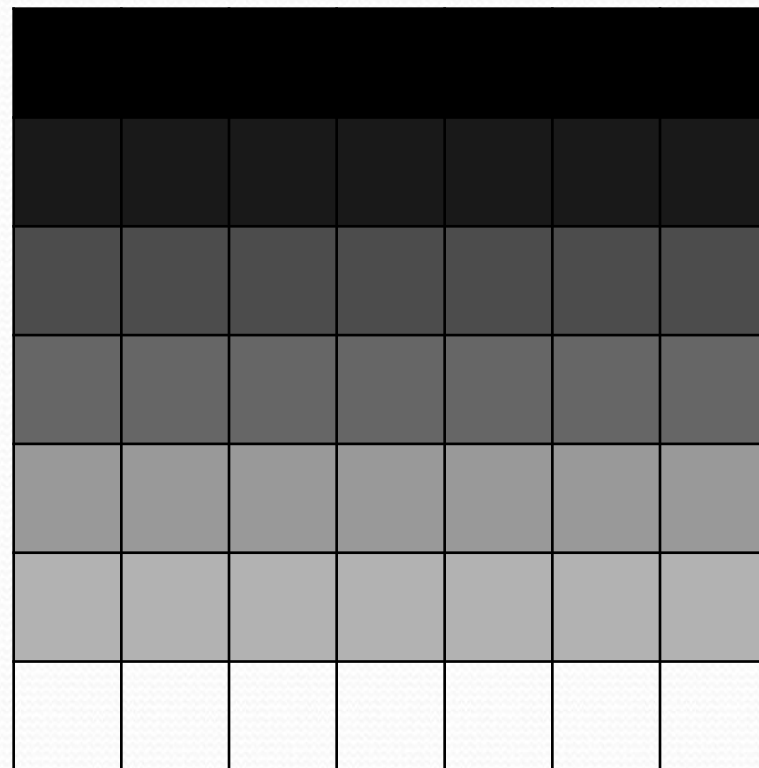
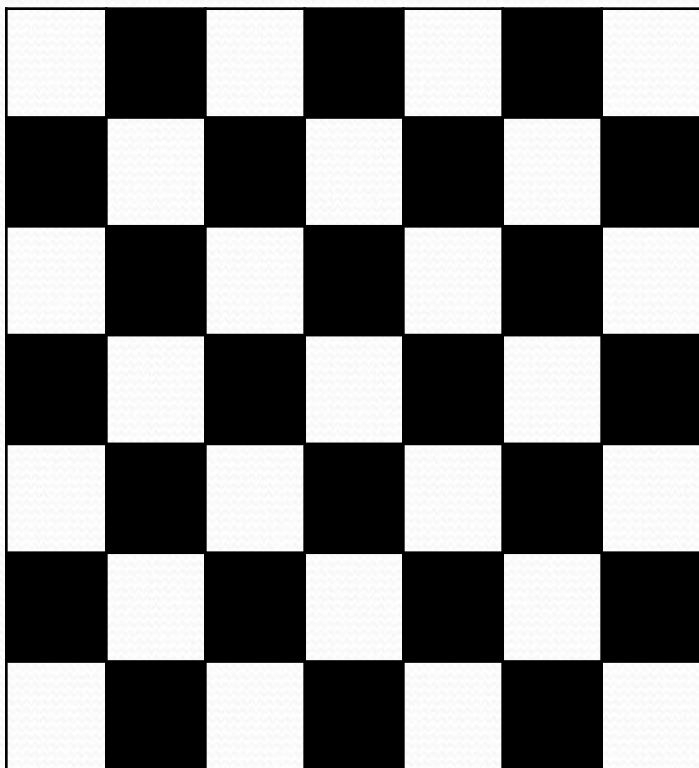


- **Filtrace patří mezi operace prostorové**
- **Nová DN hodnota určitého obrazového prvku je určena v závislosti na hodnotách určitého počtu prvků okolních.**
- **Filtrace se využívá v řadě úloh jako je tzv. shlazování snímku, zvýrazňování a detekce hran, úprava výsledků klasifikace apod.**

Prostorová frekvence (spatial frequency).

- Prostorová frekvence charakterizuje relativní změnu DN hodnoty daného pixelu vůči DN hodnotám pixelů okolních.
- Obrazový záznam obsahuje **vysokofrekvenční** a **nízkofrekvenční prostorovou informaci**. Jejich souhrn tvoří originální obraz.
- Vysoké frekvence popisují velké rozdíly v hodnotách pixelů při přechodu z jednoho pixelu na druhý - představují tedy především liniové prvky v obraze (litologické zóny, říční síť, komunikace, přírodní hranice).
- Nízké frekvence popisují postupné změny v hodnotách pixelů - vodní plochy, velká pole, lesní komplexy atd.

Příklad vysokofrekvenční a nízkofrekvenční informace v obraze



Základní druhy filtrů

- Funkcí filtrů je "prosívat" (propouštět) do výsledného obrazu pouze určitý typ informace.
- **Vysokofrekvenční filtry** propouštějí vysokofrekvenční informaci - tedy všechny lokální extrémy obrazu včetně linií a hran.
- **Nízkofrekvenční filtry** propouštějí pouze nízkofrekvenční informaci a produkují tak obrazy, které jsou oproti původním tzv. "shlazené" obdobně, jako jsou shlazovány např. časové řady tzv. klouzavými průměry.

Příklad nízkofrekvenční filtrace

The screenshot displays the ArcGIS interface with a satellite image of a forest. A dialog box titled "Filter: BRNOTMR.PIX:1. LANDSAT TM 1 / modra" is open on the right side. The dialog box is configured with the following settings:

- Area of Interest:** Mask: Entire raster
- Output only mask area
- Filter size X:** 3
- Filter size Y:** 3
- Filter type:** Low Pass (selected), High Pass, Custom
- Filter:** Average, Median (selected), Mode, Gamma
- Number of looks:** [Empty text box]
- Image format:** Amplitude
- Current view filter:** No filter

At the bottom of the dialog box, there are four buttons: "Apply to View", "Remove View Filter", "Apply to File", and "Close".

The main map area shows a grayscale satellite image with a yellow crosshair in the center. The left sidebar shows a map view with a red rectangle highlighting a specific area of interest. The top menu bar includes File, Edit, View, Layer, Analysis, Tools, and Help.

Příklad vysokofrekvenční filtrace

Focus - Unnamed Project - Unnamed Map

File Edit View Layer Analysis Tools Help



Maps | Files

- Unnamed Map
 - New Area
 - BRNOTMR.PIX:1. LANDSAT TM 1,2,3
 - BRNOTMR.PIX:1.2,3

Filter: BRNOTMR.PIX:1. LANDSAT TM 1 / modra

Area of Interest

Mask: Entire raster

Output only mask area

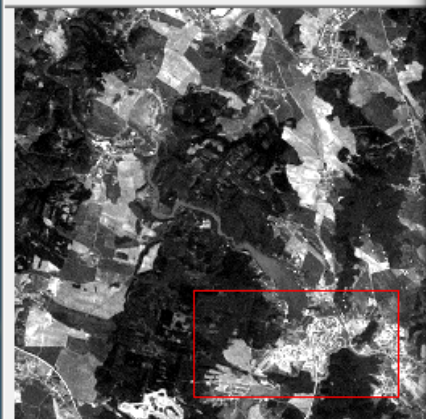
Filter size X: 3 Y: 3

Low Pass | High Pass | Custom

Filter:

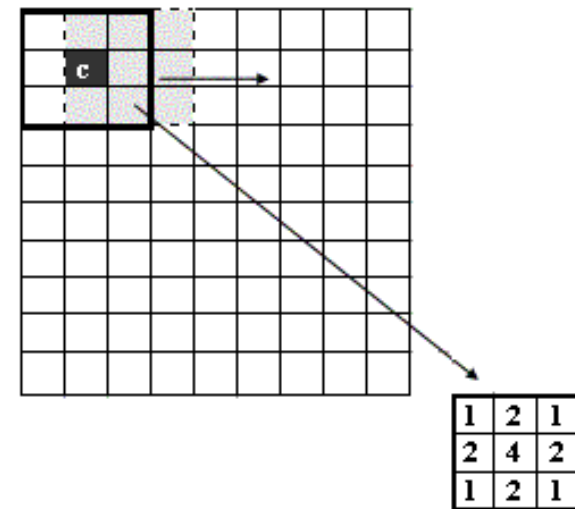
- Gaussian(SIGMSQ = 4)
- Type 1 - Laplacian Edge Detector
- Type 2 - Laplacian Edge Detector
- Sobel Edge Detector
- Prewitt Edge Detector
- Edge Sharpening

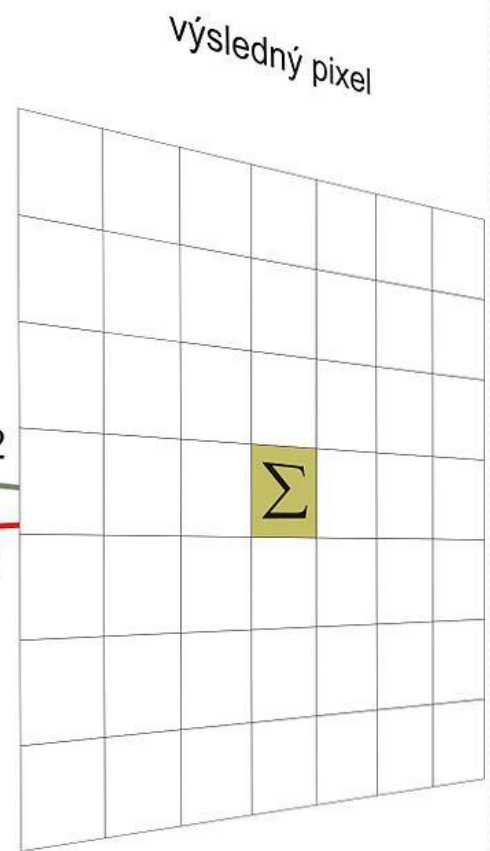
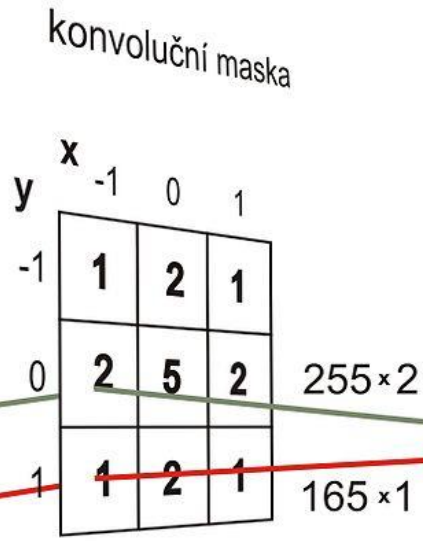
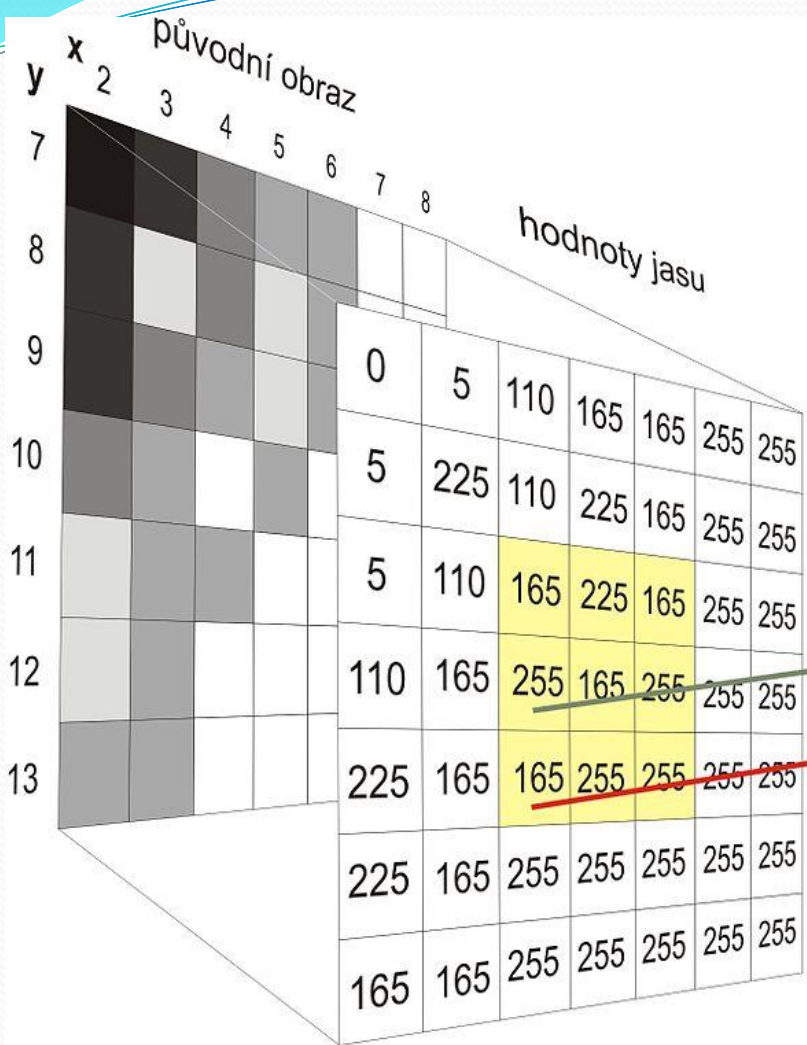
Current view filter: No filter



Princip filtrace obrazu

- Je definováno tzv. **filtrovací okno (kernel)**, které je představováno čtvercovou maticí o lichém počtu řádků a sloupců (např. 3 x 3, 5 x 5 atd). Každý pixel tohoto okna obsahuje koeficient - váhu.
- Filtrovaný obraz je pak generován násobením každého koeficientu v okně hodnotou pixelu z originálního snímku podle současné polohy okna.
- Výsledek je přiřazen centrálnímu pixelu ve filtrovaném snímku.
- Okno se posouvá po snímku po jednom pixelu pohybem, který bývá označován jako „konvoluce“.
- Okrajové pixely po obvodu snímku, aby mohly být centrálním pixelem okna, jsou v průběhu filtrovací operace replikovány nebo je výsledný filtrovaný snímek zmenšen o polovinu šířky filtrovacího okna minus 1 na každé straně.





Nízkofrekvenční filtrace

- **Potlačují vysokofrekvenční informaci v obraze - redukují odchylky centrálního pixelu od svého okolí.**
- **Produkují obraz, který je oproti originálnímu shlazený - vždy tedy určitým způsobem zmenšují rozptyl hodnot pixelů v rámci filtrovacího okna.**
- **Stupeň shlazení je přímo úměrný velikosti použitého filtrovacího okna - čím větší okno, tím větší shlazení.**
- **Nízkofrekvenční filtry tedy mají tendenci redukovat rozsah výstupních hodnot odstínů šedi a často je tedy nutné po filtraci snímku přistoupit ke zvýraznění jeho kontrastu.**
- **Běžnými nízkofrekvenčními filtry jsou např. průměrový filtr, gaussovský filtr, mediánový filtr apod.**

Průměrový (average) filtr

stejná váha všem pixelům v okně, výsledkem je aritmetický průměr,

ničí liniové elementy, nehodí se pro nehomogenní terén,

používá se na vyhlazení nehomogenit, částečné odstranění šumu

průměrový filtr pro liniové prvky

| | | |
|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 |

| | | |
|----|----|----|
| -1 | -1 | -1 |
| 2 | 2 | 2 |
| -1 | -1 | -1 |

Filtry s hodnotami váženými vzdáleností (distance weighted filter),

| | | |
|---|---|---|
| 1 | 2 | 1 |
| 2 | 4 | 2 |
| 1 | 2 | 1 |

| | | | | |
|---|---|----|---|---|
| 1 | 2 | 4 | 2 | 1 |
| 2 | 4 | 6 | 4 | 2 |
| 4 | 8 | 16 | 8 | 4 |
| 2 | 4 | 6 | 4 | 2 |
| 1 | 2 | 4 | 2 | 1 |

Modifikací průměrových filtrů mohou být filtry, které počítají novou hodnotu pixelu ve filtrovaném obraze jako aritmetický průměr pixelů ve filtrovacím okénku, avšak bez hodnoty středového pixelu. Takovýto filtr je užitečný k odstranění tzv. „bitových“ chyb.

Filtry s váženým středem (center weighted filter)

- Filtrovaný pixel dostává větší nebo menší váhu než pixely v jeho okolí.
- Dostává-li střední pixel vyšší váhu, je shlazení menší.
- Dostává-li střední pixel menší váhu, je z obrazu odstraněn šum.

Nízkofrekvenční filtry se dále využívají ke shlazení obrazu před jeho vizuální interpretací.

Majoritní filtry – slouží k úpravě výsledků klasifikace.

Modální (mode, módový) filtr přiřadí danému pixelu hodnotu módu - tedy nejčastější hodnotu v daném filtrovacím okně. Jeho výhodou tedy je, že v takto filtrovaném obraze zůstanou zachovány pouze hodnoty z obrazu původního.

Mediánový (median) filtr přiřadí prostřední hodnotu – dává lepší výsledky než prostý průměr

Sieve filtr (sieve = síto) - odstraní např. z výsledků klasifikace plochy, které jsou menší než zadaná prahová hodnota. Pixelům těchto malých ploch je přiřazena hodnota pixelů největší sousední plochy a jsou tedy „připojeny“ k této ploše. Slouží k úpravě výsledků klasifikace.

Gaussův (gaussian) filtr jedná se o filtraci za použití váhových koeficientů, které se vypočtou pro jednotlivé pixely kernelu pomocí Gaussovy fce normálního rozdělení

Filtrace rotujícím oknem

| | | |
|----|----|----|
| -1 | -1 | -1 |
| 2 | 2 | 2 |
| -1 | -1 | -1 |

| | | |
|----|---|----|
| -1 | 2 | -1 |
| -1 | 2 | -1 |
| -1 | 2 | -1 |

| | | |
|----|----|----|
| 2 | -1 | -1 |
| -1 | 2 | -1 |
| -1 | -1 | 2 |

| | | |
|----|----|----|
| -1 | -1 | 2 |
| -1 | 2 | -1 |
| 2 | -1 | -1 |

- V tomto případě se okolí filtrovaného obrazového prvku o velikosti 3 x 3 pixely porovnává s předem definovanými vzorovými filtrovacími okny.
- Odpovídající si prvky okolí filtrovaného pixelu a okolí vzorového se vzájemně vynásobí.
- Vzorového okolí s minimální výslednou hodnotou se použije jako průměrový filtr.

Filtrace radarového snímku

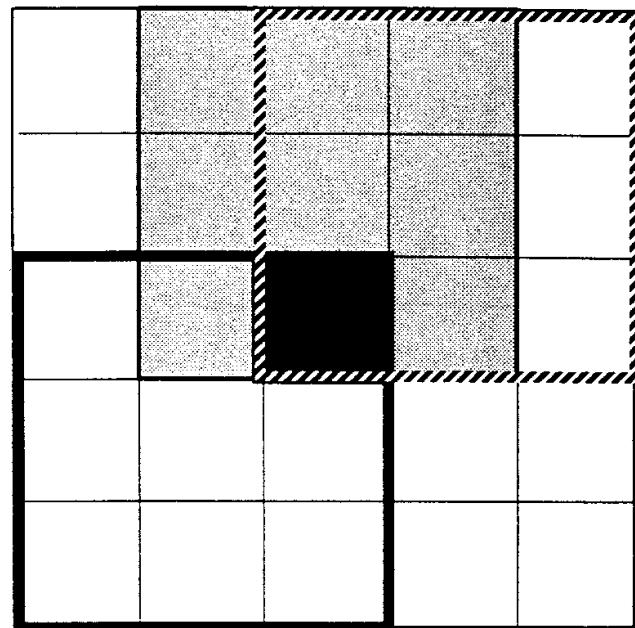
(local region filter)

■ = pixel of interest

▣ = North region

▤ = NE region

▣ = SW region



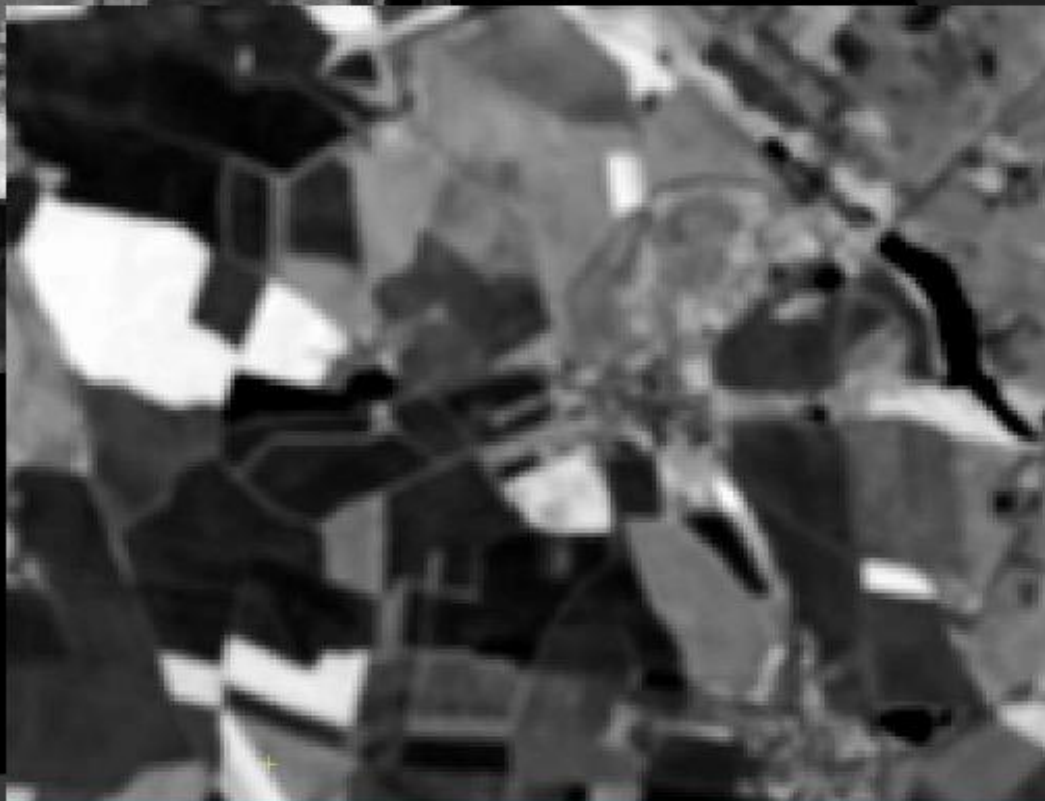
Okénko je rozděleno do osmi částí, pro každou část (region) je vypočtena hodnota rozptylu:

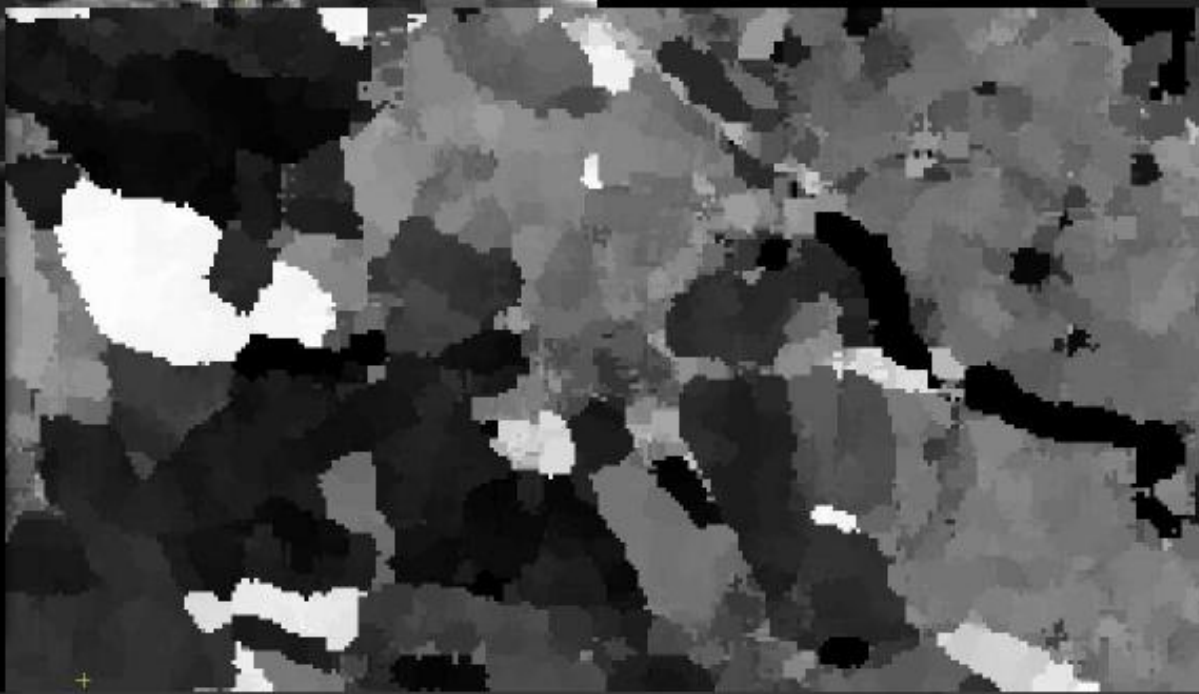
$$\sigma = \frac{DN_{i,j} - DN_{prum}}{n - 1}$$

Hodnota zpracovávaného pixelu je nahrazena průměrnou hodnotou pixelů z regionu, který vykazuje minimální hodnotu rozptylu

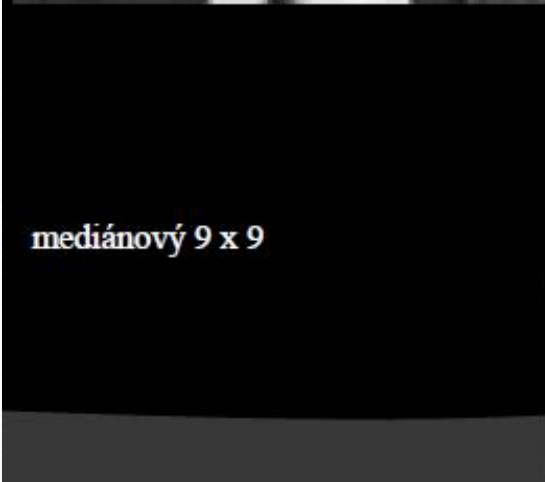


Průměrový 3 x 3



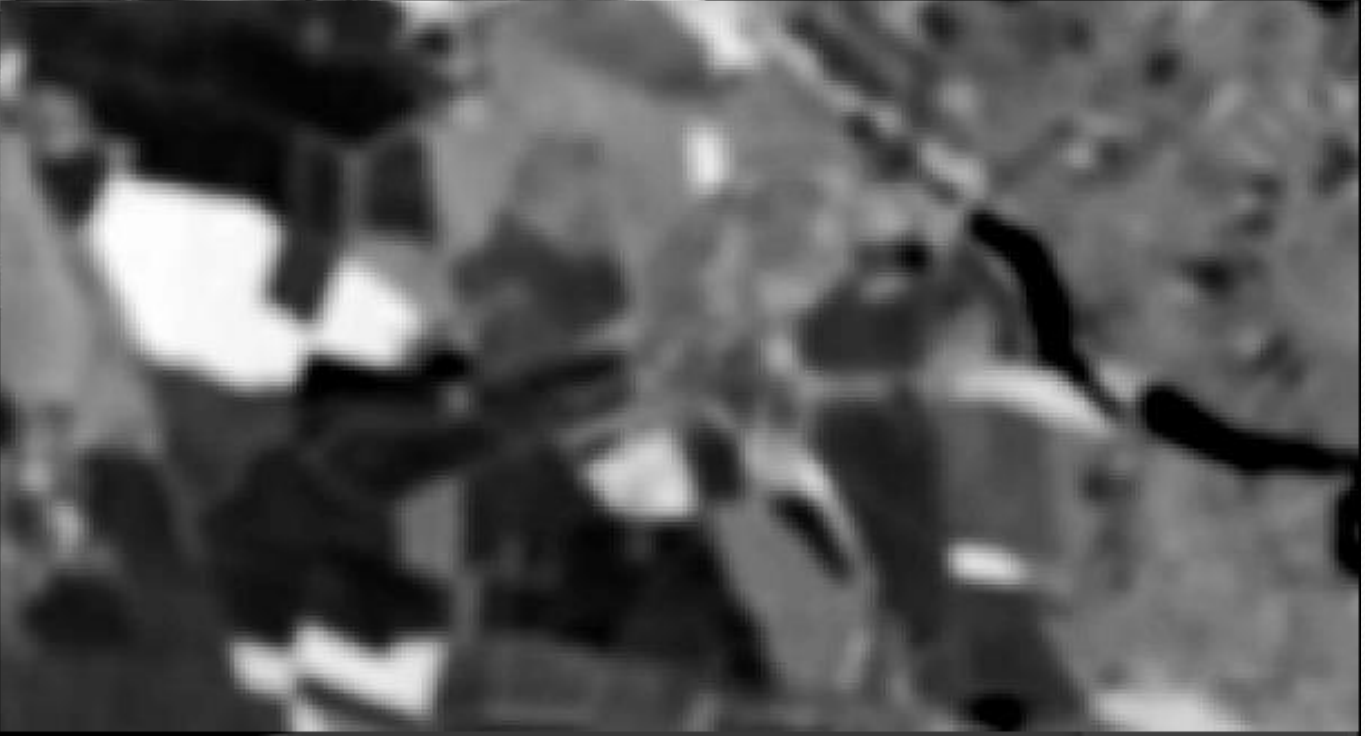


Módový 7x7





Gaussian 7×7



Vysokofrekvenční filtry

- Obecnou funkcí těchto filtrů je určitým způsobem zvýšit rozdíl hodnot mezi filtrovaným centrálním pixelem a jeho okolím.
- Tyto rozdíly reprezentují především hrany a linie.
- Hranou v obraze rozumíme hranici mezi dvěma různými povrchy - například okraj lesa. Na rozdíl od linie má hrana „nulovou“ šířku.
- Linie potom v obraze reprezentují především komunikace, vodní toky a podobně.
- Vysokofrekvenční filtry obecně zdůrazňují objekty, které jsou menší než polovina filtrovacího okna, širší objekty potlačují. Proto se i zde používají různé velikosti filtrů.

Laplaceovské filtry

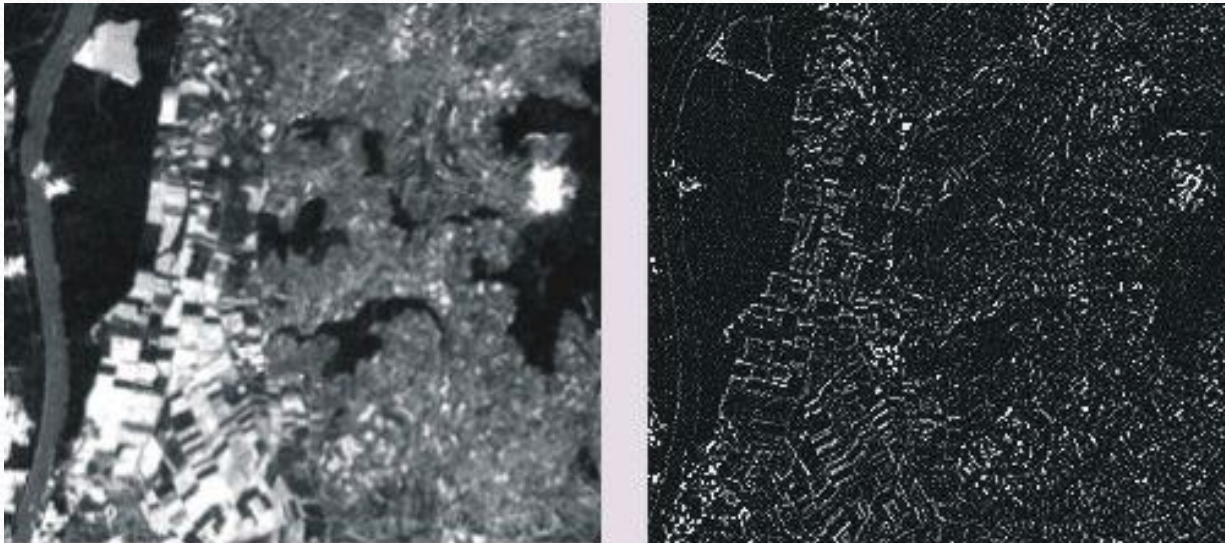
- Váhy v jednotlivých pozicích filtrovacího okna jsou definovány tak, že váha středového členu je rovna součtu vah všech členů sousedních

| | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|
| 0 | -1 | 0 | -1 | -1 | -1 |
| -1 | 4 | -1 | -1 | 8 | -1 |
| 0 | -1 | 0 | -1 | -1 | -1 |

- Suma všech vah je rovna nule.

- Filtr potom produkuje na výstupu nulové hodnoty v homogenních částech obrazu a naopak vysoké či nízké hodnoty pro ty pixely, jejichž hodnota v originálním obraze je větší resp. menší než hodnota okolních pixelů.

(zvyšuje lokální maxima a prohlubuje lokální minima)



Sobelův filtr

| | | |
|----|----|----|
| -1 | -2 | -1 |
| 0 | 0 | 0 |
| 1 | 2 | 1 |

X

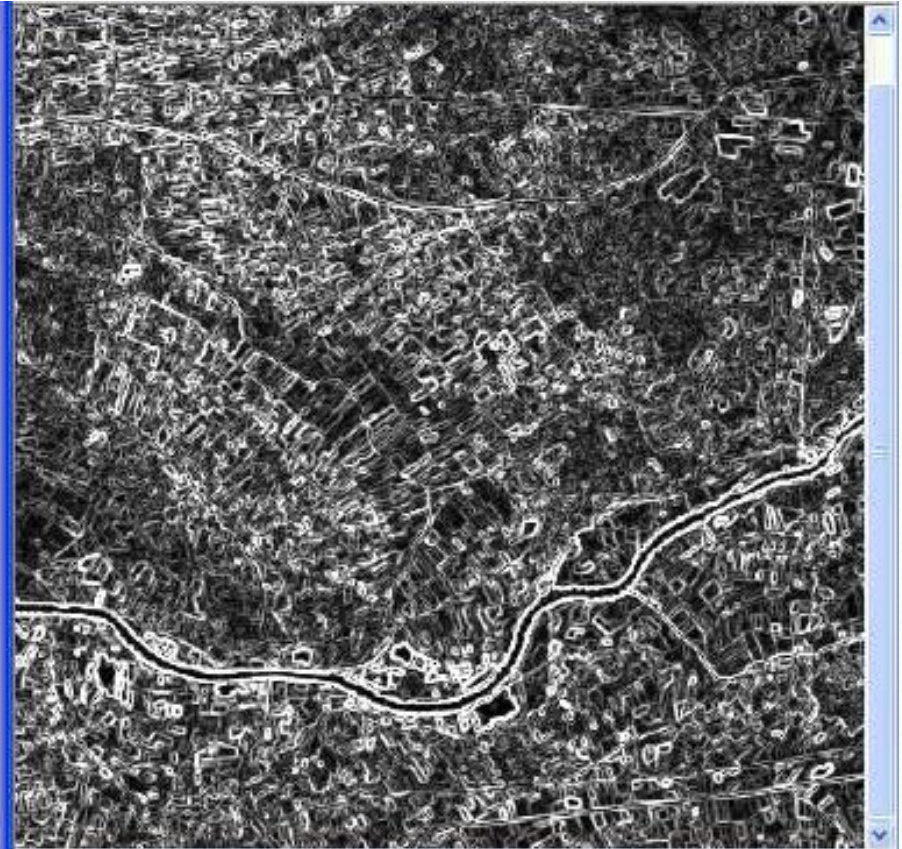
| | | |
|----|---|---|
| -1 | 0 | 1 |
| -2 | 0 | 2 |
| -1 | 0 | 1 |

Y

- Filtry mohou v obraze zdůrazňovat hrany nebo linie pouze určitého směru (orientace).
- Sobelův filtr zdůrazňuje všechny horizontální a vertikální hrany a linie v originálním obraze.
- V některých případech je možné obě uvedená okna kombinovat a vypočítat tzv. Sobelův gradient.
- Pro každý směr je vypočtena hodnota X a Y jako suma součinů příslušné váhy ve filtrovacím okně a hodnoty pixelu.
- Výsledný Sobelův (SG) gradient se potom vypočte ze vztahu:

$$SG = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

Sobelův filtr



Prewittův filtr

| | | |
|----|---|---|
| -1 | 0 | 1 |
| -1 | 0 | 1 |
| -1 | 0 | 1 |

| | | |
|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 |
| 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

- Na stejném principu jako Sobelův filtr je založen tzv. Prewittův filtr a gradient k detekci hran v obraze
- Výpočet Prewittova gradientu probíhá podle stejného vzorce jako v případě Sobelova gradientu.

„Ostřicí (edge)“ filtry

Každý obraz lze považovat za průnik množin představujících vysokofrekvenční a nízkofrekvenční informaci.

Vysokofrekvenční informaci lze získat také odečtením nízkofrekvenční informace od původního obrazu.

Tyto filtry se nazývají diferenční (high pass differential). Na tomto principu je založen například tzv. zostřující filtr (edge sharpening filter).

Ostření“ (sharpening) obrazu nebo detekce a zvýraznění linií a hran slouží k následné vektorizaci liniových prvků v obraze.

Nejprve je původní obraz filtrován průměrovým filtrem, který potlačí linie a hrany.

Takto shlazený obraz je odečten od obrazu originálního, čímž obdržíme obraz, v němž je vysokofrekvenční informace o hranách a liniích zachována.

Nakonec je tento obraz přičten k obrazu původnímu, čímž obdržíme výsledek, ve kterém jsou hrany a linie „ostřeji“ ohraničeny vůči okolí.

Filtry využívající mapové algebry

(detekce a potlačení bitových chyb):

| | | |
|-----|-----|-----|
| DN1 | DN2 | DN3 |
| DN4 | DN5 | DN6 |
| DN7 | DN8 | DN9 |

$$\text{PRUM1} = (\text{DN1} + \text{DN3} + \text{DN7} + \text{DN9}) / 4$$

$$\text{PRUM2} = (\text{DN2} + \text{DN4} + \text{DN6} + \text{DN8}) / 4$$

$$\text{DIFF} = \text{ABS} (\text{PRUM1} - \text{PRUM2})$$

$$\text{PRAH} = \text{DIFF} * \text{VÁHA}$$

$$\text{IF ABS} (\text{DN5} - \text{PRUM1}) \text{ OR ABS} (\text{DN5} - \text{PRUM2}) > \text{PRAH}$$

$$\text{POTOM DN5}' = \text{PRUM2}$$

$$\text{JINAK DN5}' = \text{DN5}$$

Čím menší váha, tím více pixelů bude považováno za šum ve snímku

Nástroje pro definování filtrů uživatelem (Geomatica)

aps Files

Unnamed Map

New Area

CB.PIX:1,2,3

CB.PIX

CB.PIX

CB.PIX

Filter: CB.PIX:1,2,3

Area of Interest

Mask: Entire image

Output only mask area

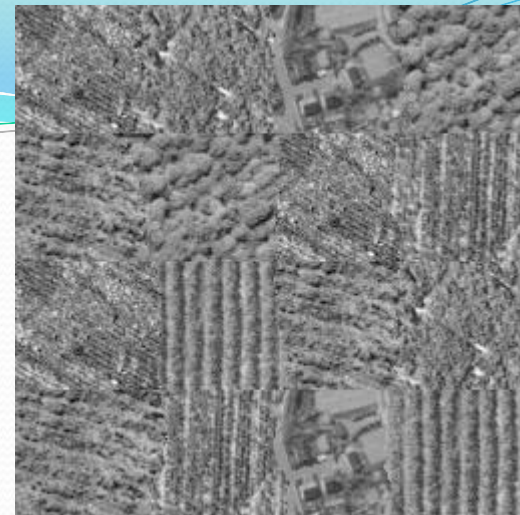
Filter size X: 3 Y: 3

Low Pass High Pass Custom

| | | | |
|----|---------|---------|---------|
| | -1 | 0 | 1 |
| -1 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 |
| 0 | 0.00000 | 1.00000 | 0.00000 |
| 1 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 |

Zvýraznění textury

- **Textura je významným interpretačním znakem, v případě digitálního zpracování obrazu je však problematické texturu vyjádřit určitou číselnou charakteristikou.**
- **Textura je plošná proměnlivost tónu uvnitř obrazu a výrazná textura je typická především pro radarové snímky**
- **Filtry určené k definování textury v obraze jsou založeny na výpočtu různých statistických měr homogenity či naopak variability hodnot všech pixelů v rámci filtrovacího okna.**
- **Textura může být charakterizována rozptylem hodnot, variačním koeficientem, koeficientem šikmosti či špičatosti, entropií apod.**
- **Na rozdíl od výše uvedených filtrací je k definování textury často nutné definovat poměrně velké rozměry filtrovacího okna.**

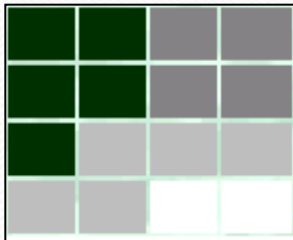


Zvýraznění textury

Většina měř textury je založena na GLCM (Grey Level Co-occurrence Matrix)

Je to čtvercová matice, která vyjadřuje, jak často se určité kombinace DN hodnot pixelů v obraze vyskytují.

Z GLCM lze vypočítat popisné charakteristiky textury. Těch potom můžeme využít např. jako vstupu do klasifikace.



| | | | |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 2 | 2 | 2 |
| 2 | 2 | 3 | 3 |

| | 0 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 2 | 2 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 3 | 1 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 1 |

Většina měř textury je **váženým průměrem** buněk GLCM

Míry textury



| | 0 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 2 | 2 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 3 | 1 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 1 |

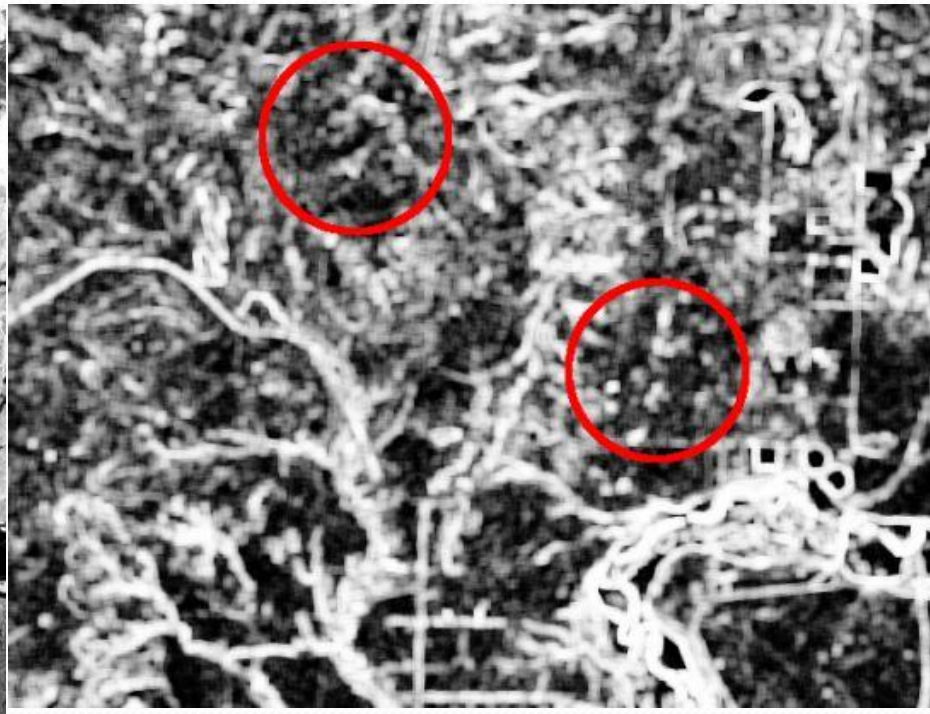
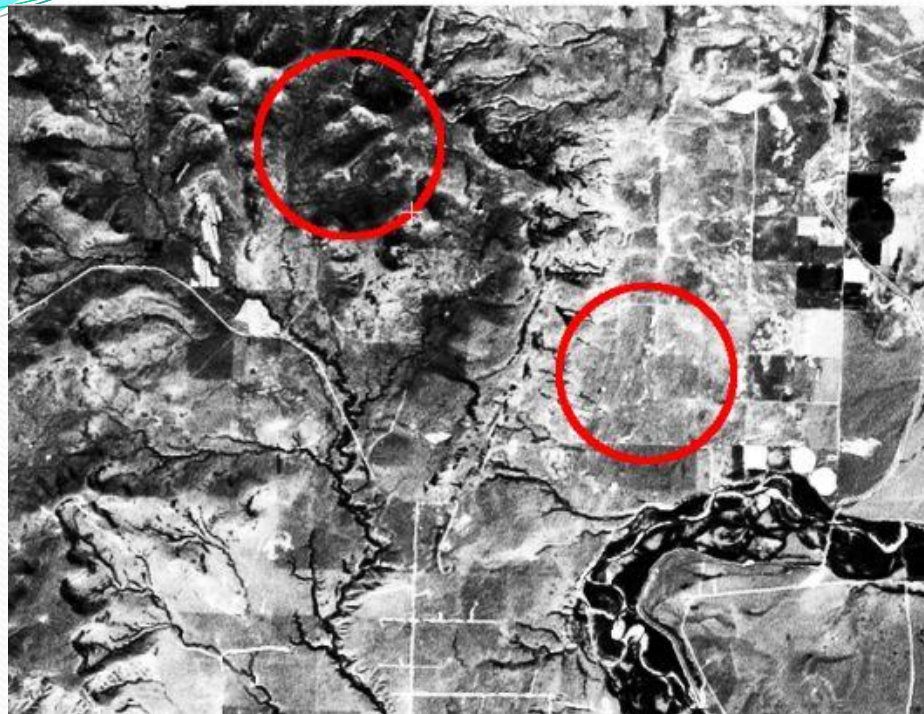
Kontrast jako míra textury - **vážený průměr** buněk GLCM.

$$Kontrast = \sum_{i,j=0}^{N-1} P_{i,j} \cdot (i - j)^2$$

Interpretace: $P_{(i,j)}$ je symetrická matice GLCM rozměru $n \times n$ (n je počet stupňů šedi)

Je-li i a j stejné (na diagonále) váha je 0. Liší li se i a j o 1 váha je 1, liší li se o 2 váha je 4 atd. Váhy exponenciálně rostou.

Výsledkem zpracování jsou snímky zvýrazňující resp. kvantifikující texturu (**texture image**)



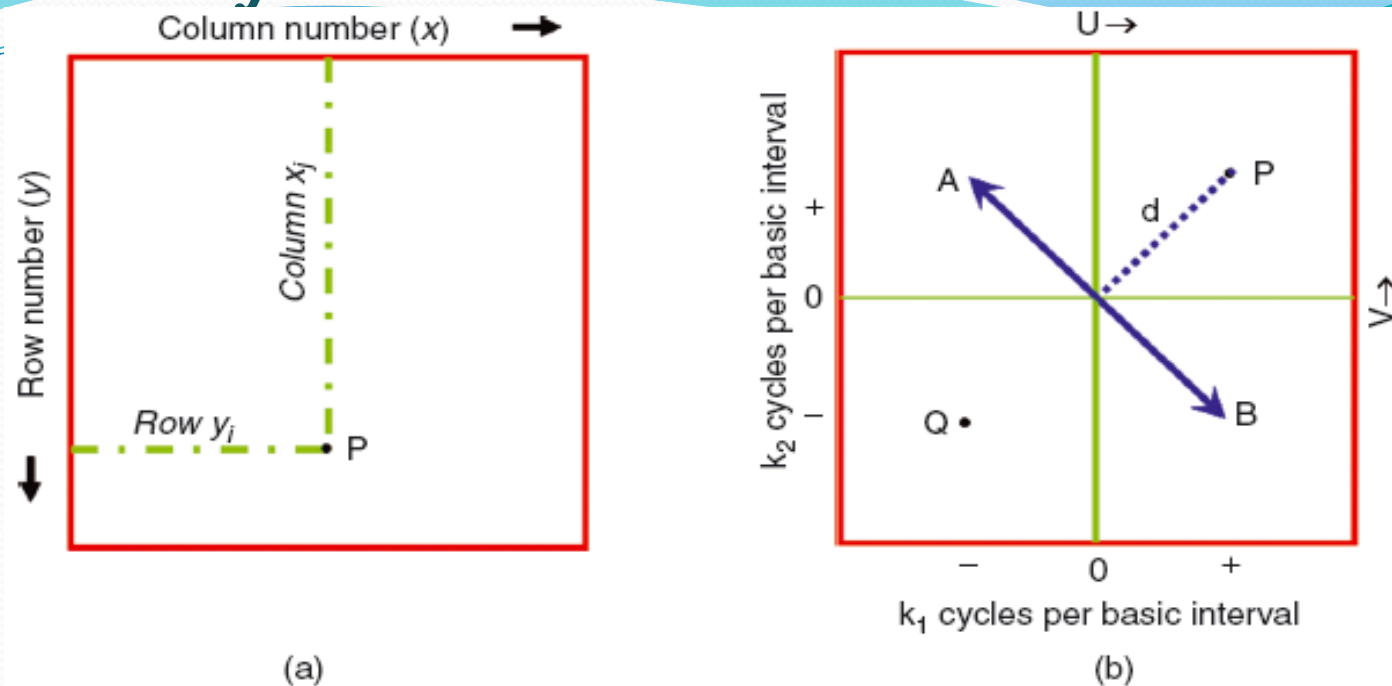
aplikace kontrastu GLCM

Fourierovy transformace

Prostřednictvím tzv. Fourierových transformací lze průběh jakékoliv jednorozměrné spojité funkce $f(x)$ popsat pomocí série trigonometrických funkcí \sin a \cos o různých amplitudách a frekvencích.

Vlastní operace je proložení spojité funkce diskrétními hodnotami DN, jakoby byly „vytečkovány“ podél každé řádky a sloupce obrazu, „vrcholy“ a „prohlubně“ podél jakékoliv řádky lze popsat pomocí fce \sin a \cos s různými amplitudami, frekvencemi a fázemi pro každou možnou četnost v obraze.

Fourierovy transformace obrazu



**Obor původních souřadnic
(spatial-domain)**



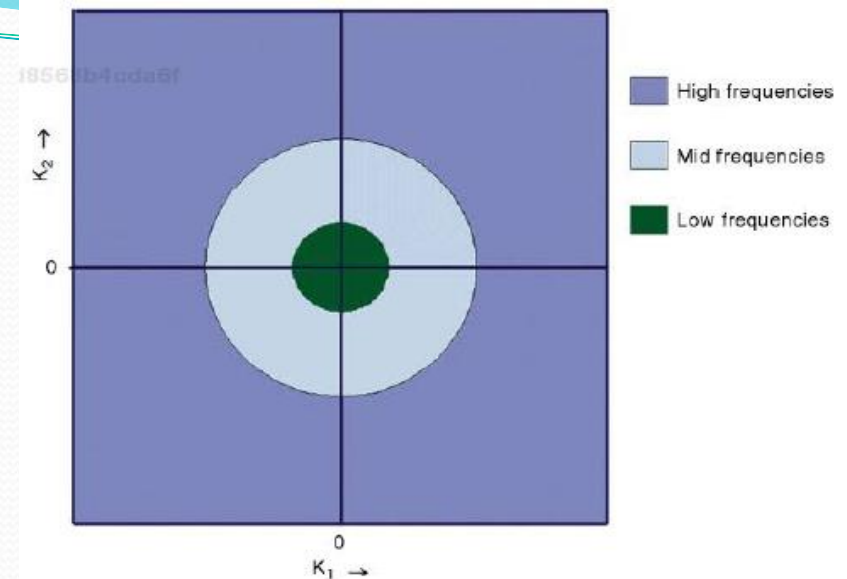
**Frekvenční obor
(frequency-)**

Figure 6.16 (a) Spatial domain representation of a digital image. Pixel P has coordinates (i, j) with respect to the image row and column coordinate axes, or $(i \Delta x, i \Delta y)$ metres, where Δx and Δy are the dimensions of the image pixels in the row and column direction, respectively. (b) Frequency-domain representation, showing the amplitude spectrum of the image. The value at P is the amplitude of a sinusoidal wave with frequency $U = k_1$ and $V = k_2$ cycles per basic interval in the u and v directions, respectively. The wavelength of this sinusoidal wave is proportional to the distance d . The orientation of the waveform is along direction AB. Point Q $(-U, -V)$ is the mirror image of point P.

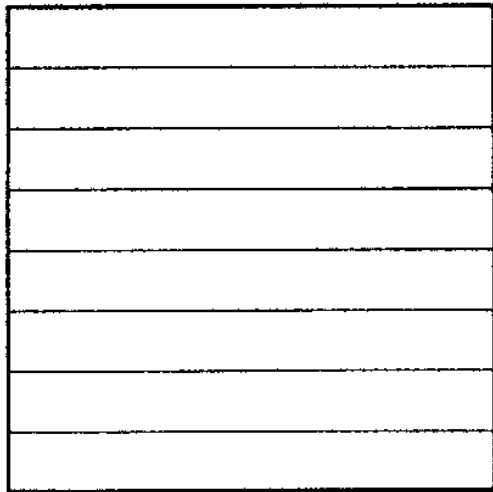
F(u, v) je komplexní funkce dvou reálných frekvenčních proměnných u a v
u odpovídá frekvenci podél osy x
v odpovídá frekvenci podél osy y
ze souřadnicového systému prostorového x,y jsme v souřadnicovém systému os frekvencí u, v

Fourierovy transformace

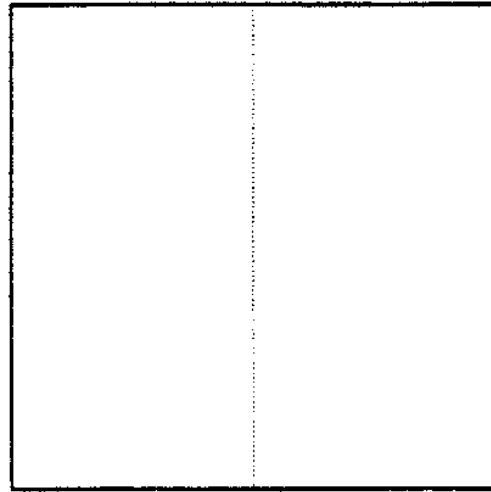
- Snímek transformovaný do jednotlivých frekvencí je možné zobrazit ve dvourozměrném poli jako Fourierovo spektrum
- Nízké frekvence v originálním obraze odpovídají střední části spektra, vysoké frekvence se posouvají k jeho okrajům
- Ze spektra lze vyčíst orientaci hran a linií reprezentovaných danými frekvencemi. Hrany a linie orientované horizontálně v originálním obraze jsou ve Fourierově spektru prezentovány jeho vertikální složkou a naopak.
- Stupeň šedi ve Fourierově spektru vyjadřuje četnost výskytu dané frekvence v obraze.



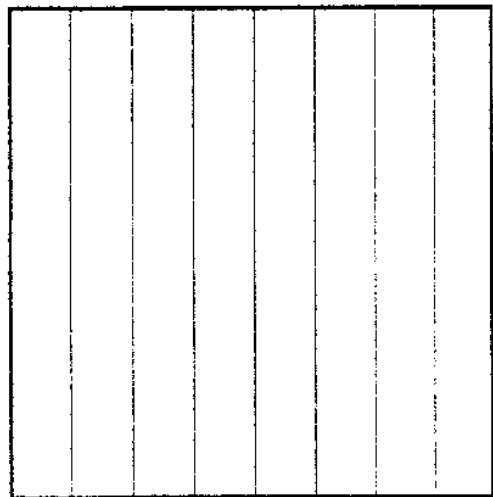
Fourierovy transformace obrazu



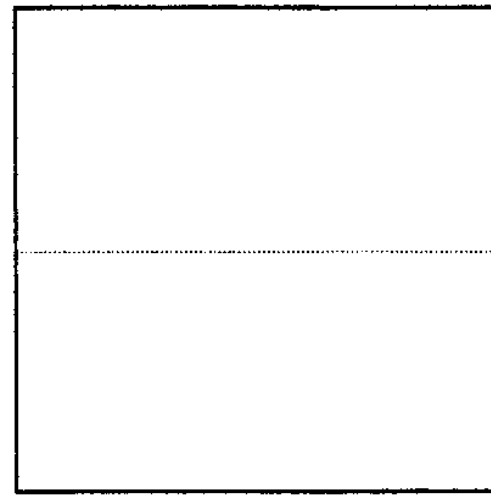
(a)



(



(b)

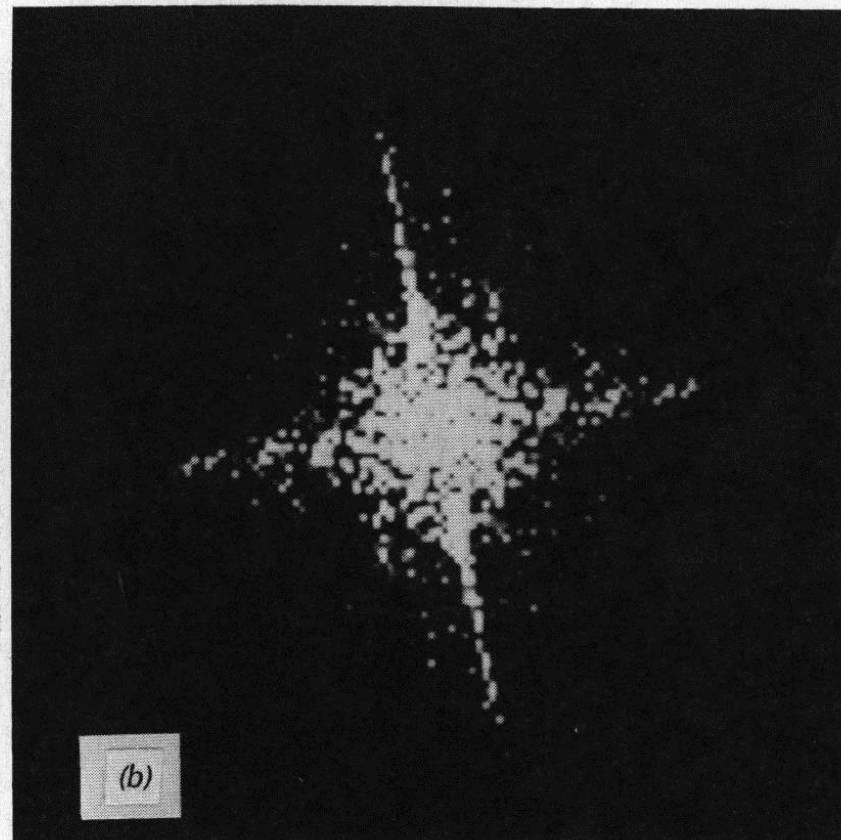
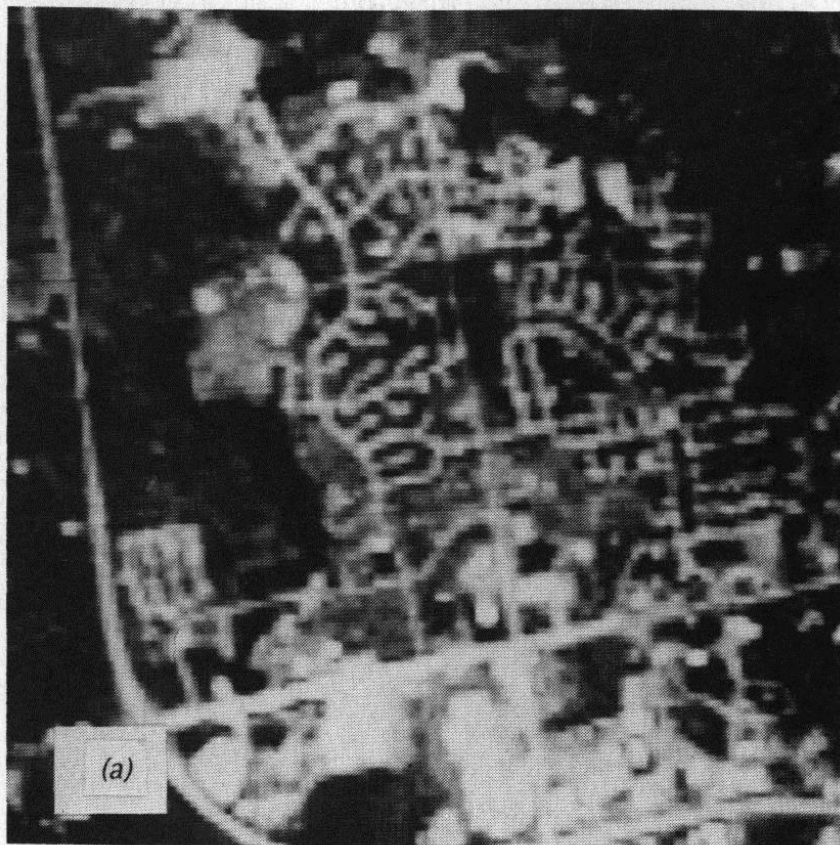


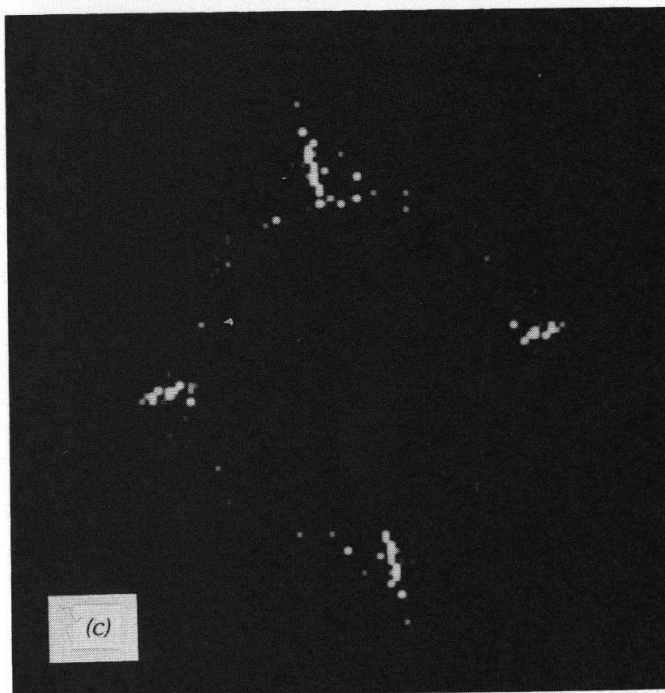
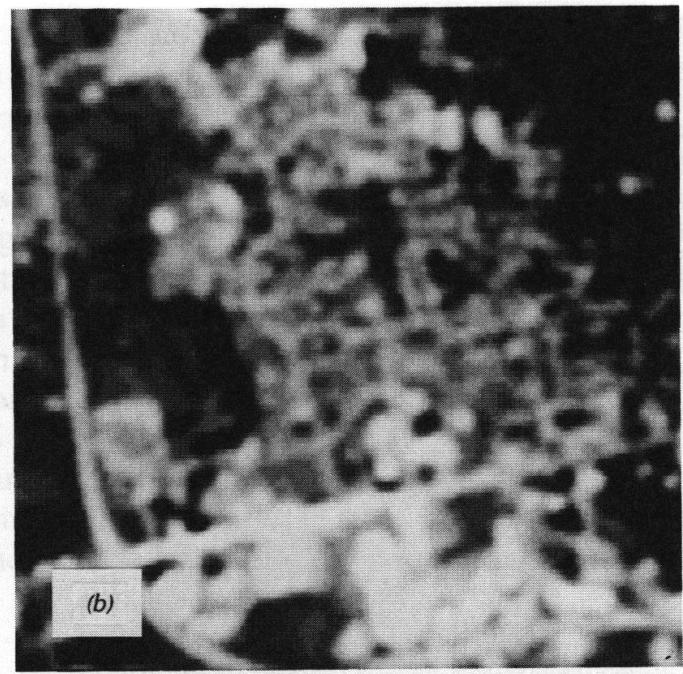
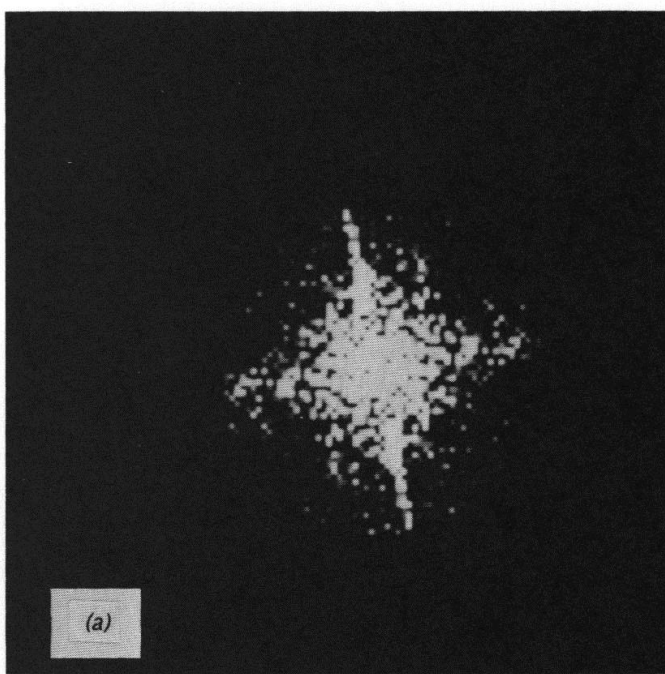
(t

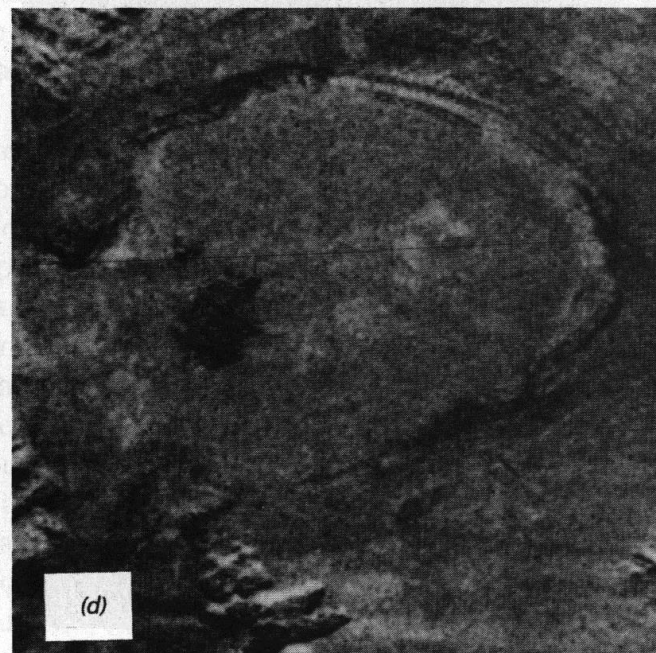
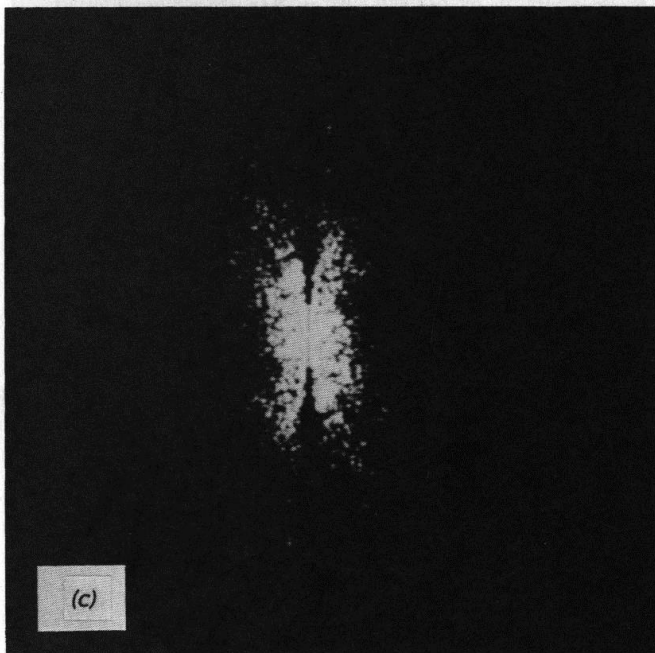
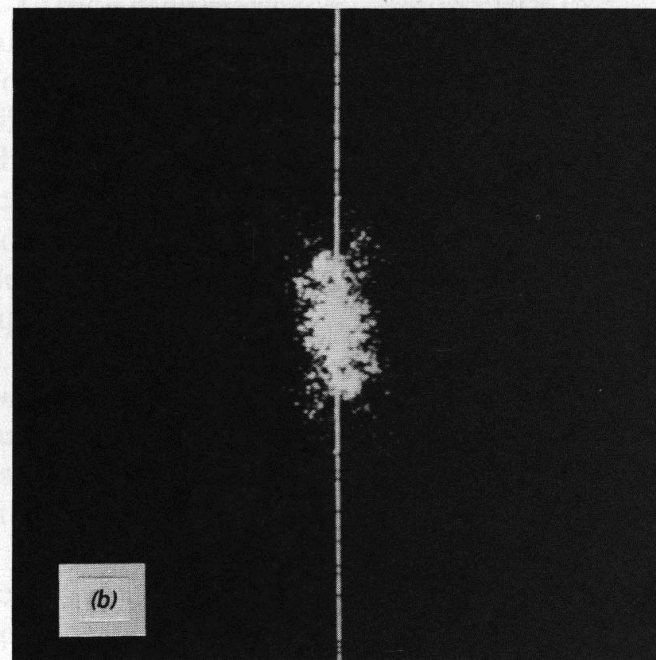
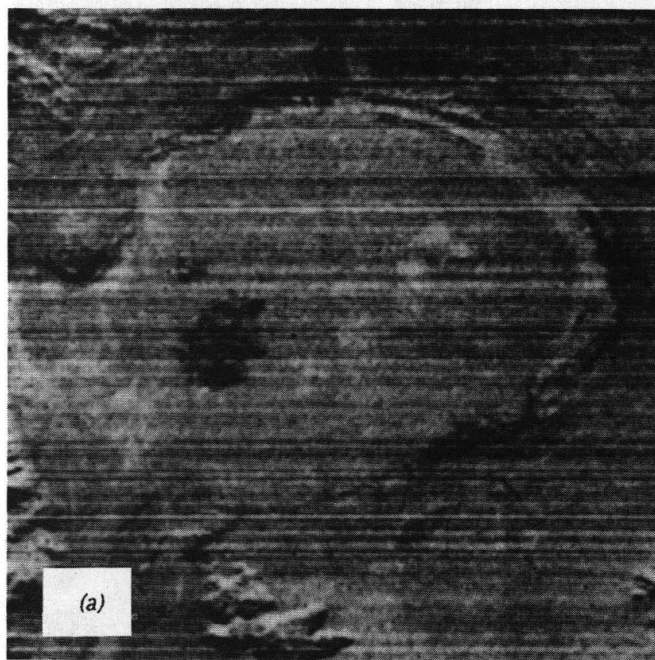
Fourierovy transformace

- Uvedené frekvenční spektrum lze tzv. inverzní Fourierovou transformací převést zpět do prostorového souřadného systému a rekonstruovat tak původní obraz.
- Pokud tedy před touto inverzní transformací jsou z Fourierova spektra odstraněny určité frekvence, výsledný zrekonstruovaný obraz může být upraven podobně jako v případě použití nízko- či vysokofrekvenčního filtru.
- Fourierovy transformace lze využít k potlačení šumu, k odstranění pruhů, k detekci linií a hran.

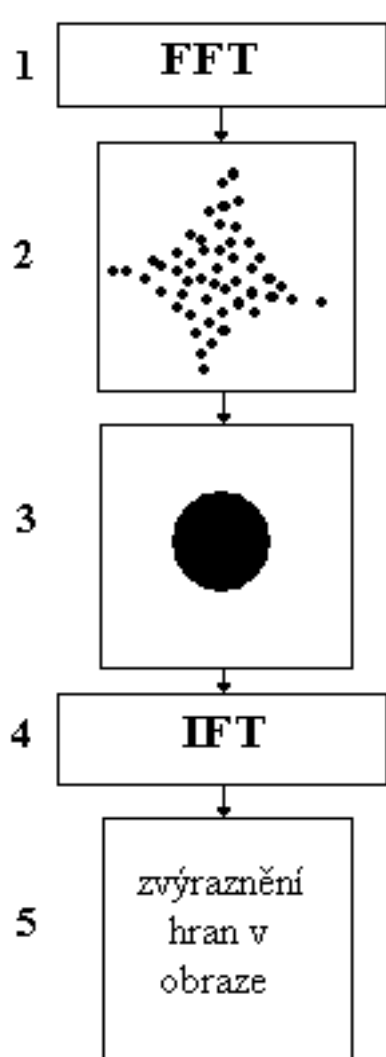
Příklady využití fourierových transformací k analýze obrazu



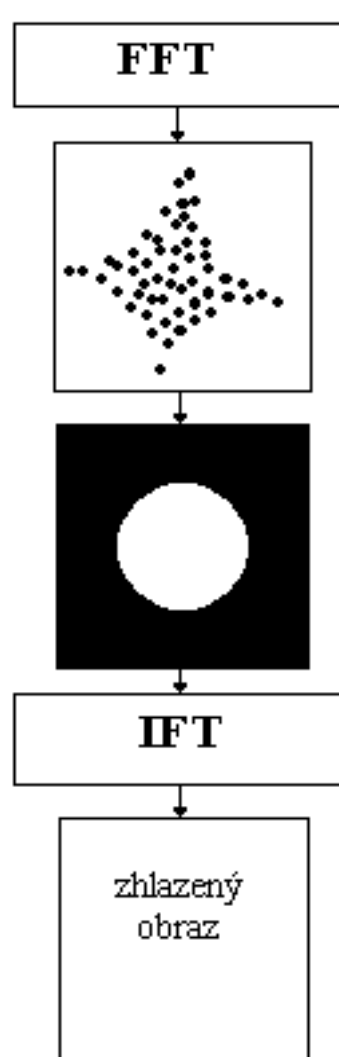




Využití Fourierovy transformace pro vysokofrekvenční (a) a nízkofrekvenční (b) filtraci obrazu.



a)



b)

1 - FFT - Fourierova transformace,

2 - Fourierovo spektrum

3 - odfiltrování vhodných frekvencí pomocí masky

4 - IFT - inverzní Fourierova transformace

5 - výsledný upravený obraz.

Černé plochy v použité masce indikují ty frekvence, které jsou potlačeny (odfiltrovány).