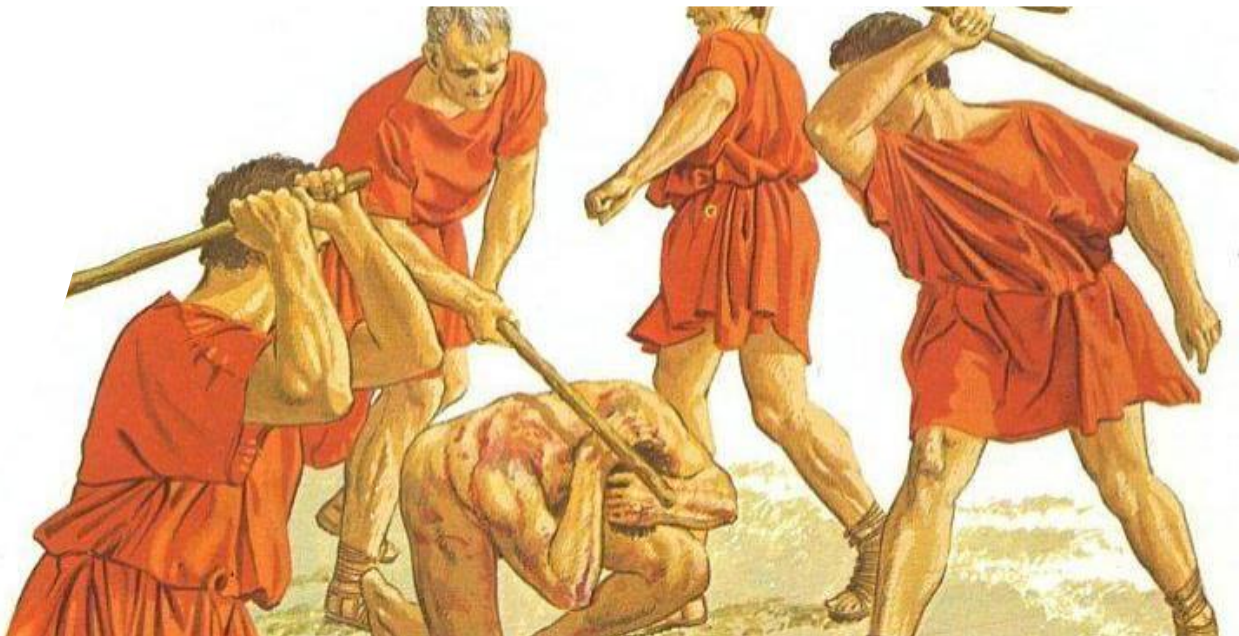
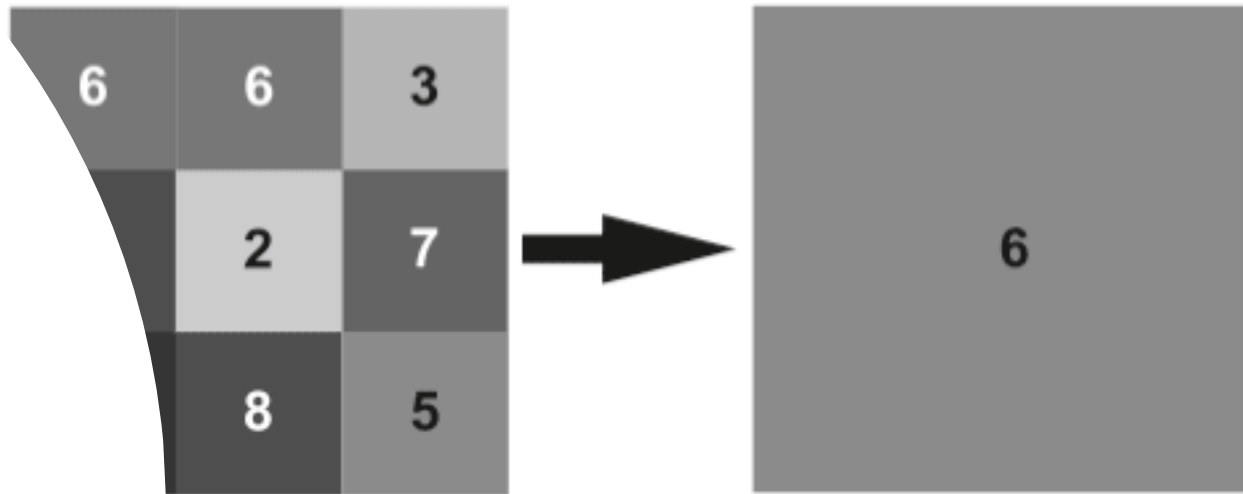




Číslicové spracovanie obrazov

Prednáška č. 7

- **Decimácia a interpolácia obrazu**
- Diskrétna Waveletova Transformácia (DWT)
- Hierarchická reprezentácia obrazu
- Niektoré aplikácie pyramídovej reprezentácie v praxi



Decimácia obrazu

Decimácia

je proces, pri ktorom dochádza k zníženiu priestorového rozlíšenia obrazu.

Často sa stretávame a s pojmom **podvzorkovanie (downsampling)**.

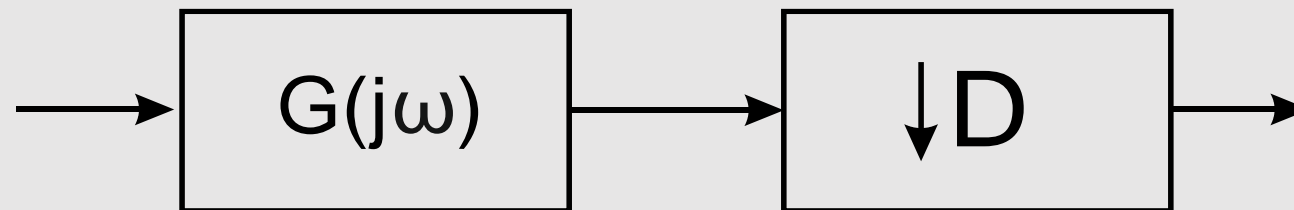
Pre zaujímavosť:

Pôvod slova **decimácia** (lat: *decimatio*) pramení zo spôsobu potrestania vojska v starovekom Ríme, kedy sa trestaná jednotka rozdelila na skupiny po 10 vojakov. V každej skupine sa potom losovaním určil vojak, ktorý bol zvyšnými deviatimi vojakmi popravený.

Decimácia obrazu – *decimačný filter*

- Decimačný filter pozostáva z dvoch blokov
- **Decimátor** - ponechanie D-tého prvku obrazu a vynechanie všetkých prvkov medzi celočíselnými násobkami čísla D
- **D nazývame faktor decimácie**
- Najčastejšie používané faktory decimácie sú 2 a 4
- **Dolnopriepustný filter** plní funkciu antialiasingového filtra

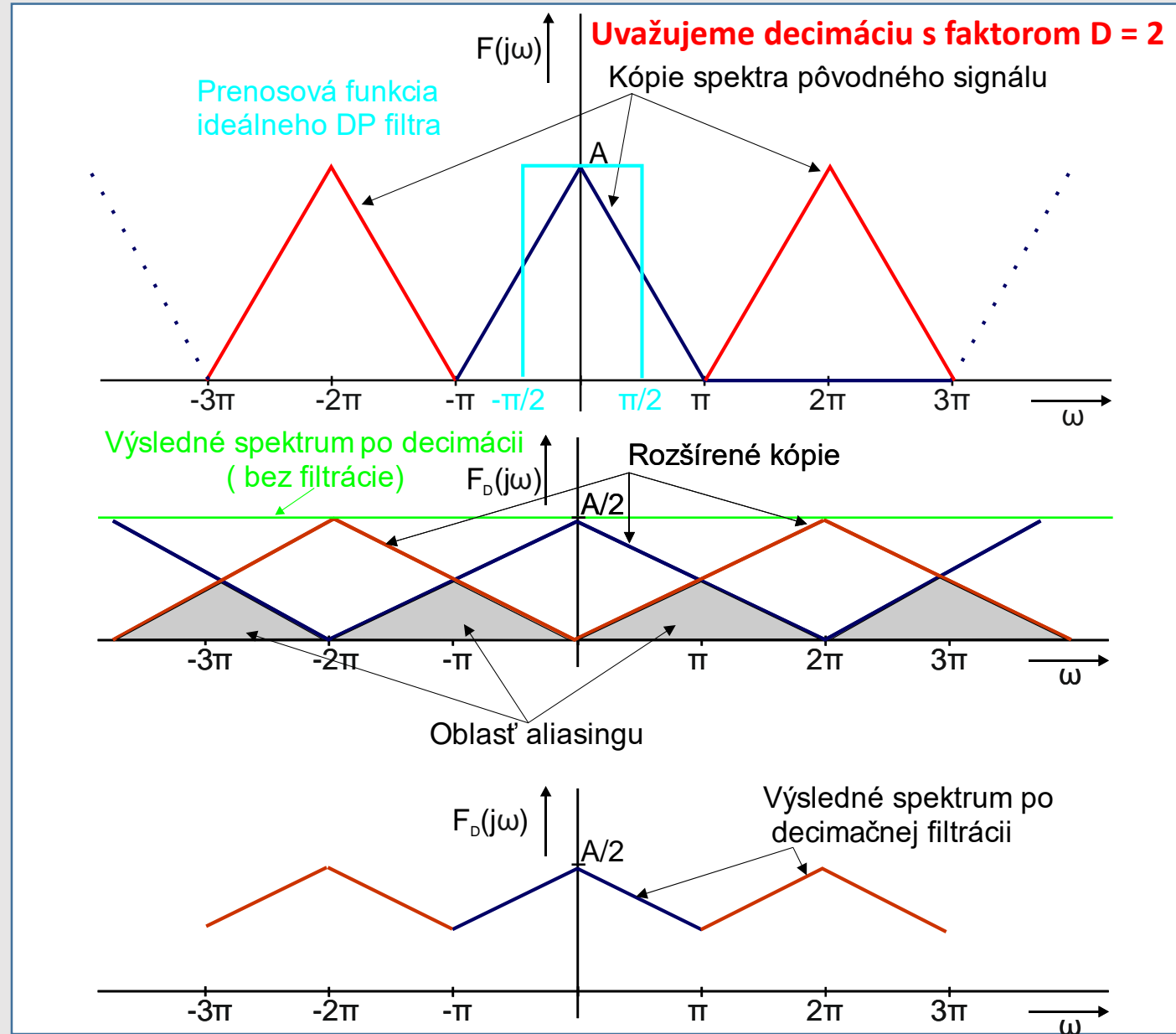
$$f_D(n, m) = f(D \cdot n, D \cdot m)$$



pozn. Uvažujeme, že decimačnú filtráciu aplikujeme na riadky a následne na stĺpce obrazu

Decimácia obrazu – *decimačný filter*

- Decimácia sa na spektre signálu prejaví jeho rozšírením.
 - Ak uvažujeme diskretný signál, musíme uvažovať, že jeho spektrum je nekonečné a periodické.
- **Antialiasingový filter** si pre jednoduchosť môžeme predstaviť ako ideálny filter s medznou frekvenciou tak, ako je uvedené v nasledujúcej rovnici: $\omega = \frac{\pi}{D}$
- V praxi namiesto ideálneho DP filtra môžeme použiť Gaussov alebo iný DP filter
- **Aliasing** - prekrývanie spektier. Spektrálne zložky, ktoré sú prekryté, sa sčítajú do výsledného spektra decimovaného signálu

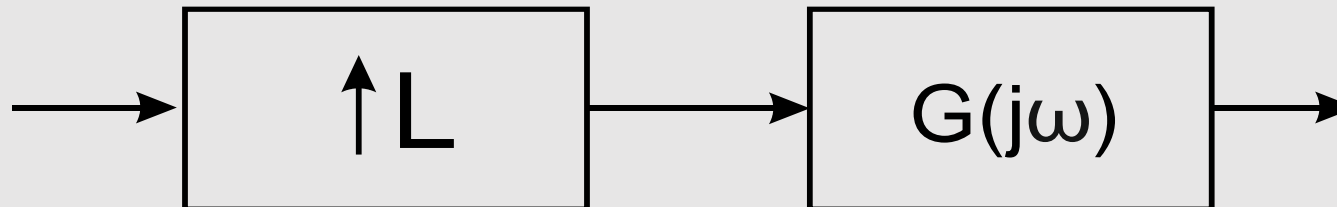


Interpolácia obrazu

- Interpoláciou je možné zvýšiť priestorové rozlíšenie obrazu
- Interpoláciou (v klasickom ponímaní) nie je možné zvýšiť rozlíšenie obrazu pri súčasnom zvýšení detailov obsiahnutých v obraze
- Najjednoduchšia interpolácia je založená na vkladaní op s nulovou hodnotou (**zero-padding**)

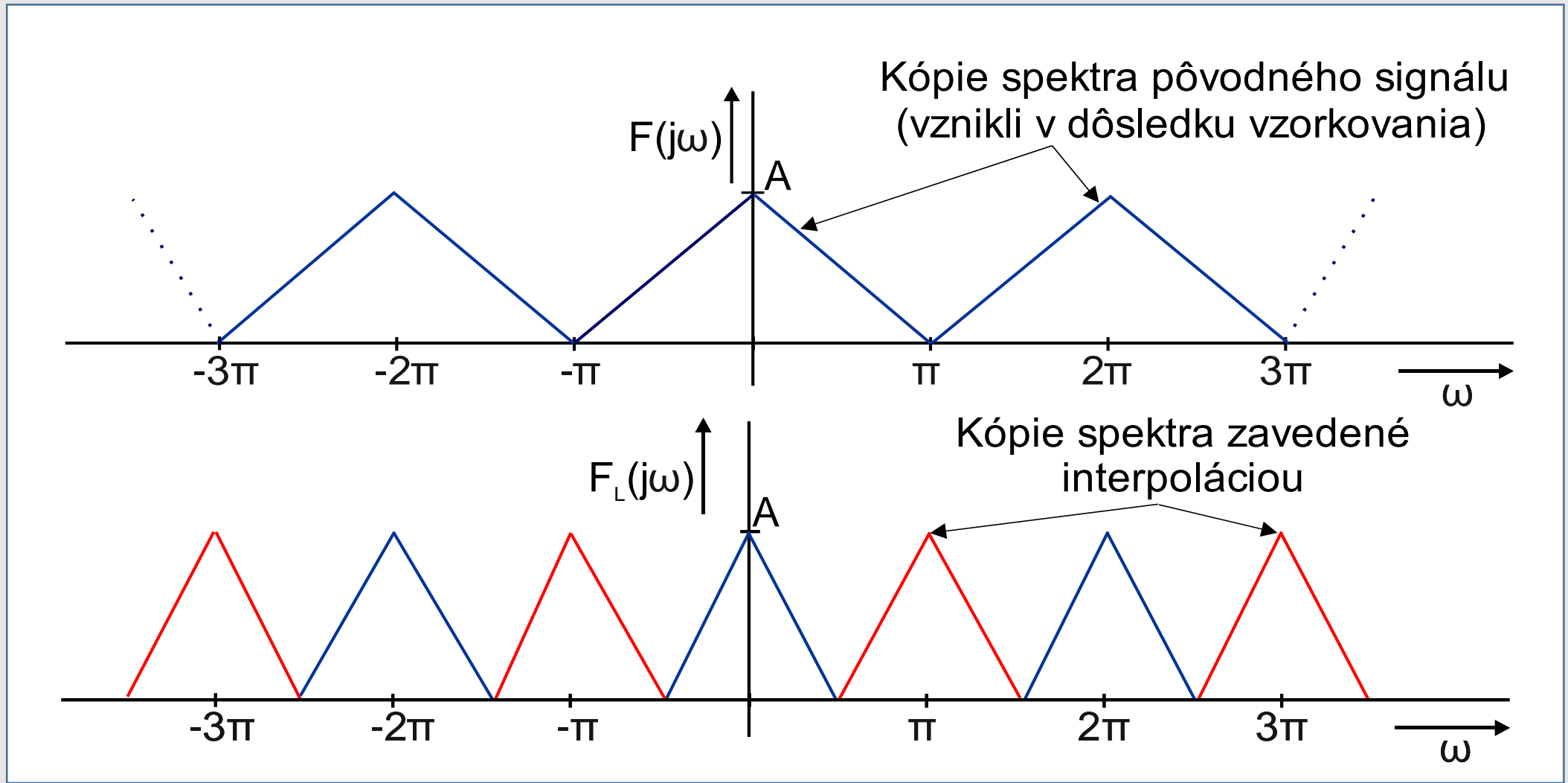
$$f_L(n) = \begin{cases} f(n/L), & n \bmod(L) = 0 \\ 0, & \text{inde} \end{cases}$$

- Pri interpolácii sa za interpolátor zaradzuje DP filter, čím vzniká **interpolačný filter (IF)**. DP filter odstraňuje spektrálne kópie a v obrazovom priestore sa to prejaví rozložením energie nenulových prvkov aj na prvky, ktoré sú nulové. Interpolovaný obraz je potrebné zosilniť faktorom 4 (v prípade, že $L=2$).



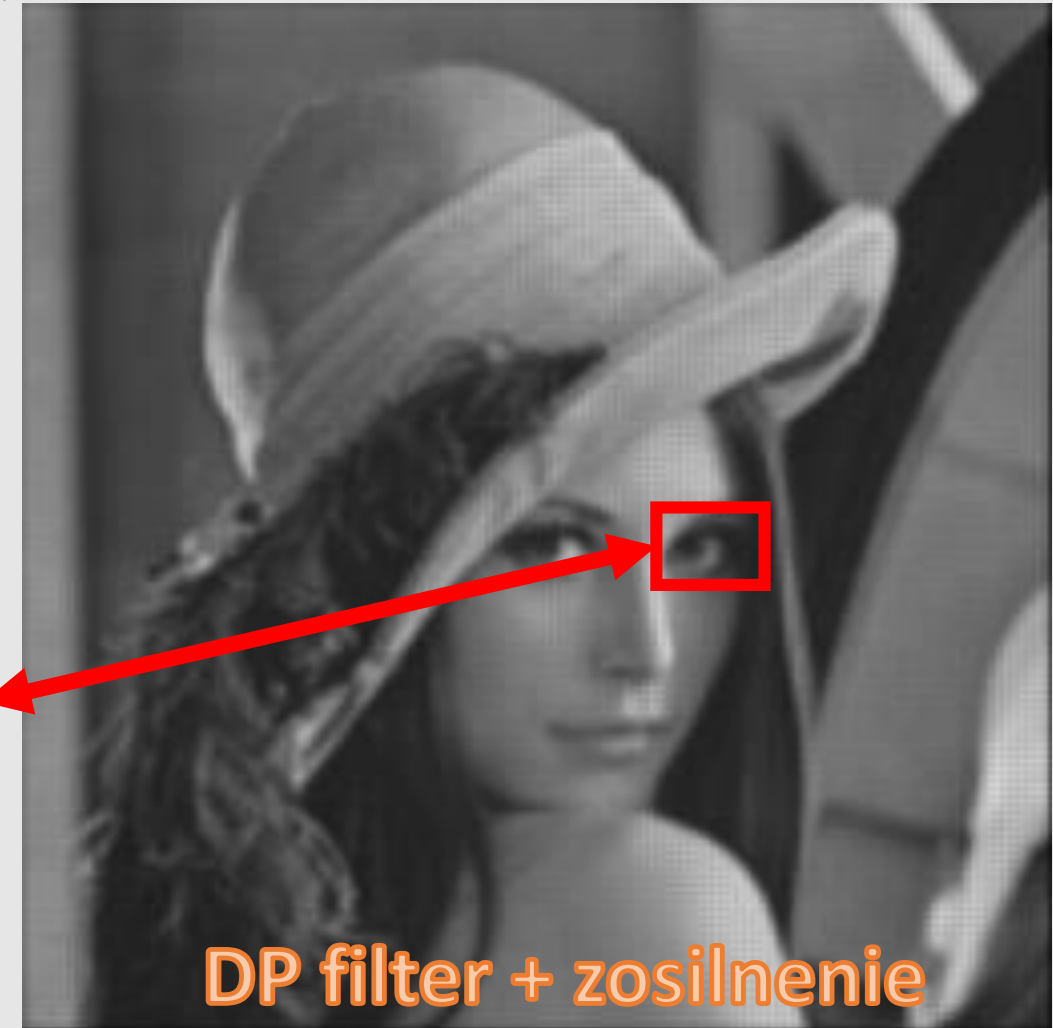
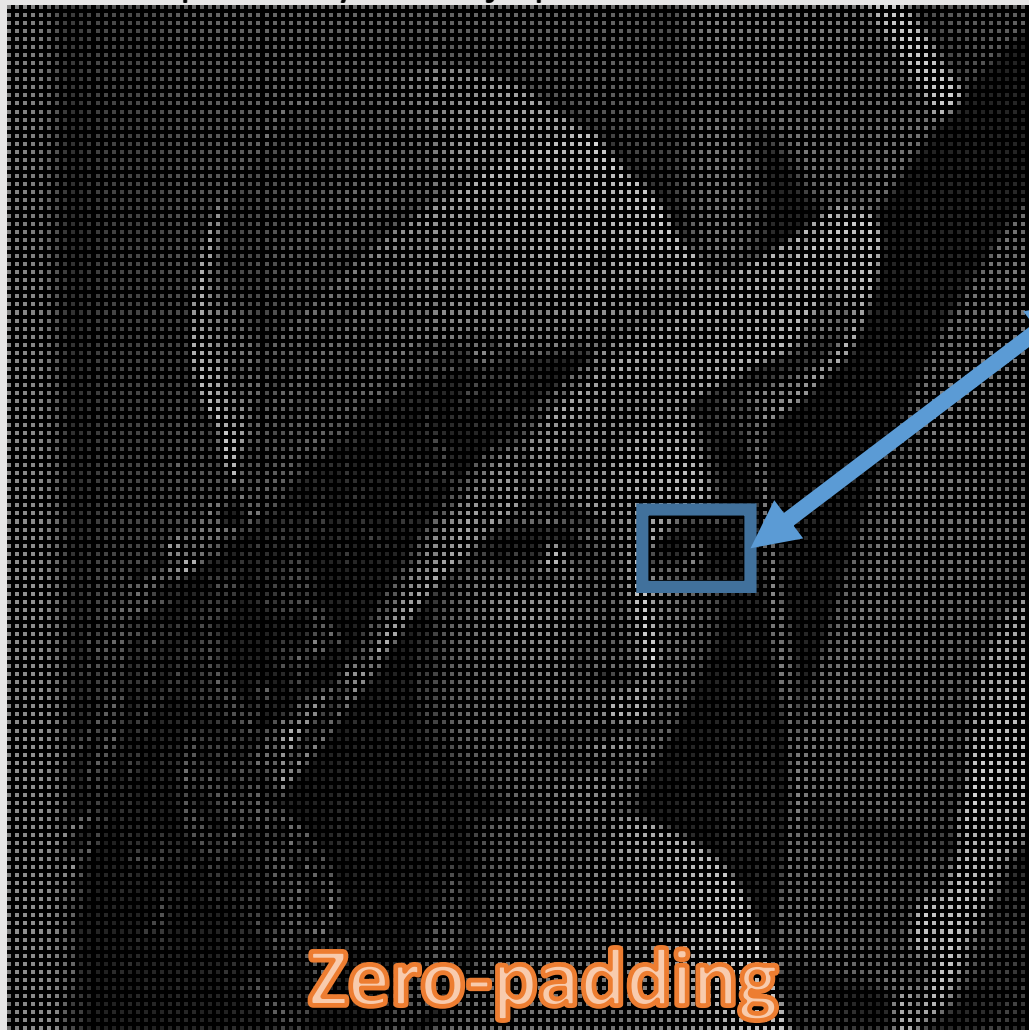
Interpolácia obrazu

- Pri interpolácii sa za interpolátor zaradzuje DP filter, čím vzniká **interpoláčny filter (IF)**. DP filter odstraňuje spektrálne kópie a v obrazovom priestore sa to prejaví rozložením energie nenulových prvkov aj na prvky, ktoré sú nulové. Interpolovaný obraz je potrebné zosilniť faktorom 4 (v prípade, že $L=2$).



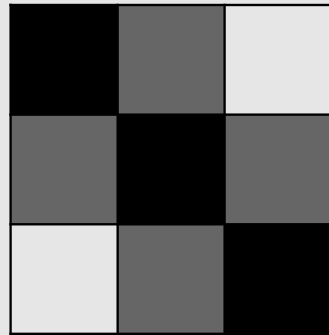
Interpolácia obrazu

- Pri interpolácii sa za interpolátor zaradzuje DP filter, čím vzniká **interpolačný filter (IF)**. DP filter odstraňuje spektrálne kópie a v obrazovom priestore sa to prejaví rozložením energie nenulových prvkov aj na prvky, ktoré sú nulové. Interpolovaný obraz je potrebné zosilniť faktorom 4 (v prípade, že $L=2$).

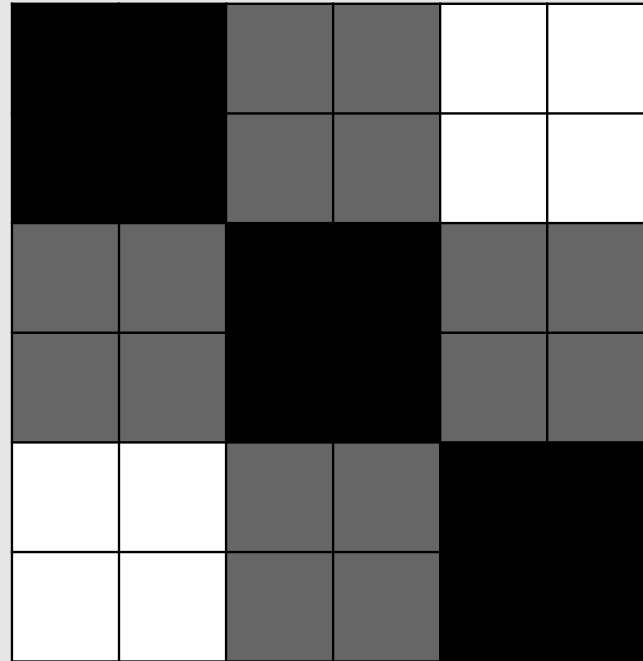


Interpolácia obrazu - opakovanie susednej vzorky

- Princíp tejto metódy spočíva v opakovaní predchádzajúcej vzorky (**Nearest-neighbor interpolation**)

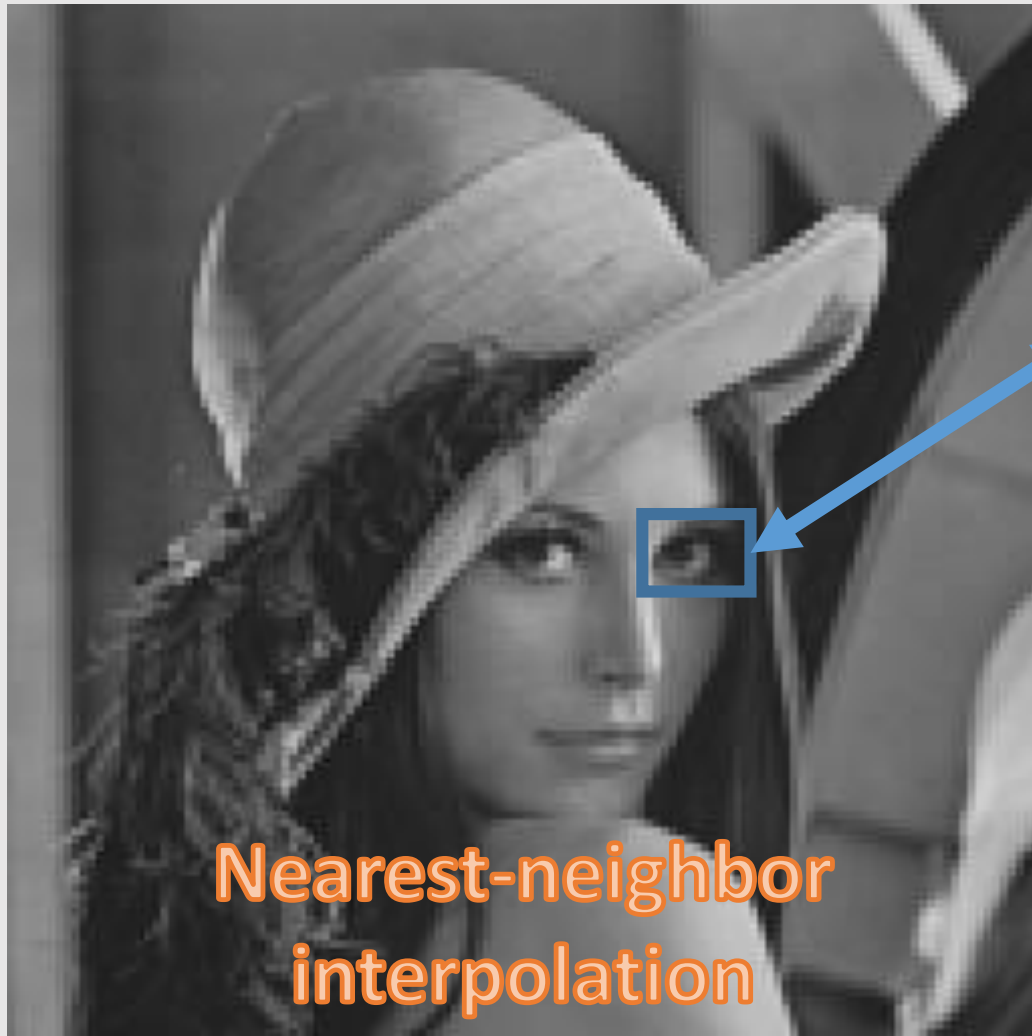


$L=2$
→



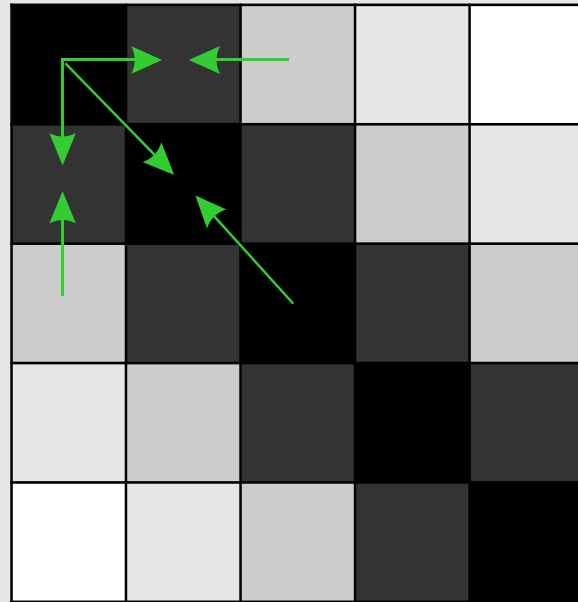
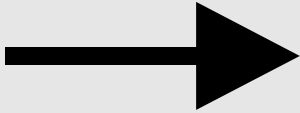
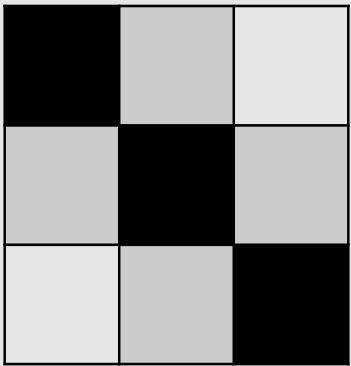
Interpolácia obrazu - opakovanie susednej vzorky

- Princíp tejto metódy spočíva v opakovaní predchádzajúcej vzorky.



Interpolácia obrazu - *Bilineárna interpolácia*

Bilineárna interpolácia sa dosahuje tak, že nové vzorky sa vypočítajú ako priemer vzoriek, medzi ktoré sú vkladané. Samotné spriemerňovanie je možné považovať za DP filtráciu a preto interpolovaný obraz bude vykazovať známky rozmazania





Číslicové spracovanie obrazov

Prednáška č. 7

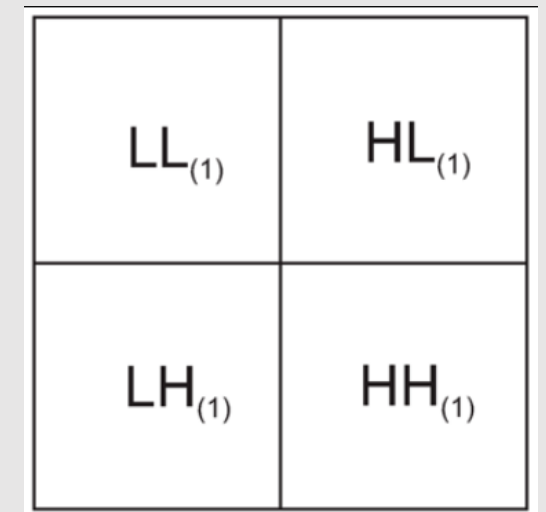
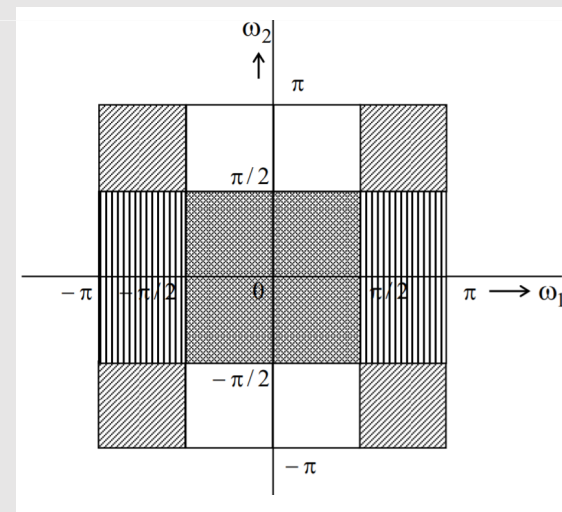
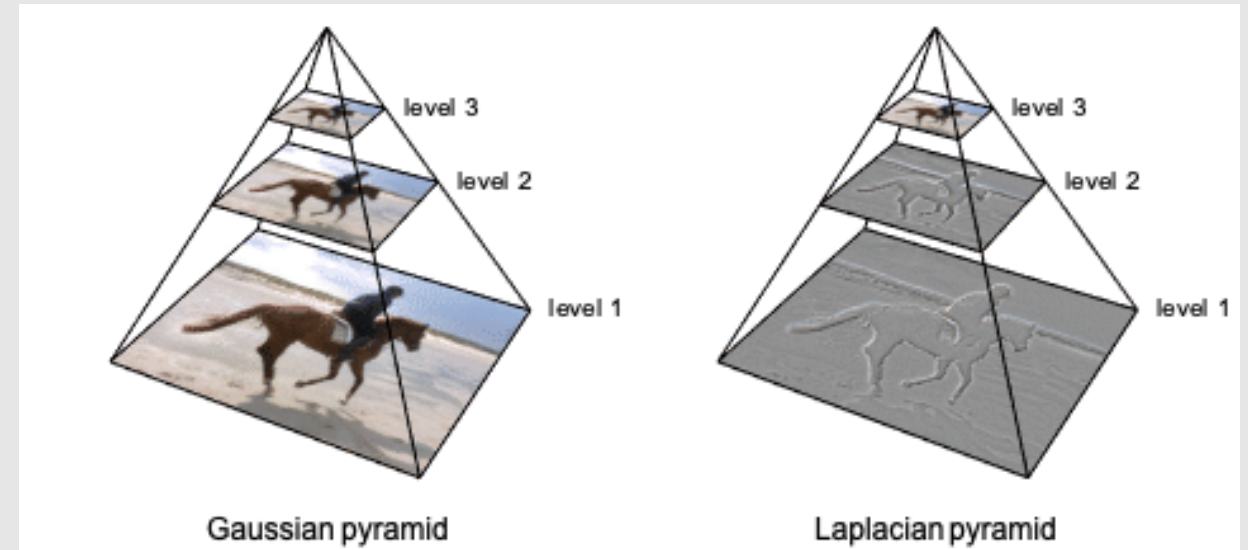
- Decimácia a interpolácia obrazu
- **Hierarchická reprezentácia obrazu**
- Diskrétna Waveletova Transformácia (DWT)
- Niektoré aplikácie pyramídovej reprezentácie v praxi

Hierarchické reprezentácie obrazu

Hierarchická reprezentácia obrazu umožňuje vyjadriť obraz v jednotlivých úrovniach, ktoré majú rôzne priestorové rozlíšenie a obsahujú rôzny frekvenčný rozsah.

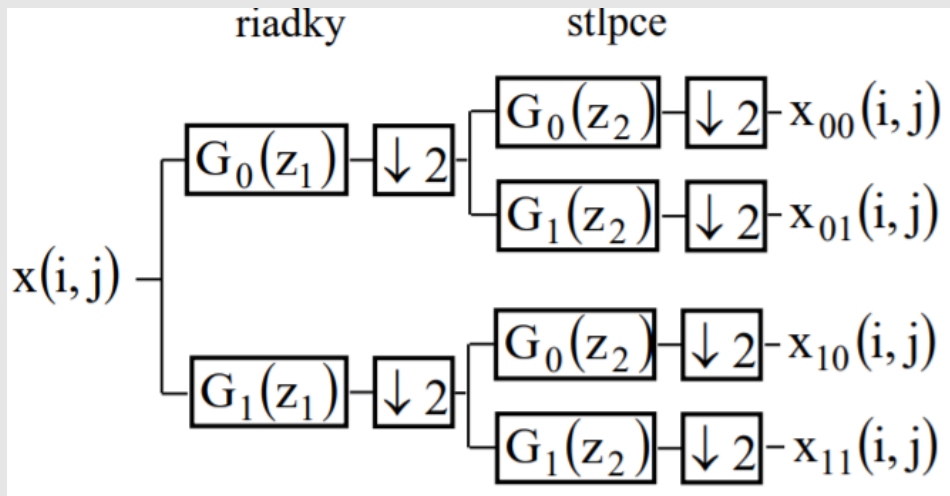
Hierarchické reprezentácie

- Subpásmová
- Pyramídová
 - Gaussova pyramída
 - Laplaceova pyramída
- Waveletová
 - Špeciálny prípad subpásmovej repr.

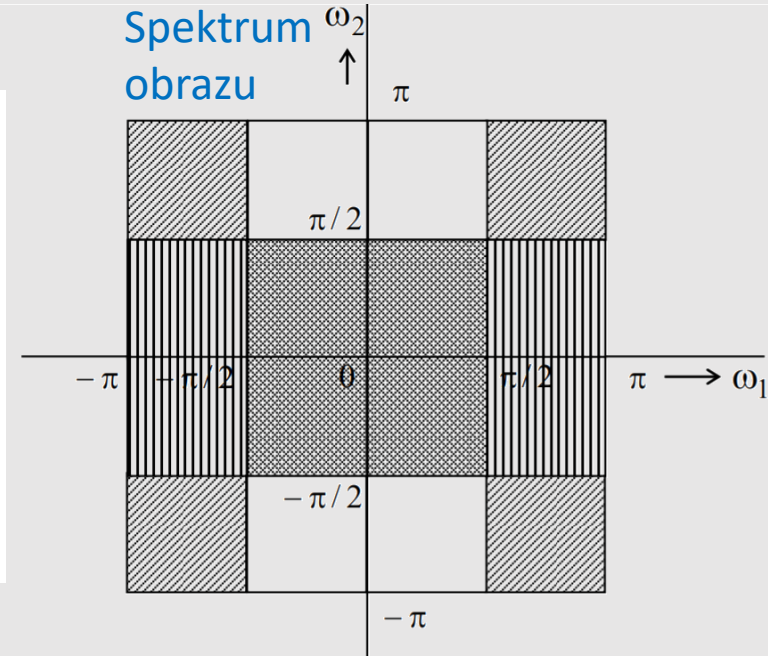
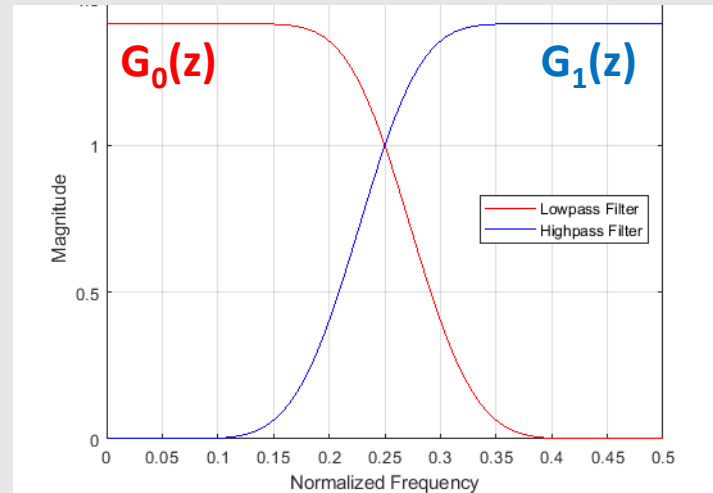


Hierarchické reprezentácie obrazu - subpásmová

Subpásmovú reprezentáciu obrazu dostaneme po rozdelení jeho frekvenčného pásma na niekoľko subpásiem. Potom z výstupu systému analýzy dostaneme subobrazy zodpovedajúce týmto subpásmam.



QMF



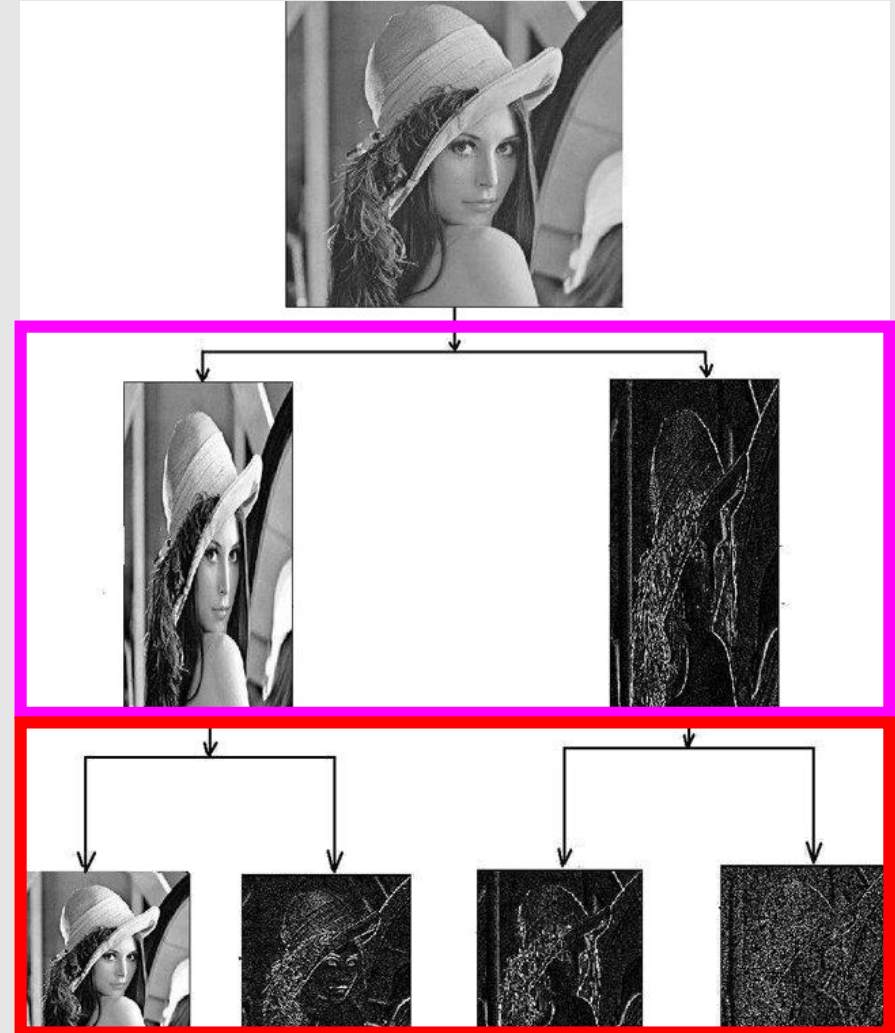
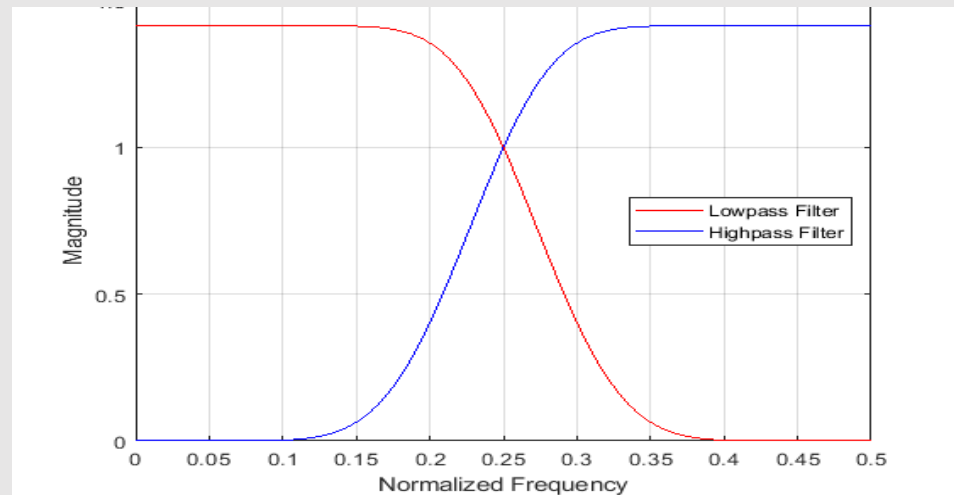
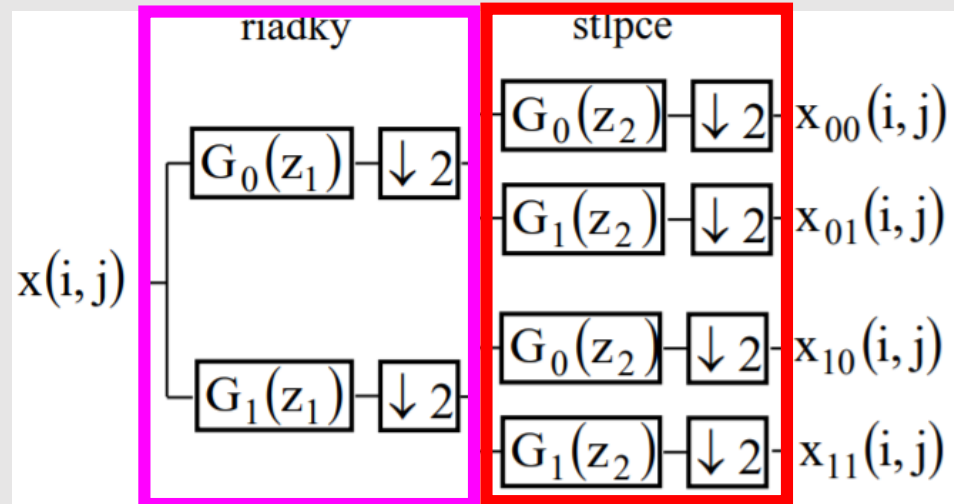
Rozklad na 4 subpásma možno realizovať pomocou dvojkanálovej sústavy aplikovanej separátne na riadky a stĺpce obrazu. Spektrum obrazu bude rozdelené na 4 časti.

Filtrácia môže byť realizovaná pomocou banky kvadrátových zrkadlových filtrov (quadrature mirrorfilters-QMF).

Pri použití QMF je rozložený obraz na strane syntézy možné zlúčiť do pôvodného obrazu bezstratovo.

Hierarchické reprezentácie obrazu - *subpásmová*

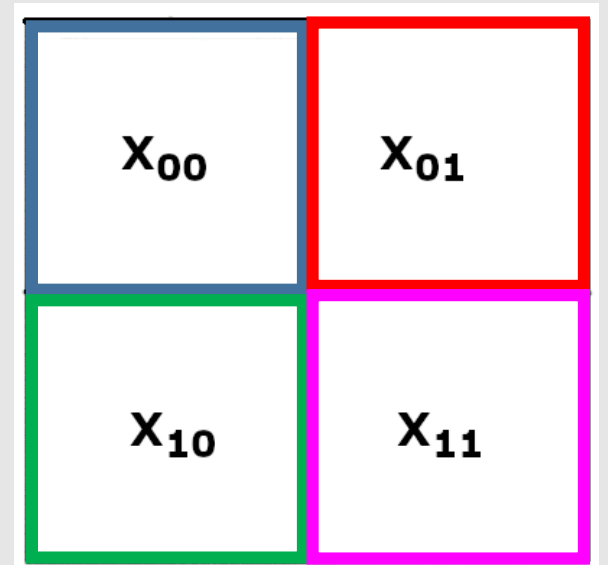
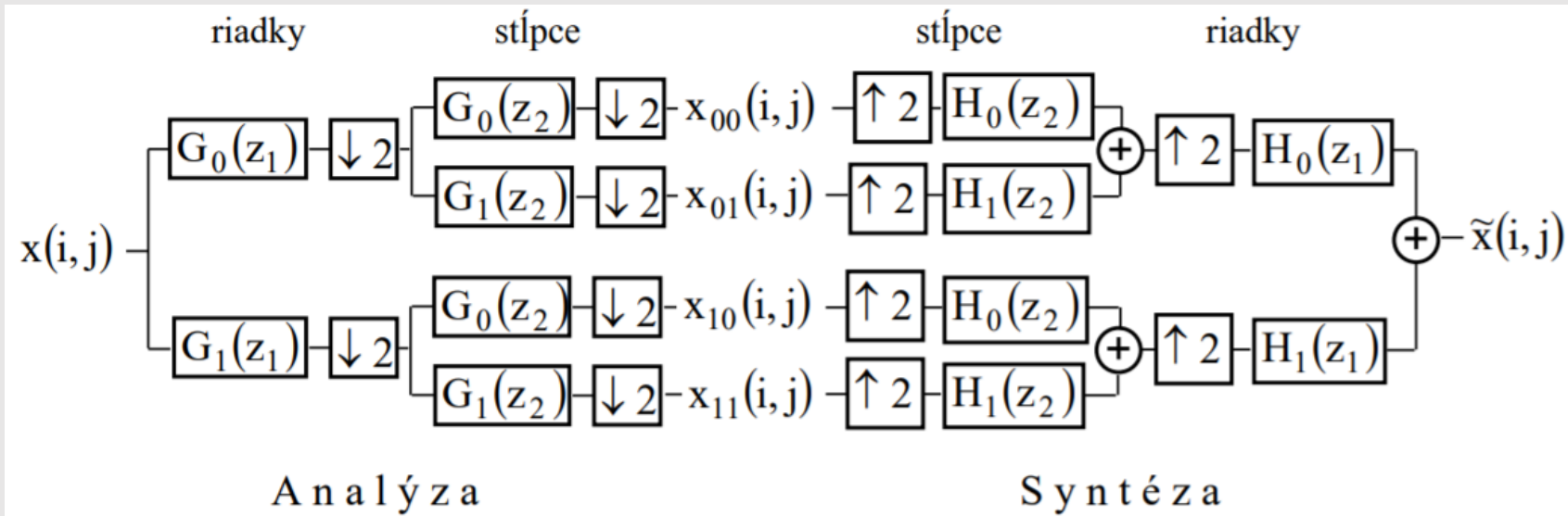
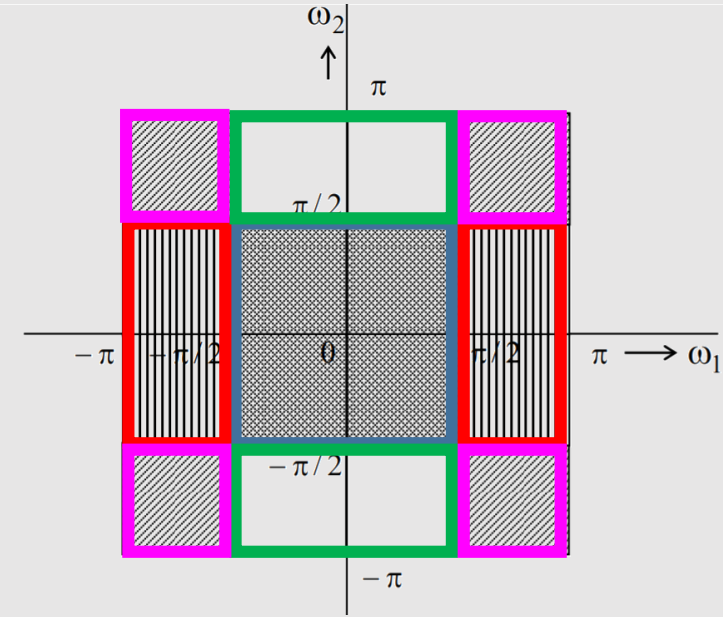
Subpásmovú reprezentáciu obrazu dostaneme po rozdelení jeho frekvenčného pásma na niekoľko subpásiem. Potom z výstupu systému analýzy dostaneme subobrazy zodpovedajúce týmto subpásmam.



Hierarchické reprezentácie obrazu - subpásmová

Pôvodný obraz je na strane syntézy možné získať zlúčením subpásiem.

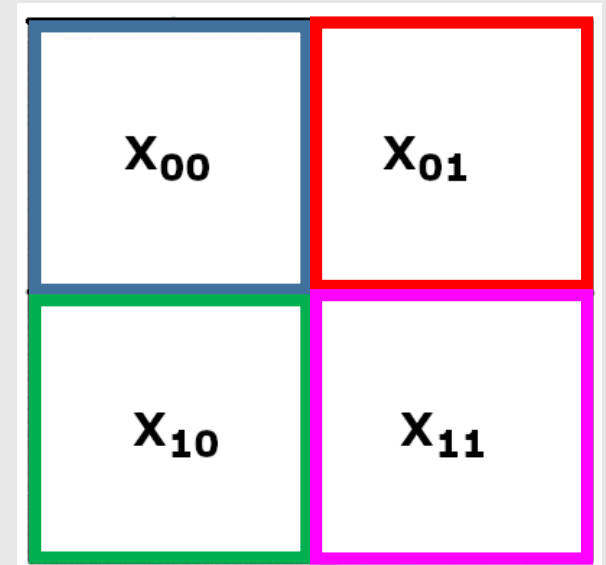
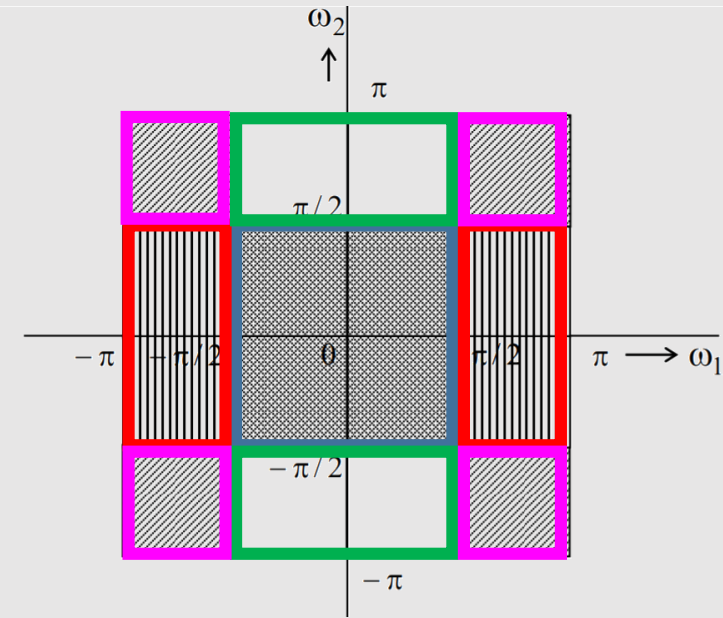
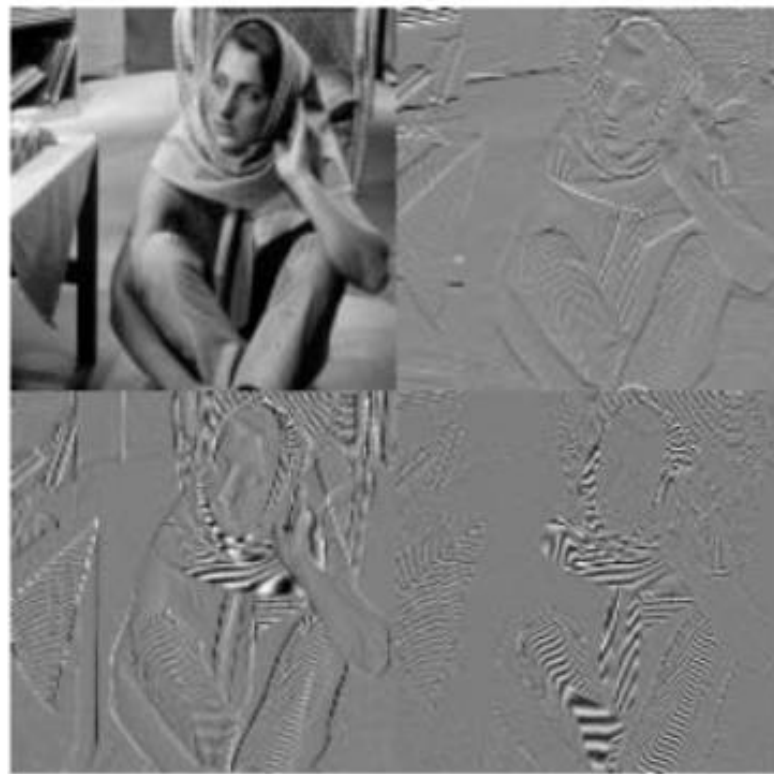
Subpásma sa zvyknú usporiadať tak, že v ľavom hornom rohu je umiestnený obraz predstavujúci **nízke frekvencie**, v pravom hornom rohu sú **horizontálne detaily** (hrany, vysoké frekvencie). Vľavo dole sú **vertikálne detaily** a vpravo dole **diagonálne detaily**.



Hierarchické reprezentácie obrazu - subpásmová

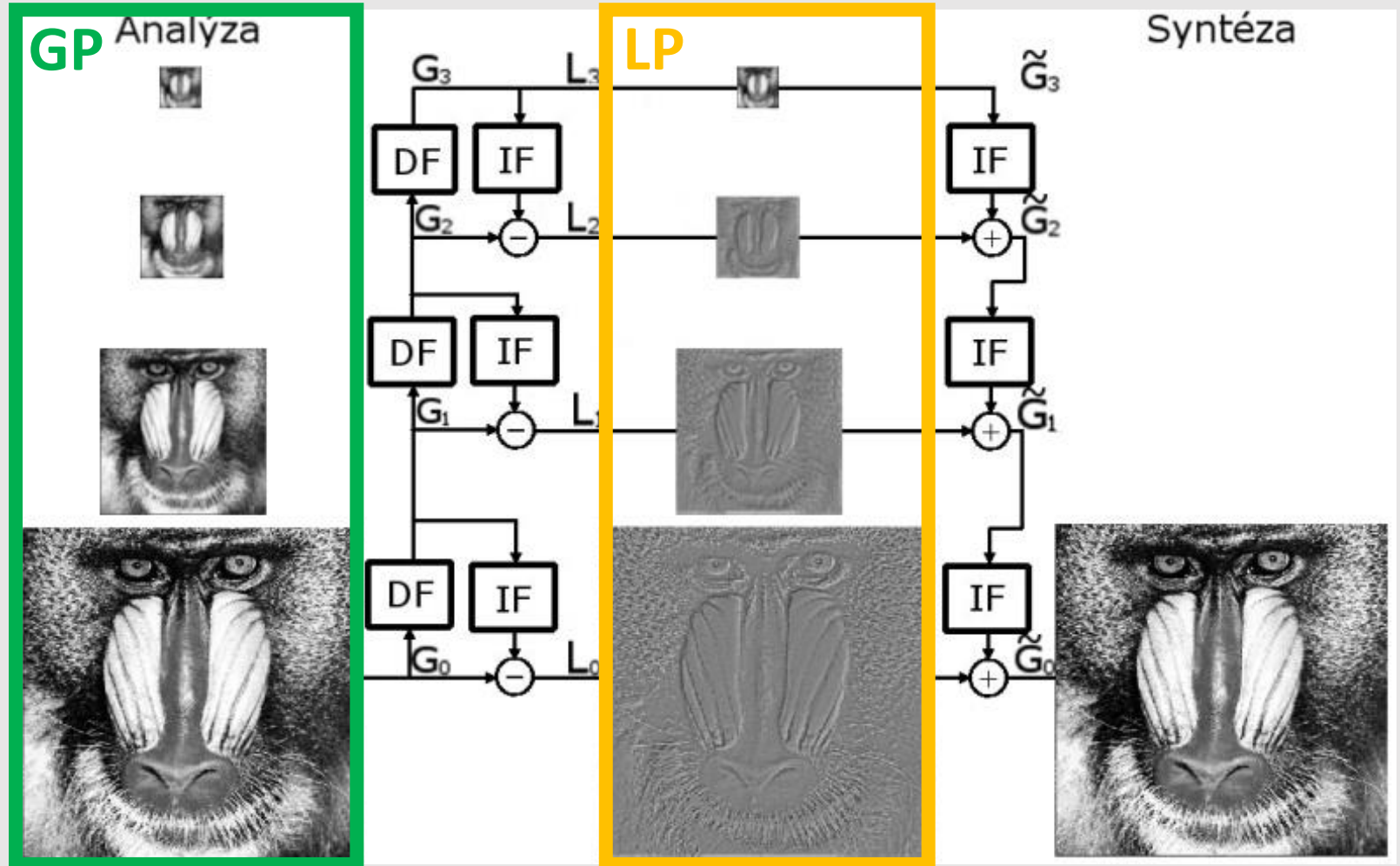
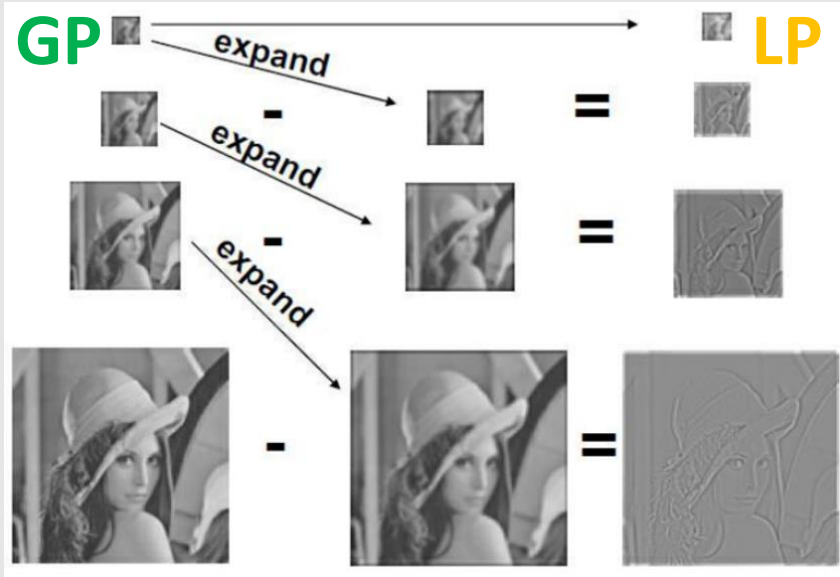
Pôvodný obraz je na strane syntézy možné získať zlúčením subpásiem.

Subpásma sa zvyknú usporiadať tak, že v ľavom hornom rohu je umiestnený obraz predstavujúci **nízke frekvencie**, v pravom hornom rohu sú **horizontálne detaily** (hrany, vysoké frekvencie). Vľavo dole sú **vertikálne detaily** a vpravo dole **diagonálne detaily**.



Hierarchické reprezentácie obrazu – pyramídová

Pyramídová analýza i syntéza vychádza z rozkladu vstupného obrazu do **Gaussovej pyramídy** (GP), ktorá predstavuje **nízkofrekvenčnú** alebo **aproximačnú časť** a do **Laplaceovej pyramídy** (LP), ktorá predstavuje **vysokofrekvenčnú časť** alebo **details** obrazu.





Číslicové spracovanie obrazov

Prednáška č. 7

- Decimácia a interpolácia obrazu
- Hierarchická reprezentácia obrazu
- **Diskrétna Waveletova Transformácia (DWT)**
- Niektoré aplikácie pyramídovej reprezentácie v praxi

Waveletová Transformácia a jej diskrétna podoba (DWT)

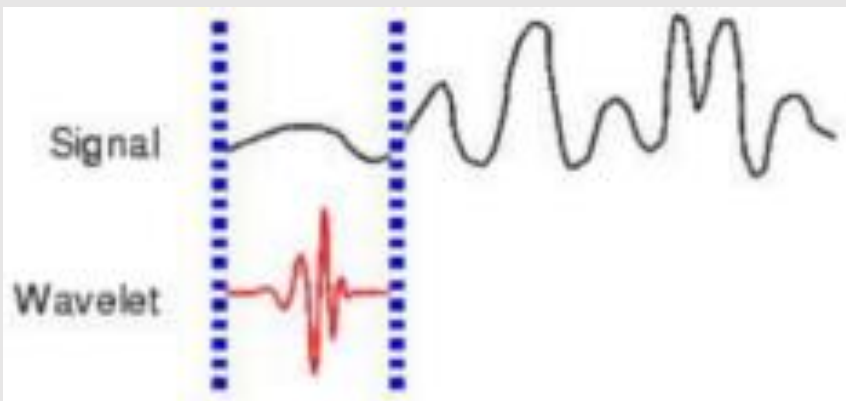
Waveletová transformácia je metóda používaná na časovo frekvenčnú analýzu signálov.

$$\text{SWT}\{s(t), a, b\} = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, \quad a > 0, \quad b \in R$$

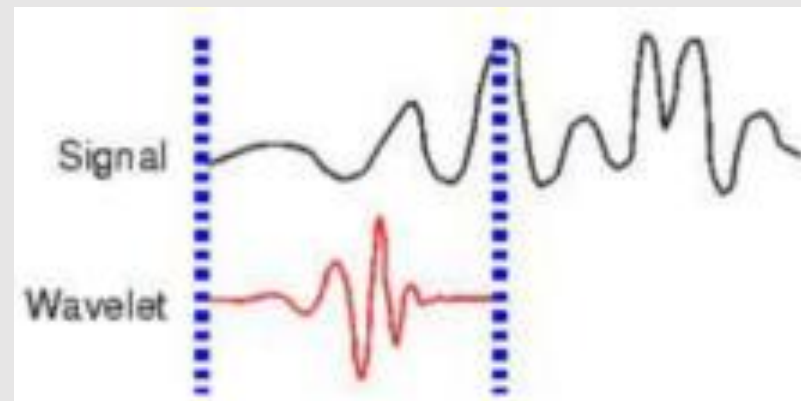
Najväčšia výhoda je, že spektrogram nemá statické rozlíšenie, ako je to pri iných transformáciách, ale časovo frekvenčné rozlíšenie sa zvyšuje s frekvenciou.

Tak ako pri iných ortogonálnych transformáciách, podstata spočíva vo výpočte korelácie bázevej funkcie (waveletu) posunutého do istého časového okamihu. Wavelet navyše mení škálu v čase a amplitúde.

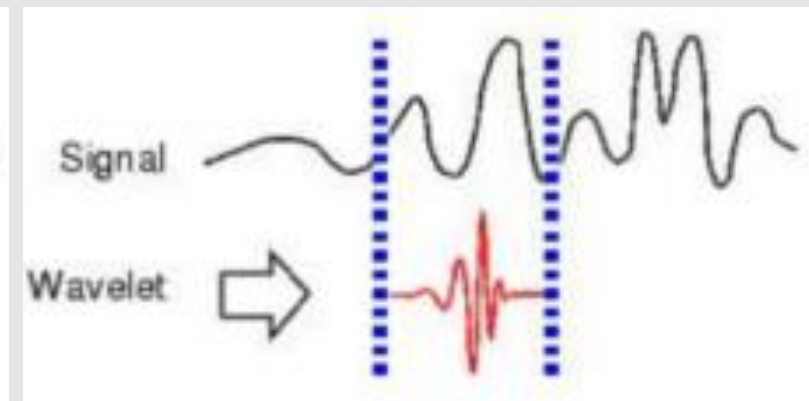
Základná škála bez posunutia



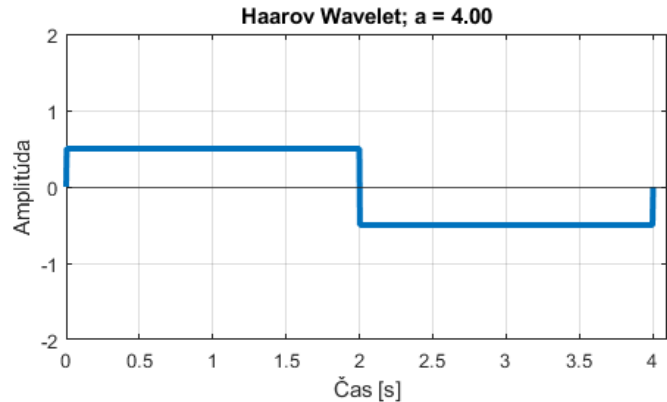
Zmenená škála (a)



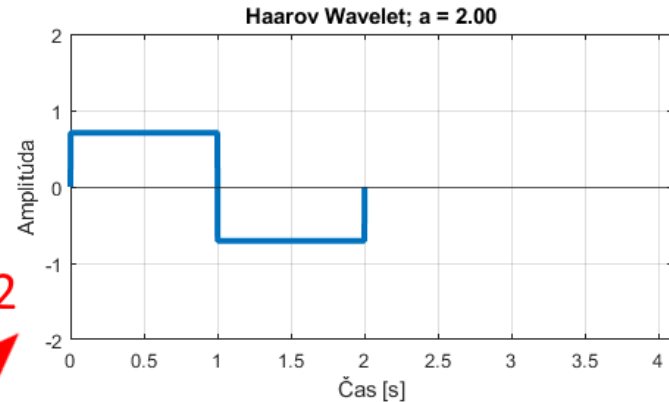
Zmenený posun (b)



Waveletova Transformácia (DWT)

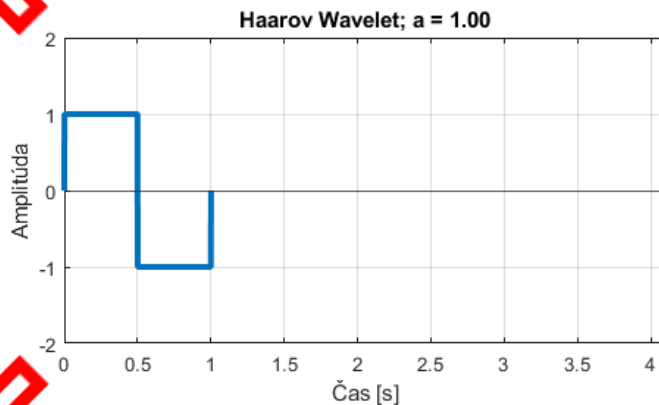


$$\psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$$



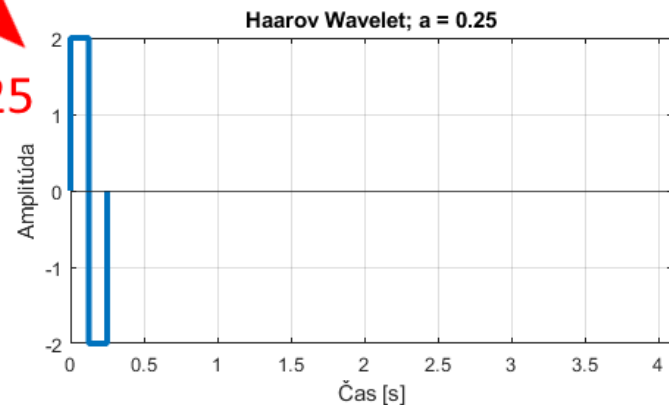
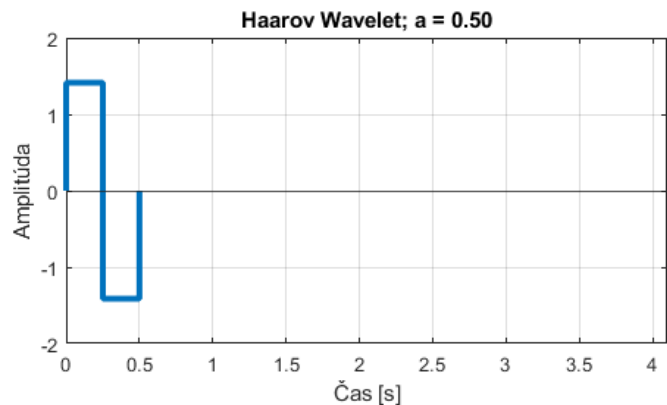
a=4

a=2



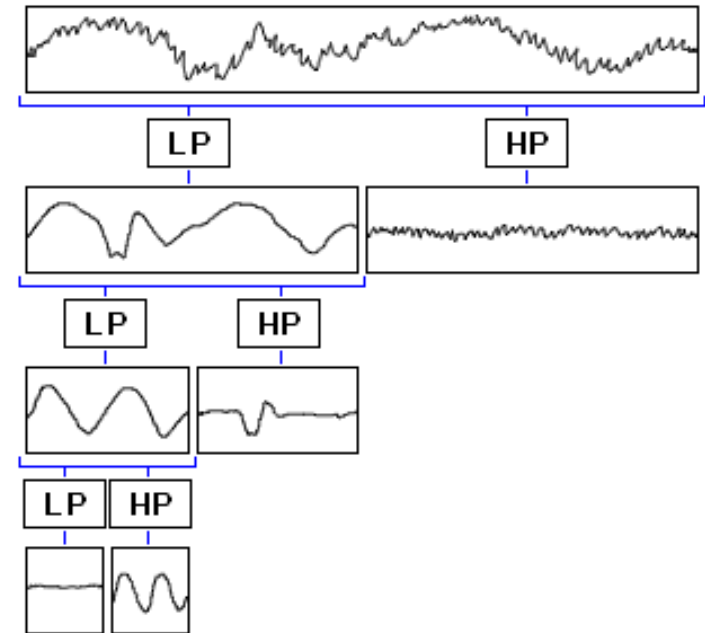
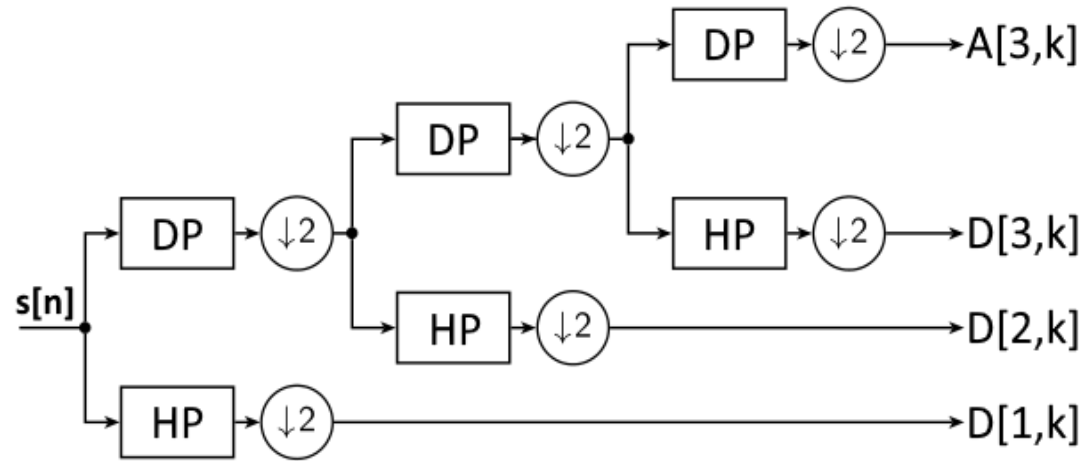
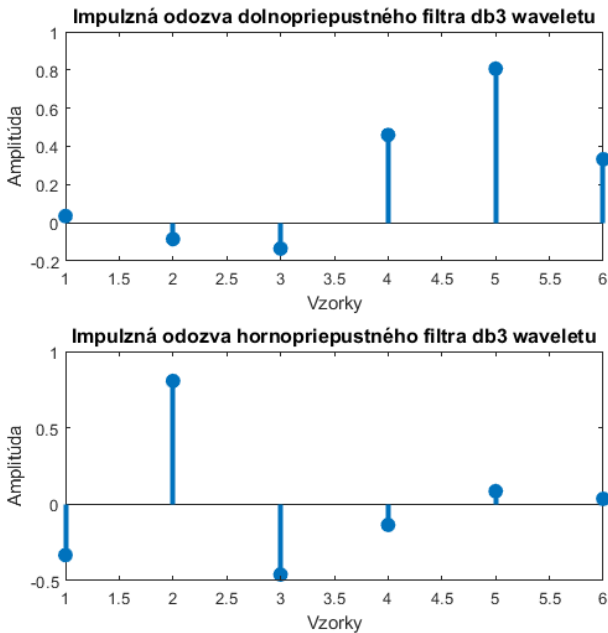
a=0.5

a=0.25



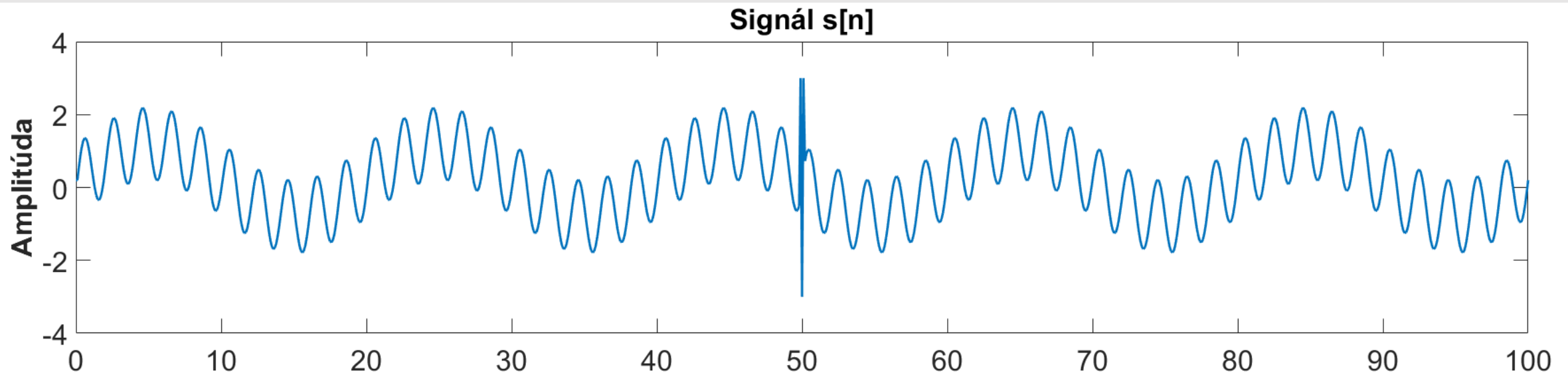
Diskrétna Waveletova Transformácia (DWT)

Diskrétnu waveletovú transformáciu (DWT) je možné jednoducho popísať ako postup, pri ktorom je na koeficienty vstupného signálu súbežne aplikovaná dvojica digitálnych filtrov a následne je výstupný filtrovaný signál podvzorkovaný koeficientom $D = 2$.

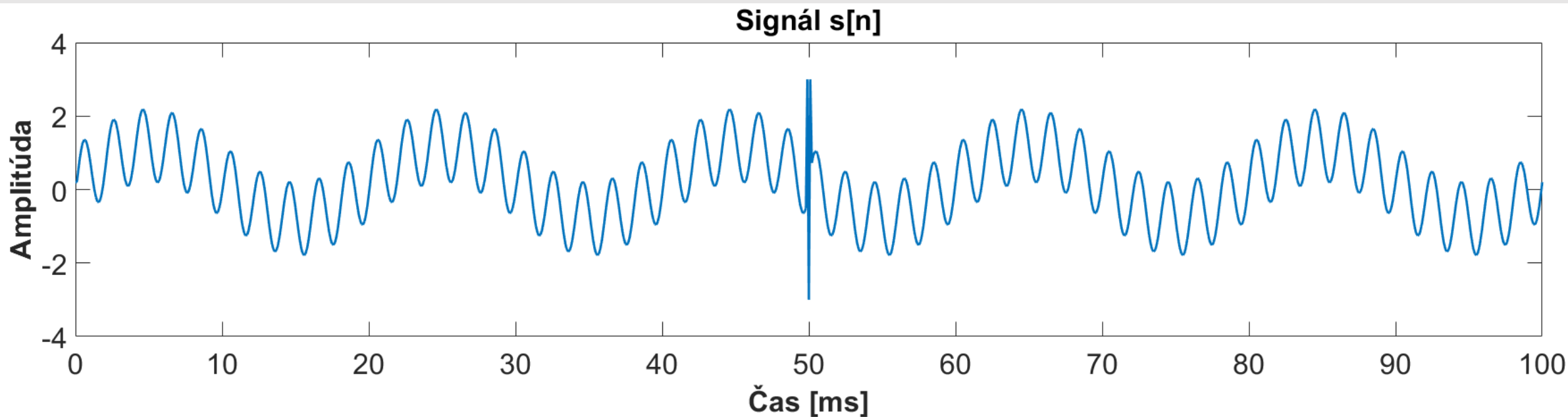


$$A[j_0, k] = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_n^{N-1} s[n] \varphi_{j_0, k}[n] \quad D[j, k] = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_n^{N-1} s[n] \psi_{j, k}[n]$$

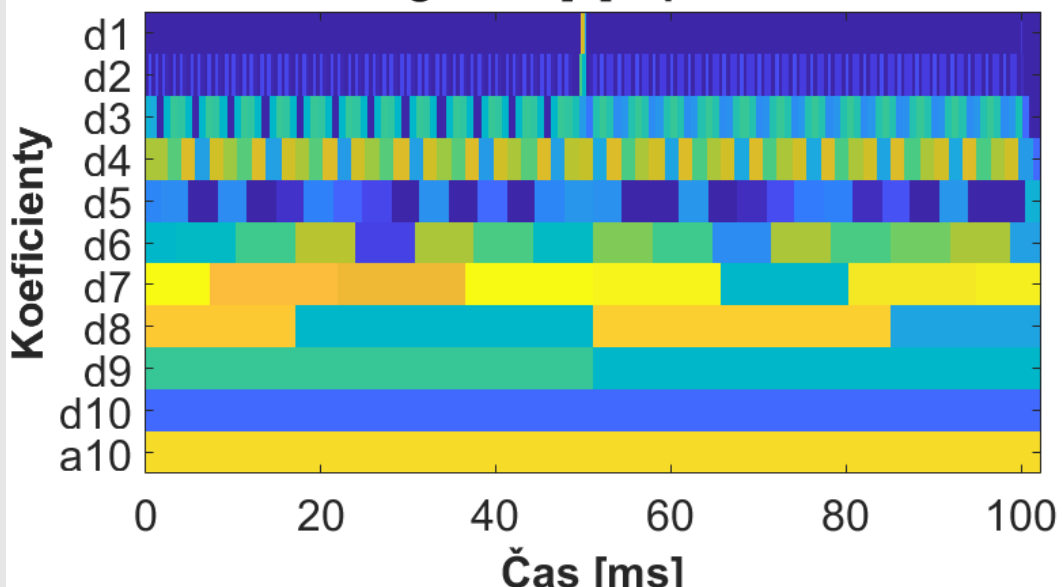
Diskrétna Waveletova Transformácia (DWT)



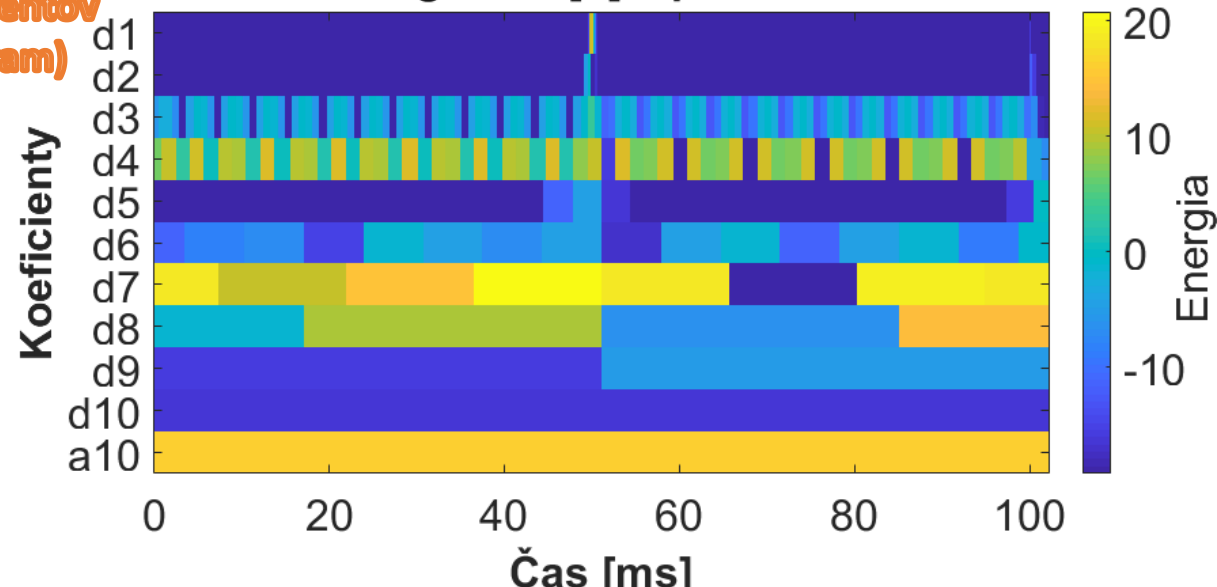
Diskrétna Waveletova Transformácia (DWT)



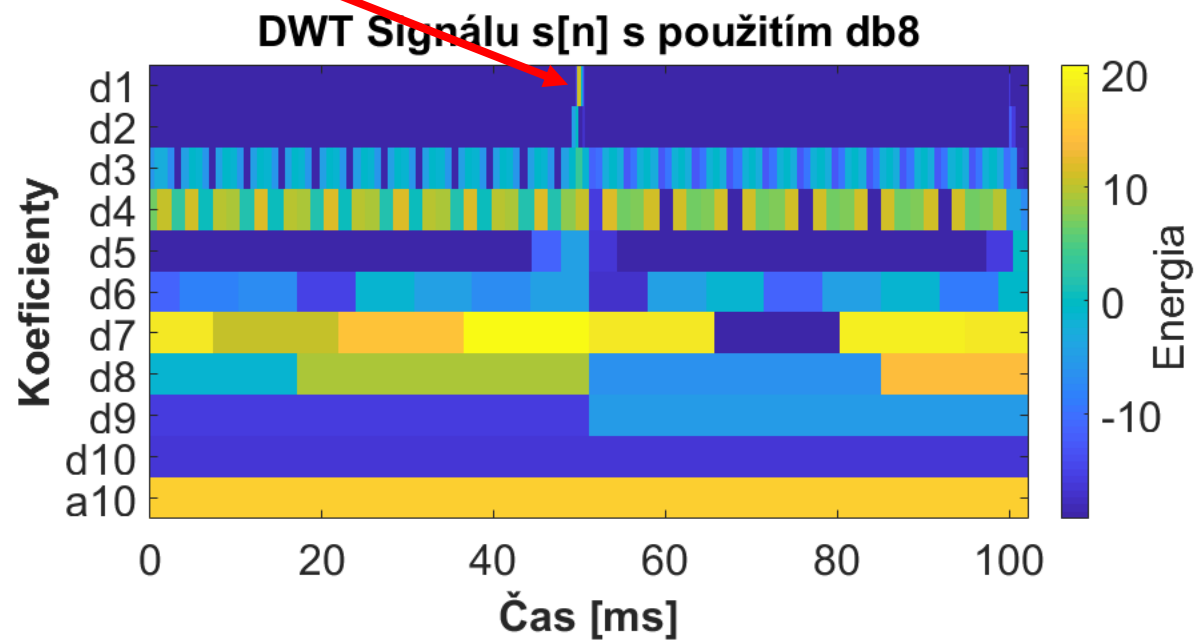
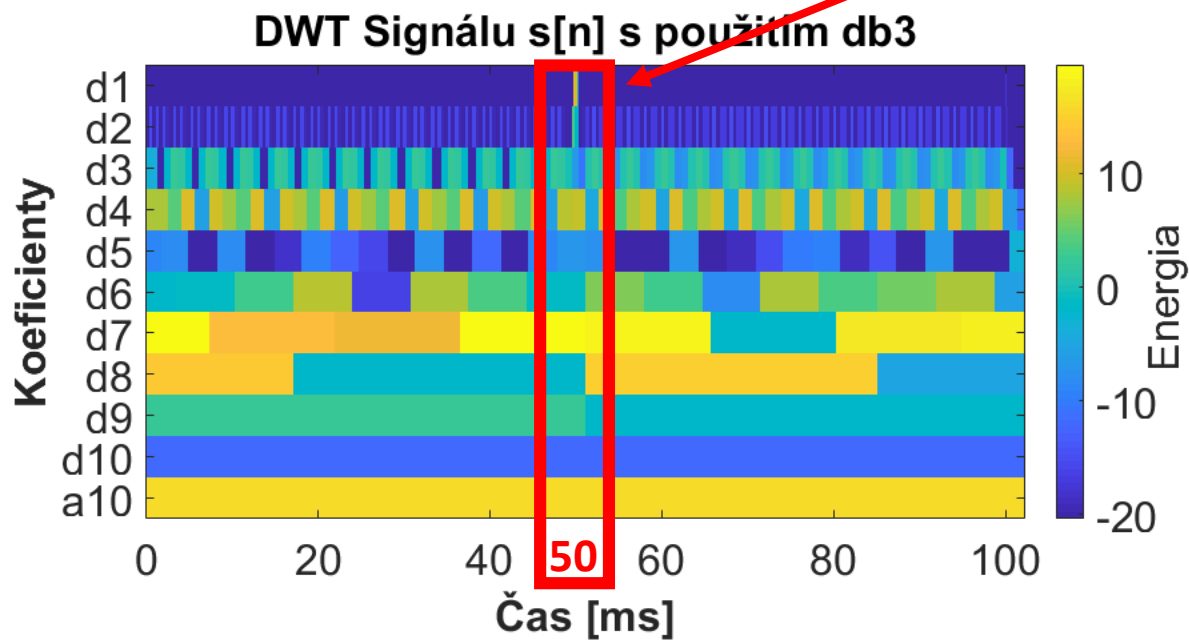
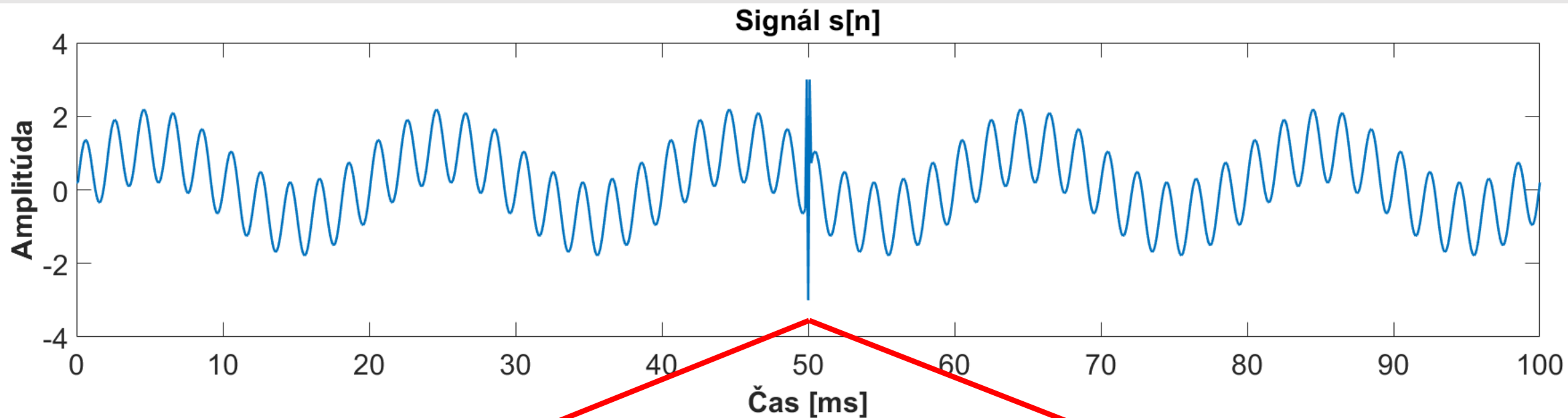
DWT Signálu $s[n]$ s použitím db3



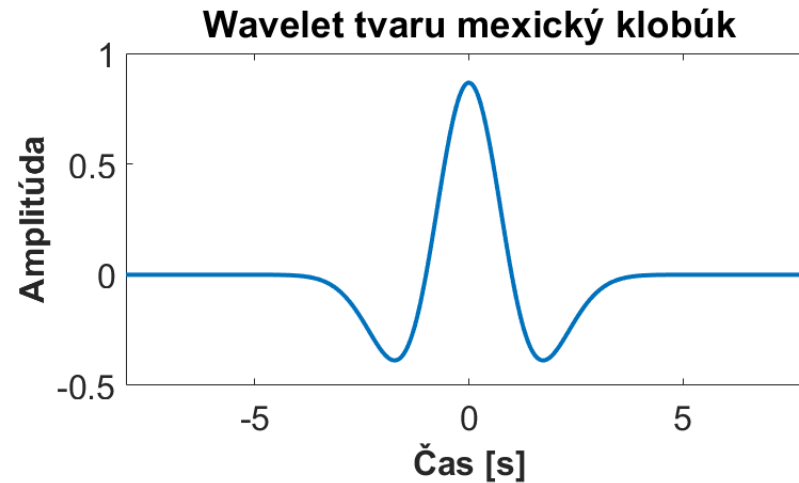
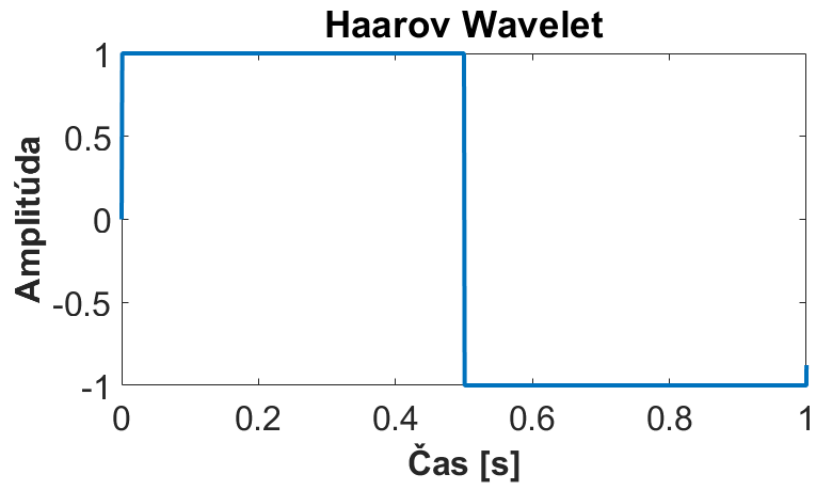
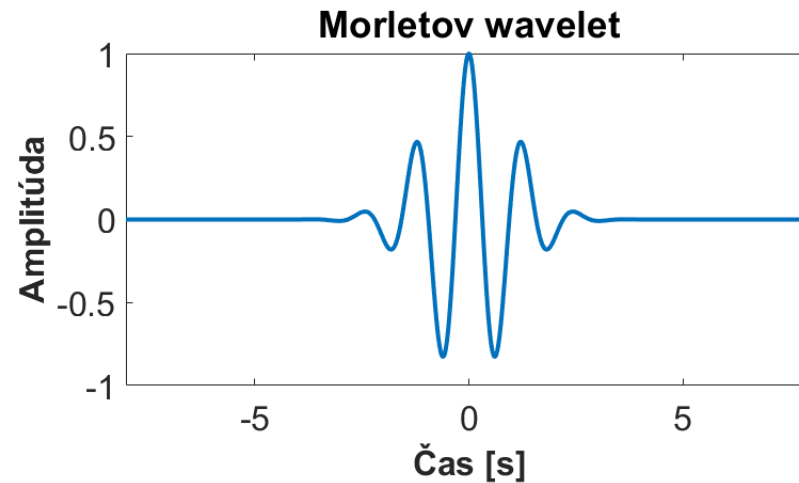
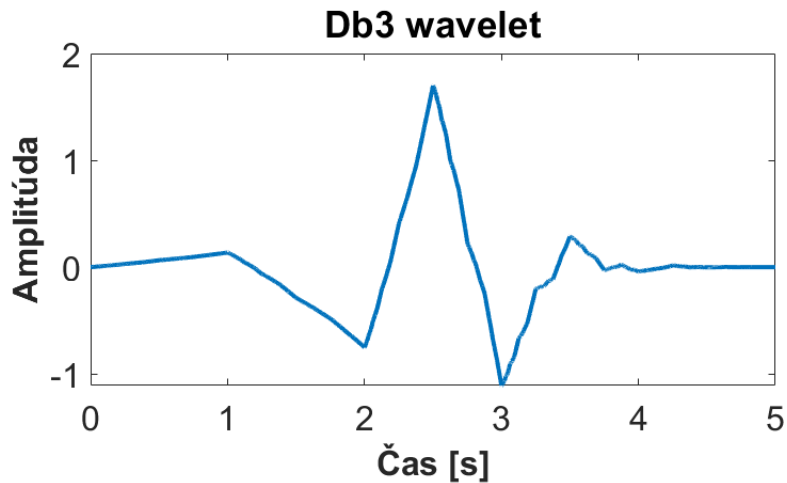
DWT Signálu $s[n]$ s použitím db8



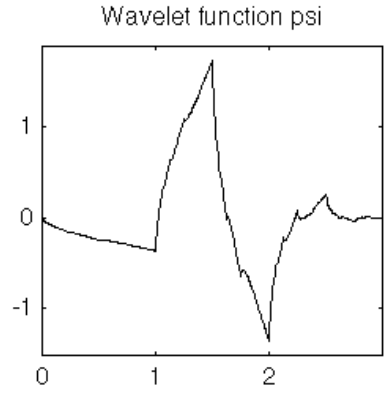
Diskrétna Waveletova Transformácia (DWT)



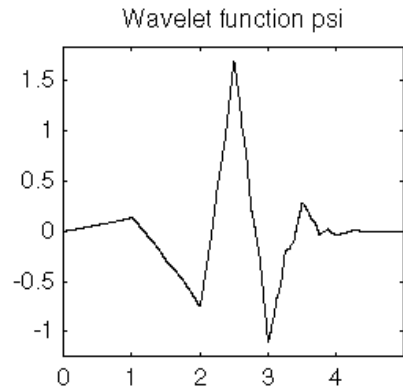
Diskrétna Waveletova Transformácia (DWT) - *wavelety*



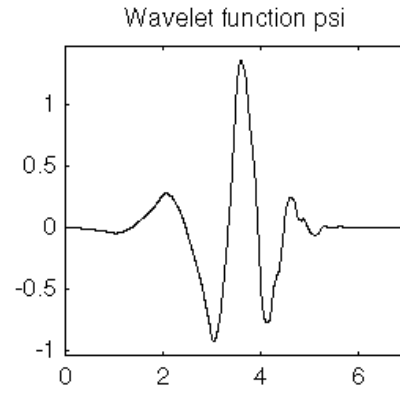
Diskrétna Waveletova Transformácia (DWT) - *wavelety*



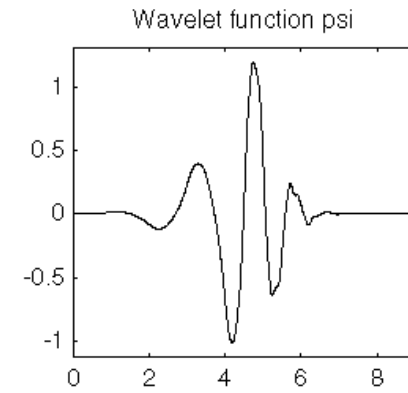
db2



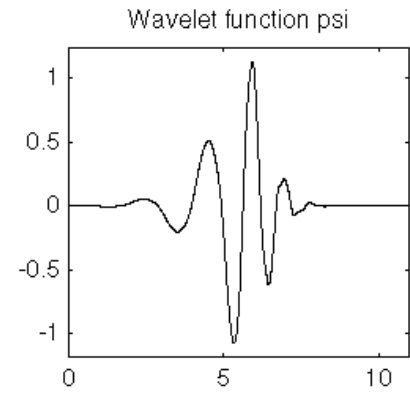
db3



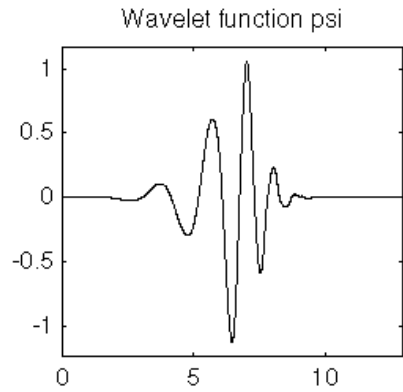
db4



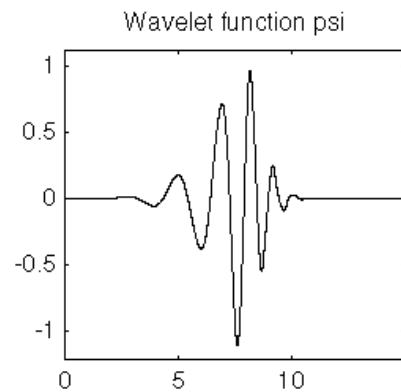
db5



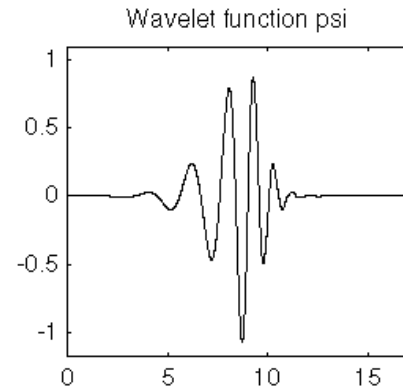
db6



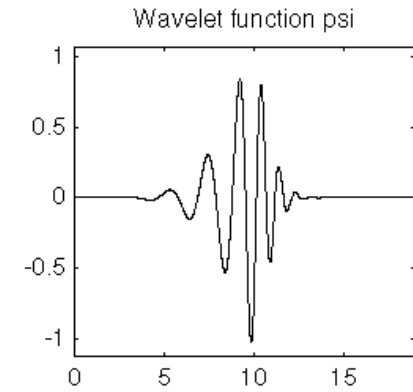
db7



db8



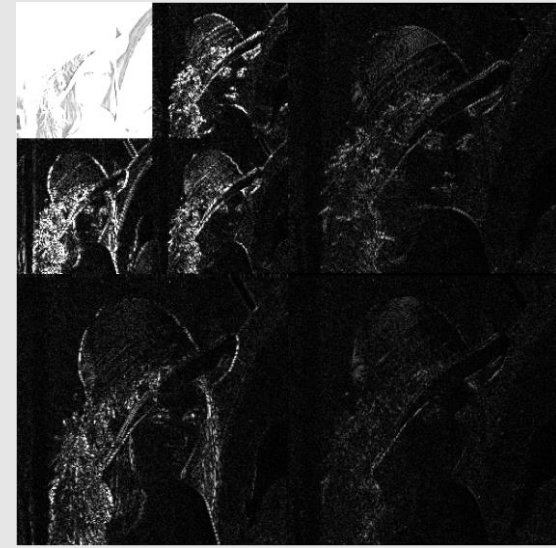
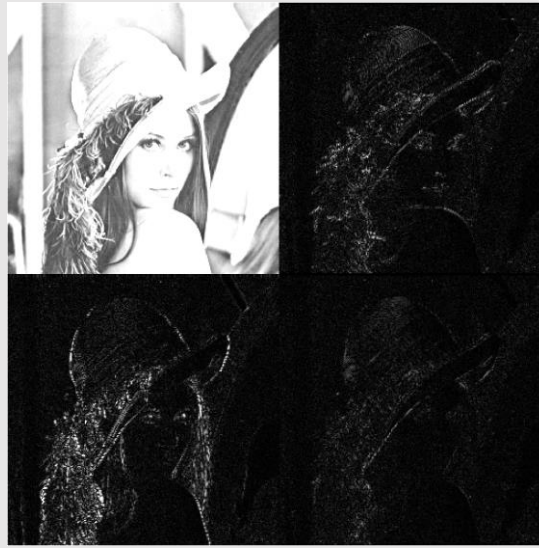
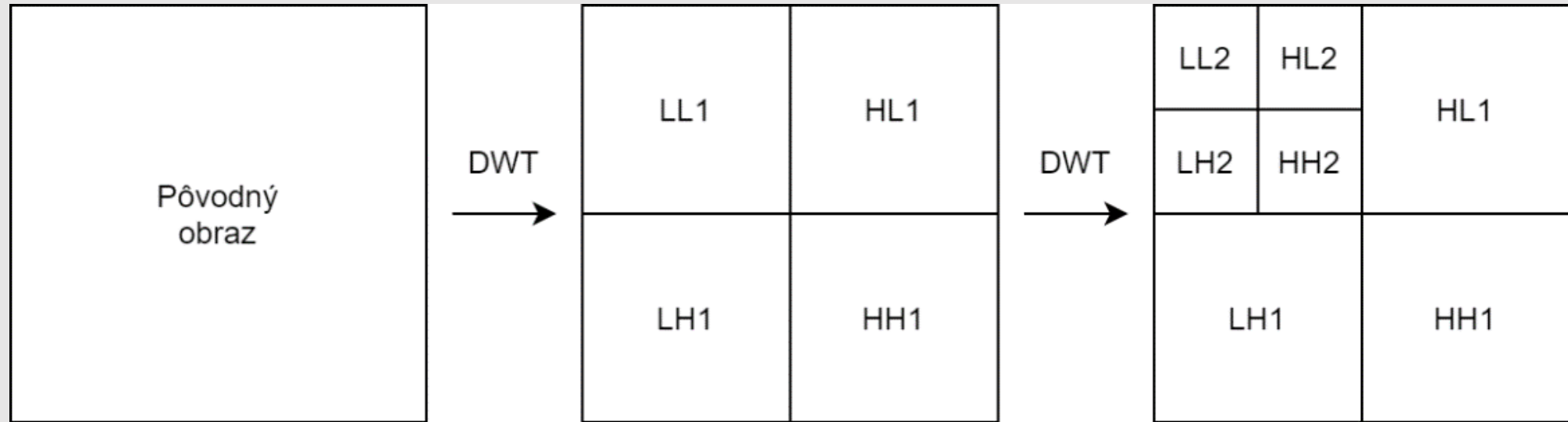
db9



db10

2D - Diskrétna Waveletova Transformácia (DWT)

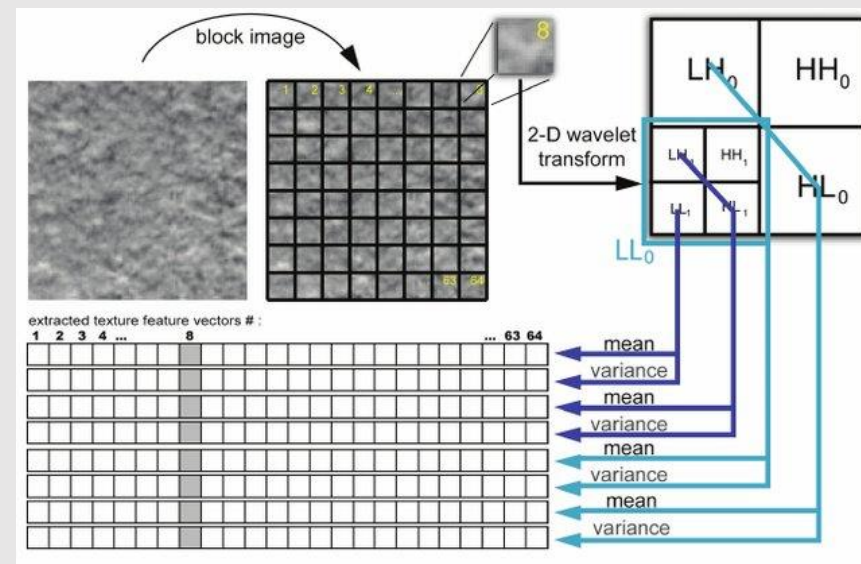
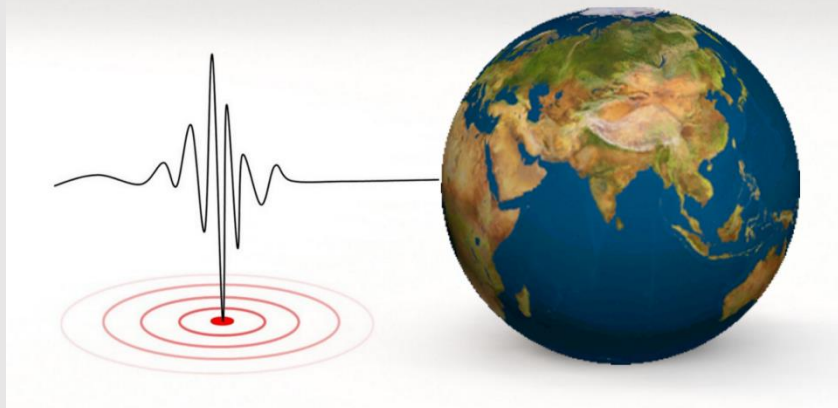
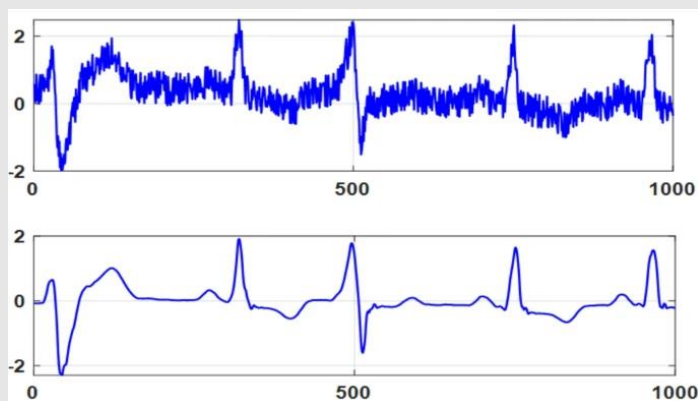
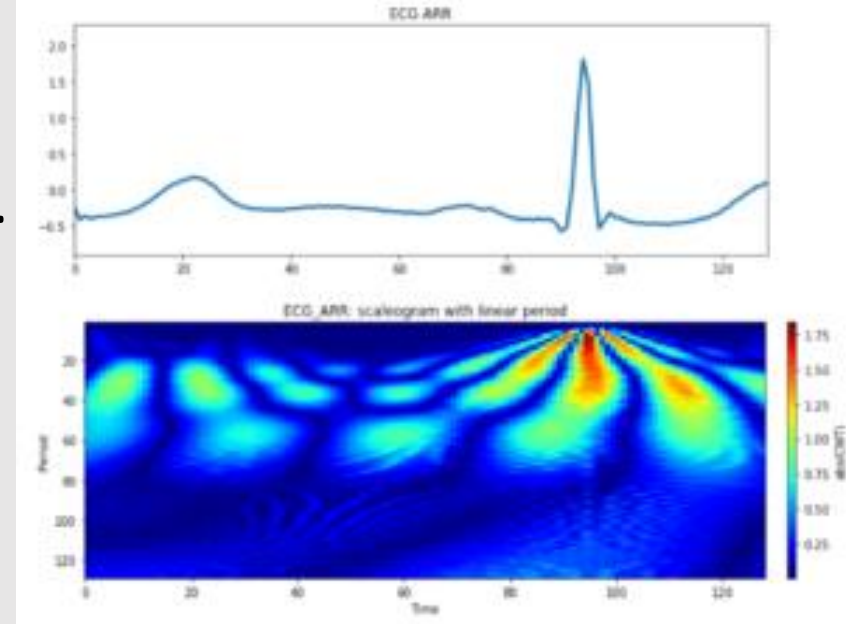
Princíp 2D DWT spočíva v aplikácii DWT na riadky 2D matice a potom na stĺpce tejto matice. Rovnako ako bolo popísané pri subpásmovej reprezentácii obrazu.



Využitie DWT

DWT si v spracovaní signálov a obrazov našla široké uplatnenie.

- Kompresia dát (dekorelácia)
- Analýza EKG, EEG a iných bio-sigánalov
- Analýza seizmologických vln, slnečnej aktivity a pod.
- Analýza a klasifikácia textúr prípadne artefaktov v obraze
- Potláčanie šumu
- Kompresné snímanie (Vzorkovanie bez dodržiavania Nyquistovej podmienky) – najnovší spôsob vzorkovania (objavené v r. 2006).



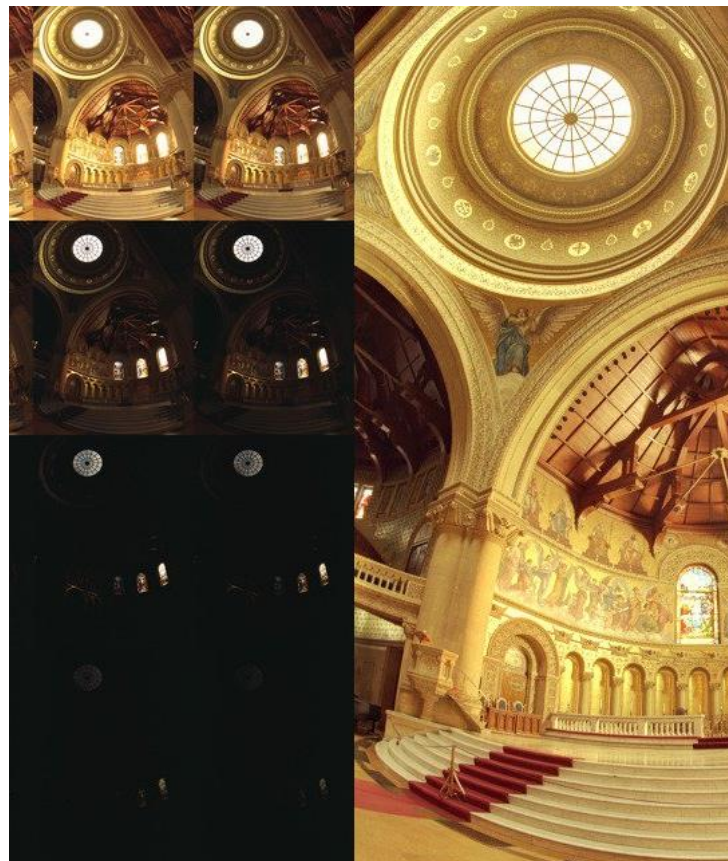


Číslicové spracovanie obrazov

Prednáška č. 7

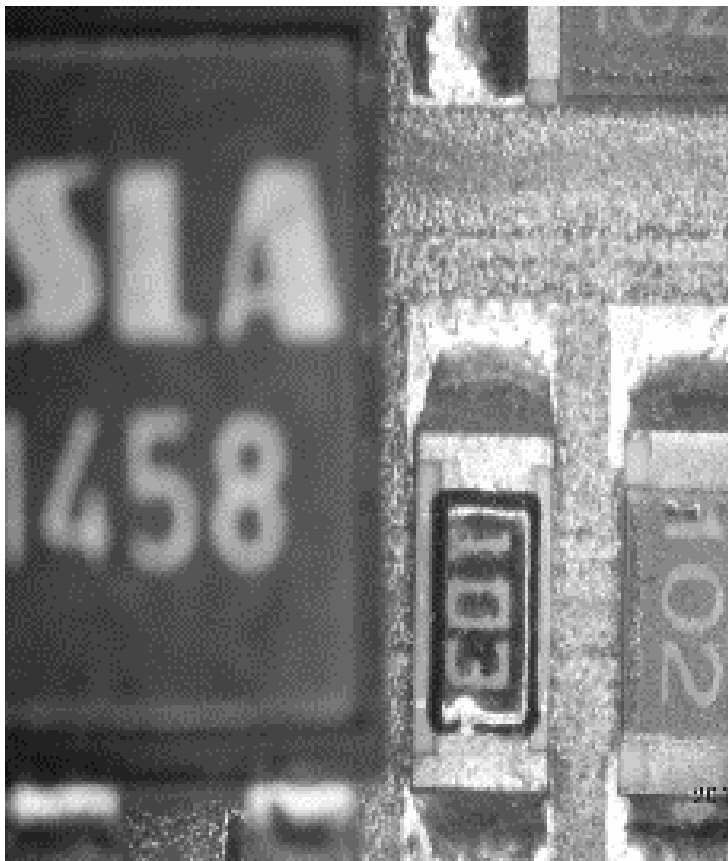
- Decimácia a interpolácia obrazu
- Hierarchická reprezentácia obrazu
- Diskrétna Waveletova Transformácia (DWT)
- **Niektoré aplikácie pyramídovej reprezentácie v praxi**

Niektoré aplikácie pyramídovej reprezentácie v praxi



- Zlučovanie multifokálnych obrazov
- Spájanie obrazov s vyhladzovaním prechodu
- Vytváranie HDR obrazov

Zlučovanie multifokálnych obrazov



- Častým problémom v oblasti spracovania obrazov je to, že je potrebné zachytiť ostrú snímku scény pozostávajúcej z objektov v rôznej vzdialenosti na jednej snímke. To však nie je možné docieľiť s fixným nastavením ohniskovej vzdialenosti.
- Preto je potrebné vytvárať niekoľko fotografií pri rôznom nastavení ohniskovej vzdialenosti fotoaparátu – **multifokálnych obrazov.**

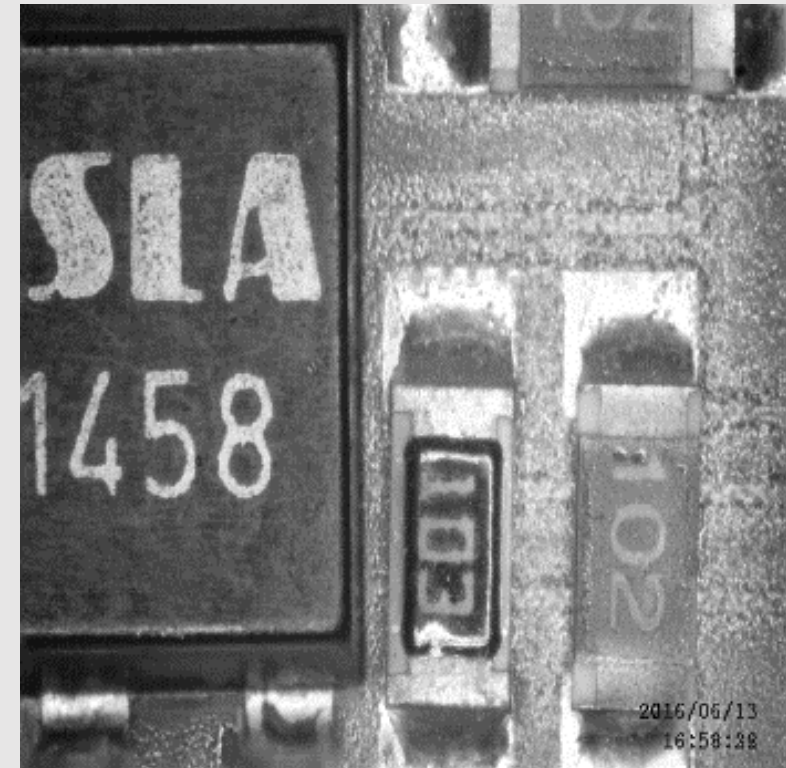
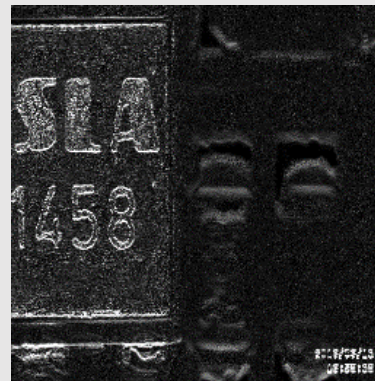
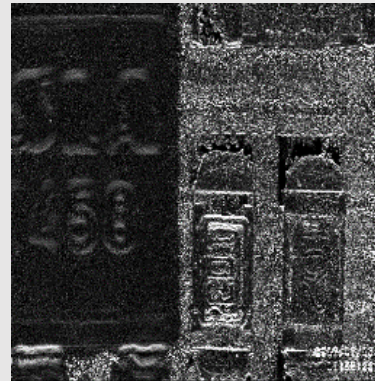
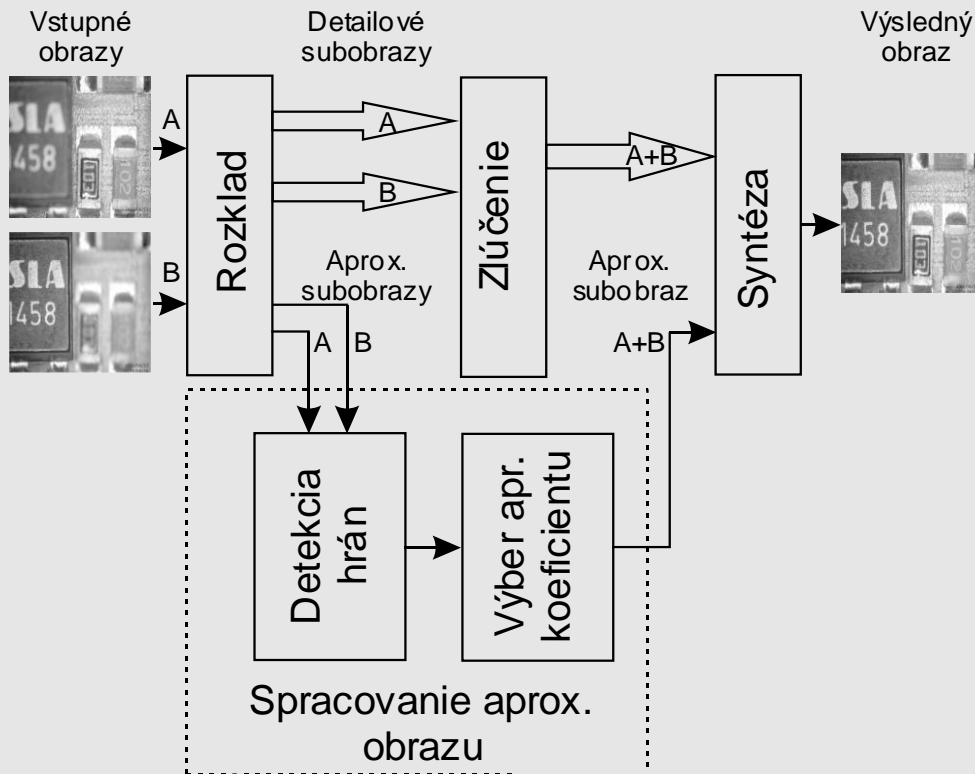
Zlučovanie multifokálnych obrazov

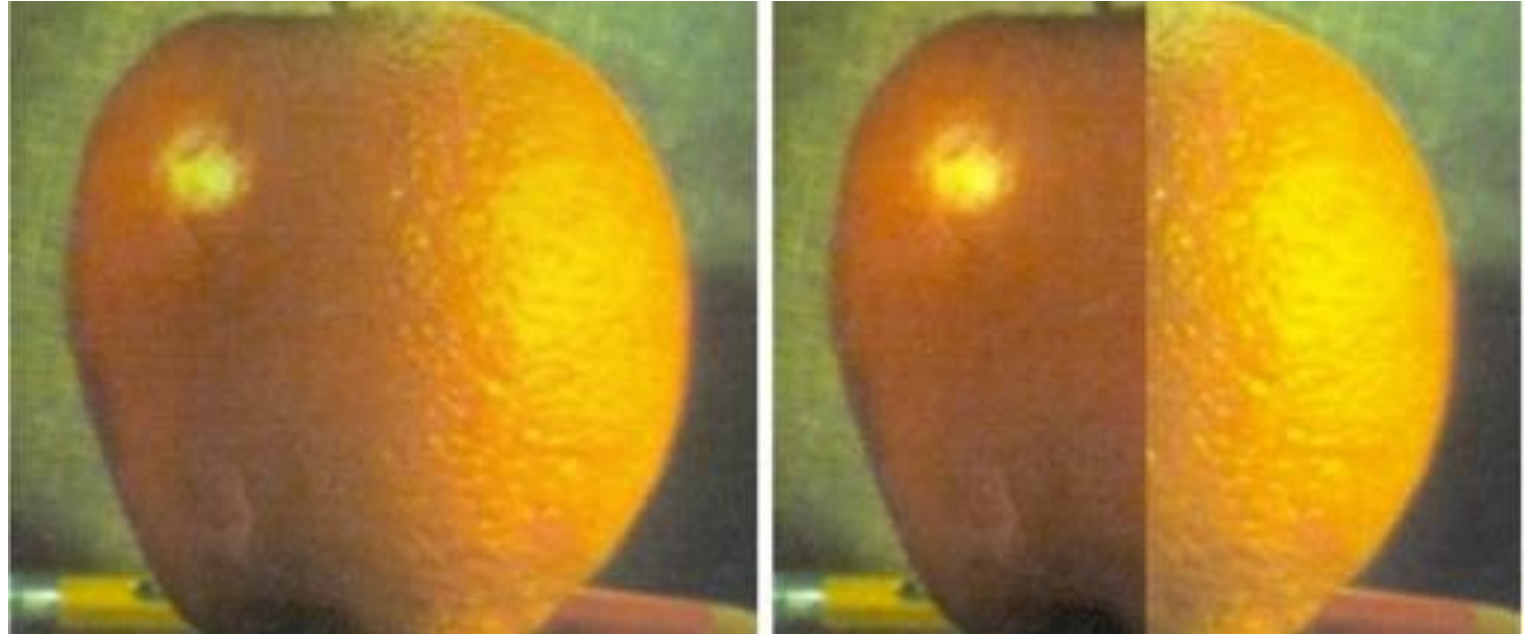
- Vďaka pyramídovej reprezentácii obrazov je možné rozložiť na oblasť aproximácie a oblasť detailov.
- Pri zlučovaní niekoľkých obrazov s cieľom vytvoriť jeden obraz ostrý v plnom rozsahu hlavnú úlohu zohrávajú vysokofrekvenčné rozkladové koeficienty.
- **Podstata multifokálneho zlučovania obrazov spočíva v syntéze ostrého obrazu na základe koeficientov Laplacevých obrazov**

$$d_{i,j} = \begin{cases} d_{i,j}^A, & \text{ak } d_{i,j}^A > d_{i,j}^B \\ d_{i,j}^B, & \text{ak } d_{i,j}^A \leq d_{i,j}^B \end{cases}$$

$$a_{i,j} = \frac{a_{i,j}^A + a_{i,j}^B}{2}$$

alebo
podľa energie hrán





*Spájanie obrazov
s vyhladzovaním prechodu*

Spájanie obrazov s vyhladzovaním prechodu

- Pri spájaní obrazov (fotomontáž) dochádza vplyvom rôznych jasových a detailových vlastností obrazov k viditeľnému skresleniu v mieste ich spojenia



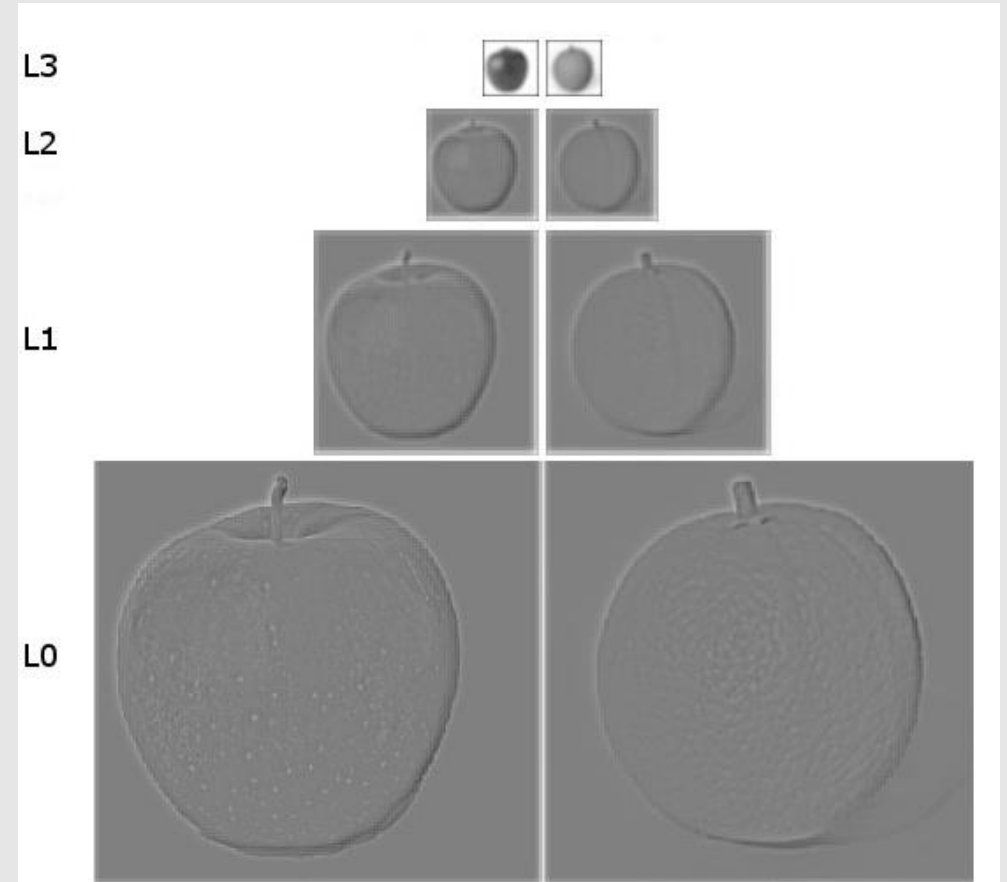
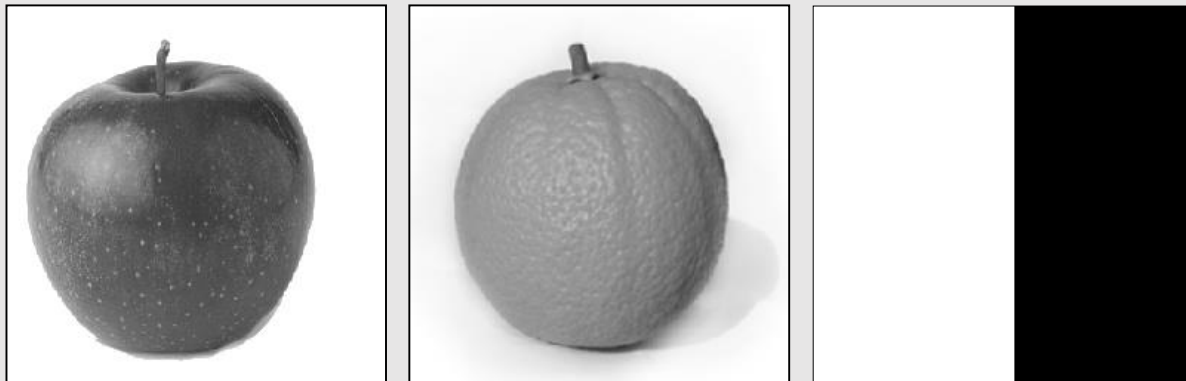
Spájanie obrazov s vyhladzovaním prechodu

- Pri spájaní obrazov (fotomontáž) dochádza vplyvom rôznych jasových a detailových vlastností obrazov k viditeľnému skresleniu v mieste ich spojenia

Proces vyhladzovania prechodu pozostáva z piatich krokov:

- Rozklad vstupných obrazov do Laplaceovej pyramídy
- Rozklad masky do Gaussovej pyramídy
- Zlúčenie obrazov na jednotlivých úrovniach pyramíd
- Spätná rekonštrukcia obrazu z kombinovanej pyramídy

Uvažujme dva obrazy a obraz masky



$$Lc_{k;(i,j)} = M_{k;(i,j)} La_{k;(i,j)} + (1 - M_{k;(i,j)}) Lb_{k;(i,j)}$$

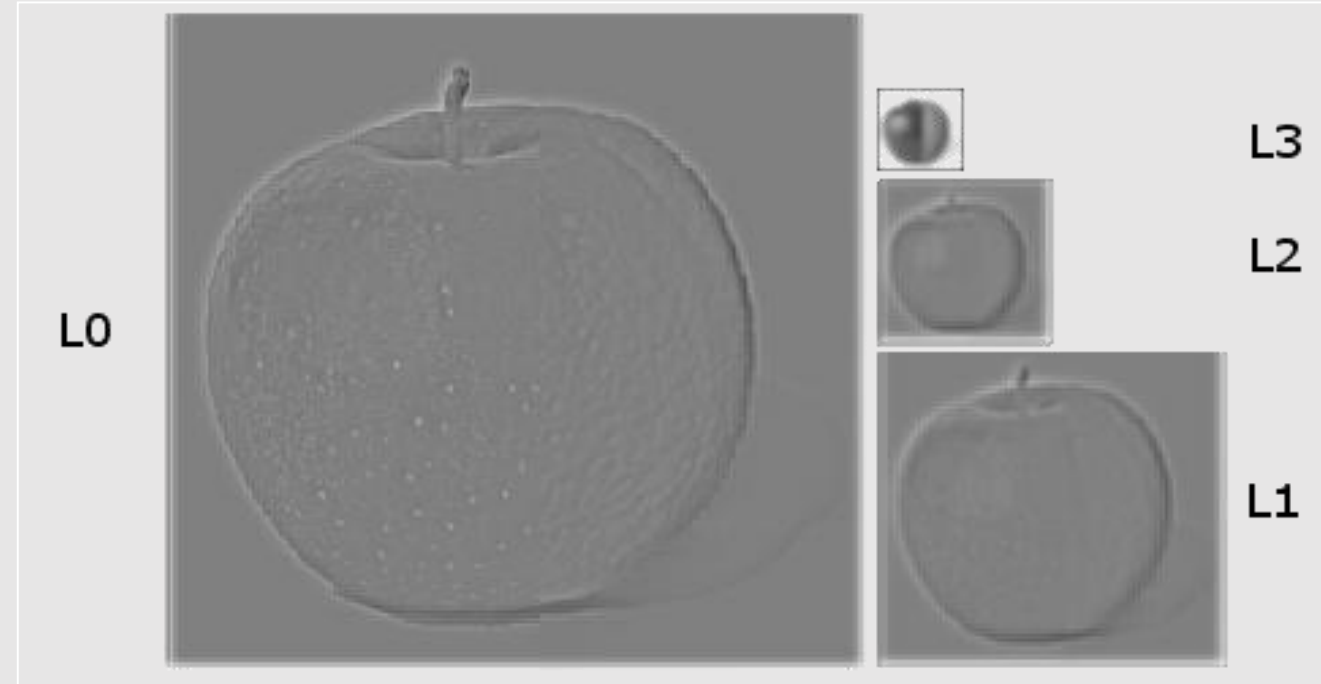
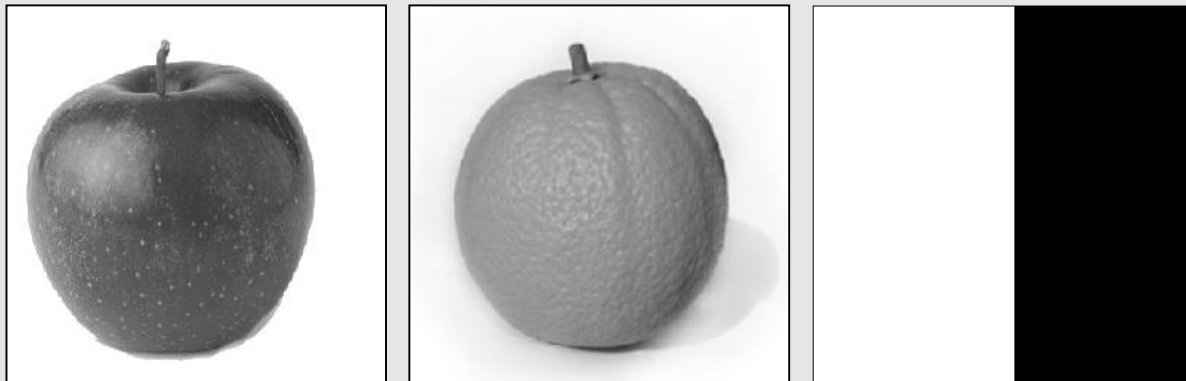
Spájanie obrazov s vyhladzovaním prechodu

- Pri spájaní obrazov (fotomontáž) dochádza vplyvom rôznych jasových a detailových vlastností obrazov k viditeľnému skresleniu v mieste ich spojenia

Proces vyhladzovania prechodu pozostáva z piatich krokov:

- Rozklad vstupných obrazov do Laplaceovej pyramídy
- Rozklad masky do Gaussovej pyramídy
- **Zlúčenie obrazov na jednotlivých úrovniach pyramíd**
- Spätná rekonštrukcia obrazu z kombinovanej pyramídy

Uvažujme dva obrazy a obraz masky



$$Lc_{k;(i,j)} = M_{k;(i,j)} La_{k;(i,j)} + (1 - M_{k;(i,j)}) Lb_{k;(i,j)}$$

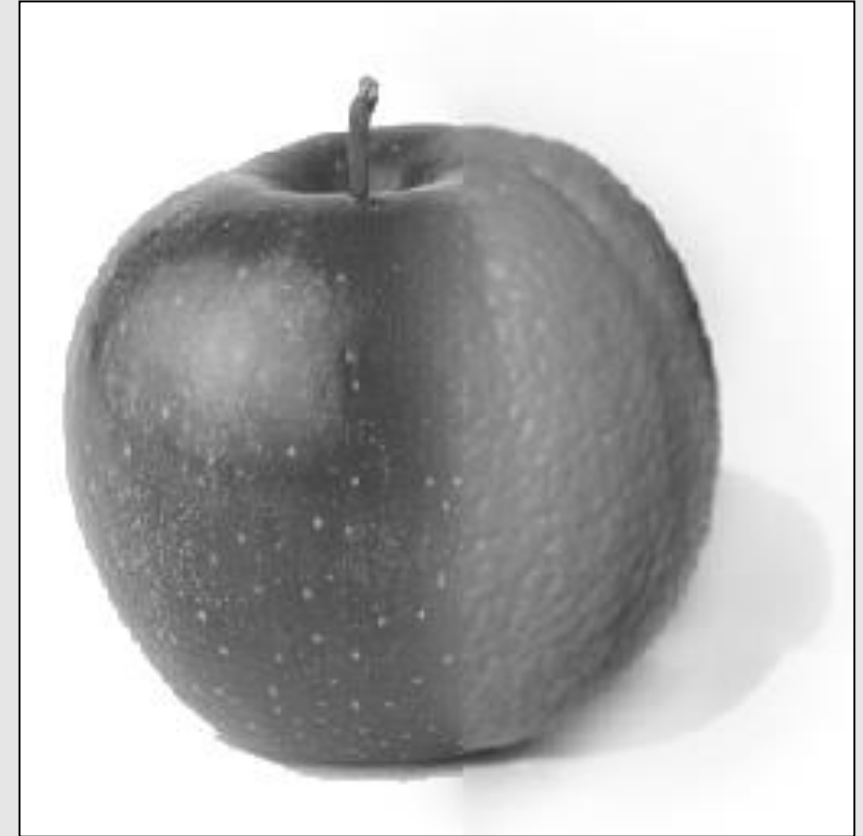
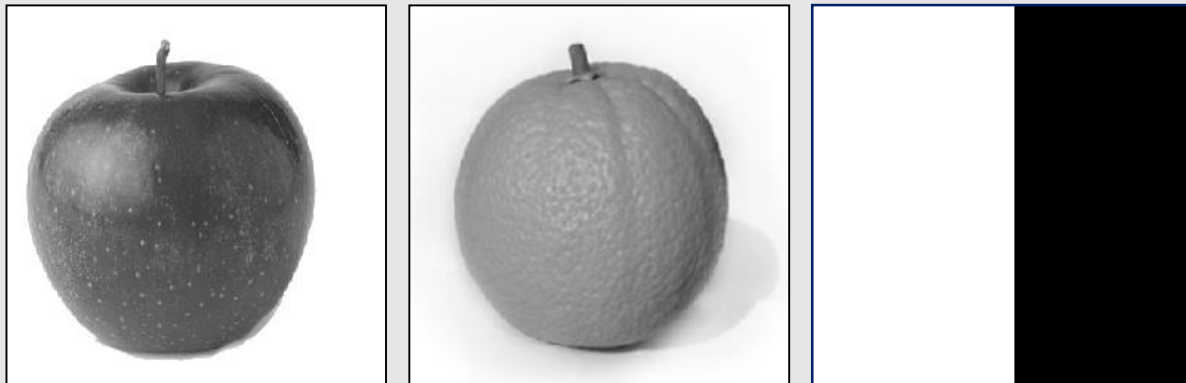
Spájanie obrazov s vyhladzovaním prechodu

- Pri spájaní obrazov (fotomontáž) dochádza vplyvom rôznych jasových a detailových vlastností obrazov k viditeľnému skresleniu v mieste ich spojenia

Proces vyhladzovania prechodu pozostáva z piatich krokov:

- Rozklad vstupných obrazov do Laplaceovej pyramídy
- Rozklad masky do Gaussovej pyramídy
- Zlúčenie obrazov na jednotlivých úrovniach pyramíd
- **Spätná rekonštrukcia obrazu z kombinovanej pyramídy**

Uvažujme dva obrazy a obraz masky



$$Lc_{k;(i,j)} = M_{k;(i,j)} La_{k;(i,j)} + (1 - M_{k;(i,j)}) Lb_{k;(i,j)}$$



Spájanie multiexpozície do HDR obrazu



Spájanie multiexpozície do HDR obrazu

- Pod pojmom HDR obraz rozumieme obraz s vysokým dynamickým rozsahom
- HDR obraz zachytáva scénu, ktorá obsahuje veľmi tmavé ale aj veľmi svetlé časti
- Obrazy s nízkym dynamickým rozsahom (LDR obrazy) nedokážu súčasne zachytiť detaily tmavých a svetlých častí obrazu súčasne
- ***HDR obraz je možné vygenerovať zo sekvencie LDR obrazov, ktoré boli získané pri rôznych časoch expozície***



Krátky čas expozície – vidíme detaily za oknom
nevidíme detaily v miestnosti



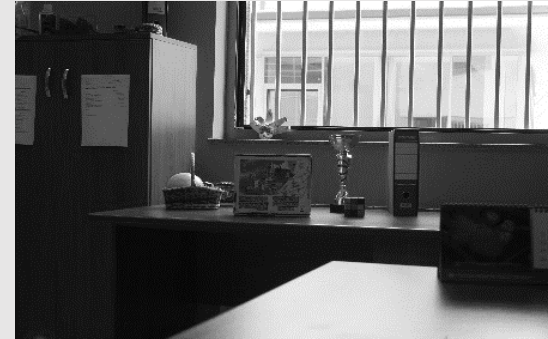
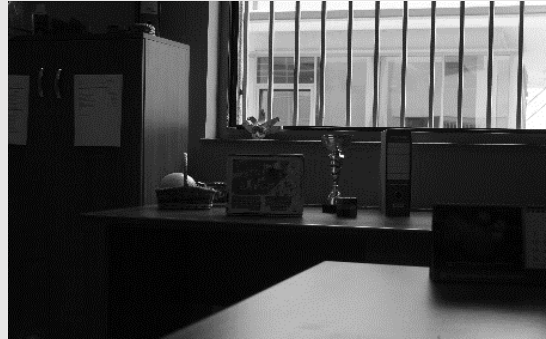
Dlhý čas expozície – vidíme detaily v miestnosti
nevidíme detaily za oknom

Spájanie multiexpozície do HDR obrazu

- Princíp jedného z možných spôsobov vytvárania HDR obrazov spočíva vo vytvorení sekvencie obrazov s rôznou dĺžkou expozície. Tieto obrazy sa rozložia pomocou Laplaceovej pyramídy a potom sa na jednotlivých úrovniach zlúčia.

Algoritmus možno definovať týmito krokmi:

- Pre každý obraz sa vygeneruje Laplaceova pyramída.
- Z prvkov jednotlivých úrovní sa do výslednej pyramídy vyberie ten, ktorý má najvyššiu absolútnu hodnotu.
- Posledná úroveň pyramídy, ktorá predstavuje Gaussov obraz, sa získa ako priemerná hodnota prvkov jednotlivých úrovní.
- Jednotlivé úrovne výslednej Laplaceovej pyramídy sa zlúčia do výsledného obrazu.
- Obraz je energeticky normovaný a následne prekvantovaný na požadovanú bitovú hĺbku.



Sekvencia
obrazov s rôznou
dĺžkou expozície



$$d_{i,j} = \max(|d_{i,j}^k|), k \in \langle 1, N \rangle$$
$$a_{i,j} = \frac{\sum_k a_{i,j}^k}{N}$$

Spájanie multiexpozície do HDR obrazu

- Princíp jedného z možných spôsobov vytvárania HDR obrazov spočíva vo vytvorení sekvencie obrazov s rôznou dĺžkou expozície. Tieto obrazy sa rozložia pomocou Laplaceovej pyramídy a potom sa na jednotlivých úrovniach zlúčia.

Algoritmus možno definovať týmito krokmi:

- Pre každý obraz sa vygeneruje Laplaceova pyramída.
- Z prvkov jednotlivých úrovní sa do výslednej pyramídy vyberie ten, ktorý má najvyššiu absolútnu hodnotu.
- Posledná úroveň pyramídy, ktorá predstavuje Gaussov obraz, sa získa ako priemerná hodnota prvkov jednotlivých úrovní.
- **Jednotlivé úrovne výslednej Laplaceovej pyramídy sa zlúčia do výsledného obrazu.**
- **Obraz je energeticky normovaný a následne prekvantovaný na požadovanú bitovú hĺbku.**

Výsledný HDR
obraz



$$d_{i,j} = \max(|d_{i,j}^k|), k \in \langle 1, N \rangle$$

$$a_{i,j} = \frac{\sum_k a_{i,j}^k}{N}$$

Nabudúce

Priestorová transformácia obrazu

Stereoskopia

Ďakujem za
pozornosť!

