

# Digitalni video

Prof. dr. sc. Mislav Grgić

# Wavelet transformacija

# Wavelet transformacija

- u važećim normama za kodiranje videosignala koristi se DCT
  - slika se dijeli u blokove od  $N \times N$  elemenata slike
  - svaki blok se transformira neovisno o drugim blokovima dajući  $N \times N$  DCT koeficijenata
  - visokofrekvencijski DCT koeficijenti odbacuju se radi postizanja kompresije
  - primjena DCT na razini bloka uz zanemarivanje određenog broja koeficijenata temeljno je ograničenje DCT sustava za kompresiju
    - pri višim stupnjevima kompresije, kada se zanemaruje veći broj DCT koeficijenata, dolazi do pojave vidljivosti rubova blokova u slici



50:1

# Wavelet transformacija

- wavelet-transformacija (WT)
  - provodi sličnu dekompoziciju slike u prostorno-frekvencijske pojaseve kao DCT
  - cijela slika transformira se i komprimira kao cjelina što izaziva jednoliku raspodjelu pogreške zbog kompresije po cijeloj slici

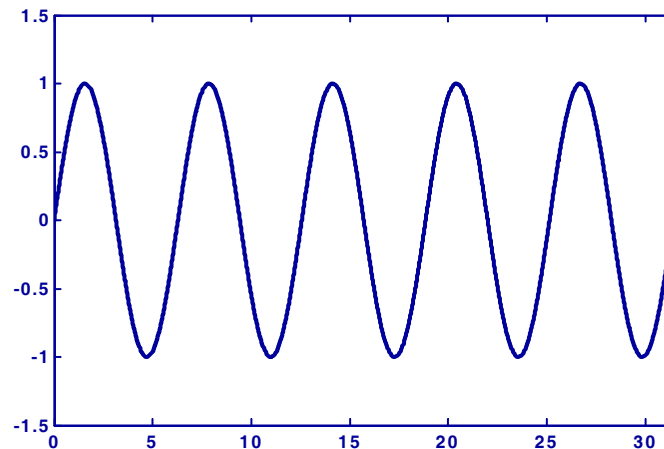
# Wavelet transformacija

- Fourierova transformacija (FT)
  - predstavljanje signala zbrojem sinusoida različitih frekvencija i faza
  - bazne funkcije su periodički, vremenski neograničeni signali
  - problem: nakon primjene FT i prikaza ulaznog signala u frekvencijskoj domeni gubi se informacija o vremenu
- wavelet transformacija (WT)
  - primjenom wavelet transformacije slika se prikazuje kao zbroj wavelet funkcija (waveleta) s različitim položajima i s različitim mjerilima (skalama)
  - bazne funkcije su ograničenog trajanja
  - moguće je mijenjati veličinu vremenskog intervala u kome se provodi analiza signala
    - veličina vremenskog intervala obrnuto je proporcionalna frekvenciji koja se analizira
      - dugi vremenski intervali koriste se za dobivanje NF informacija
      - kratki vremenski intervali koriste se za dobivanje VF informacija

# Wavelet transformacija

Elementarna  
funkcija  
analize

sinusoida (općenito  $e^{i\omega t}$ ):



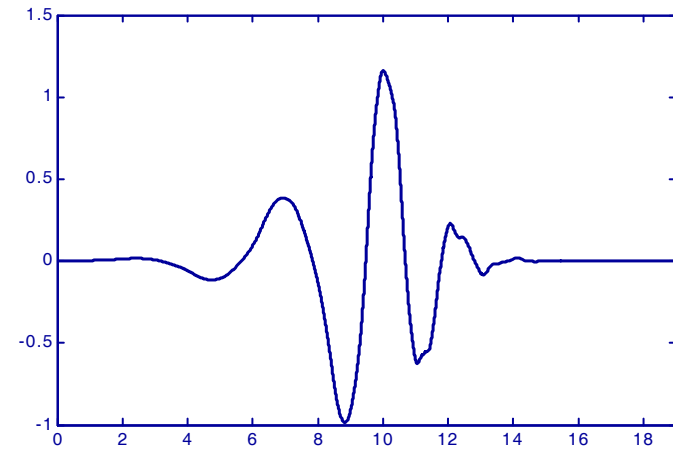
Transformacija  
i inverzna  
transformacija

$$\theta(\omega) = \int f(t) e^{-i\omega t} dt$$

$$f(t) = \int \theta(\omega) e^{i\omega t} d\omega$$

$\omega$  - frekvencija

wavelet funkcija  $\psi(t)$ :



$$d(s, \tau) = \int f(t) \psi_{s, \tau}^*(t) dt$$

$$f(t) = \iint d(s, \tau) \psi_{s, \tau}(t) dt ds$$

$s$  – mjerilo,  $\tau$  – položaj

# Wavelet transformacija

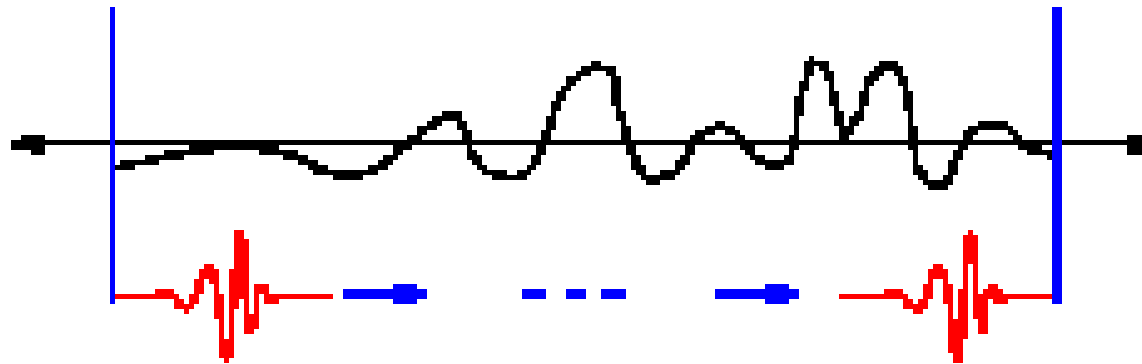
- skup baznih funkcija dobiva se promjenom mjerila (*scale*) originalnog waveleta na vremenskoj osi
- svaki wavelet sadrži isti broj perioda tako da proširenje waveleta znači snižavanje frekvencije



- niskofrekvencijske komponente transformirane su pomoću dugih funkcija (*high scale*)
- visokofrekvencijske komponente transformirane su pomoću kratkih funkcija (*low scale*)

# Wavelet transformacija

- tijekom proračuna analizirajući wavelet pomiče se provodeći analizu cijelog ulaznog signala



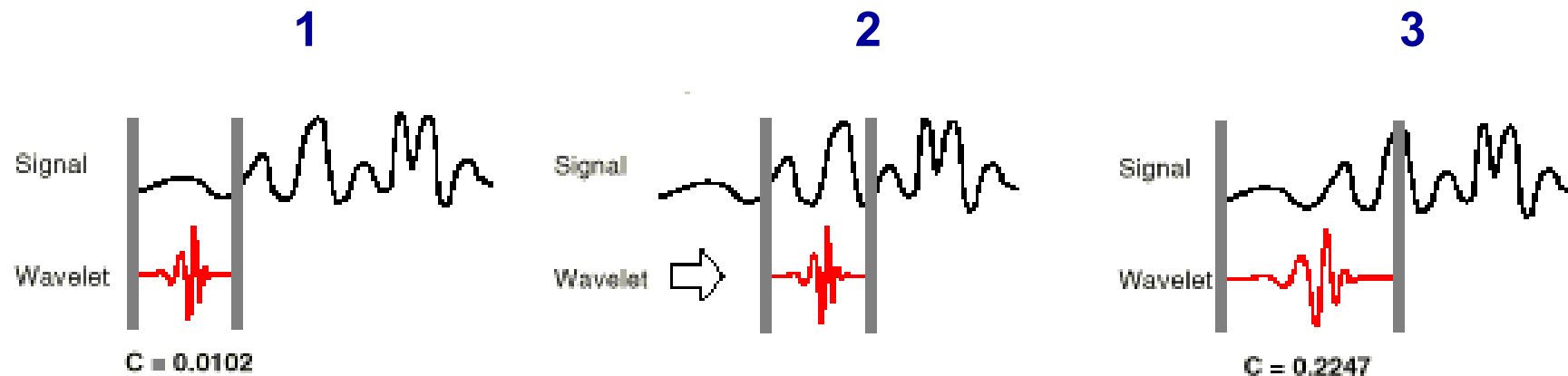
- rezultat: koeficijenti wavelet transformacije koji su funkcija dužine i položaja originalnog waveleta





# Wavelet transformacija

- koraci u proračunu koeficijenata transformacije:
  - usporedba waveleta s početnim dijelom ulaznog signala i proračun koeficijenta  $C$  koji pokazuje korelaciju (sličnost) ulaznog signala s waveletom; što je  $C$  veći, korelacija je veća
  - pomicanje waveleta udesno i ponavljanje prethodnog koraka dok se ne analizira cijeli ulazni signal
  - proširenje waveleta i ponavljanje prethodna dva koraka



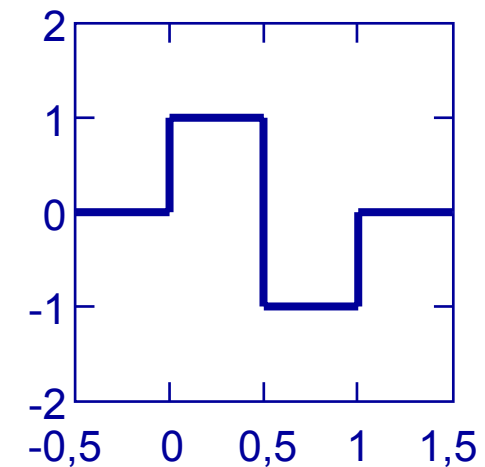
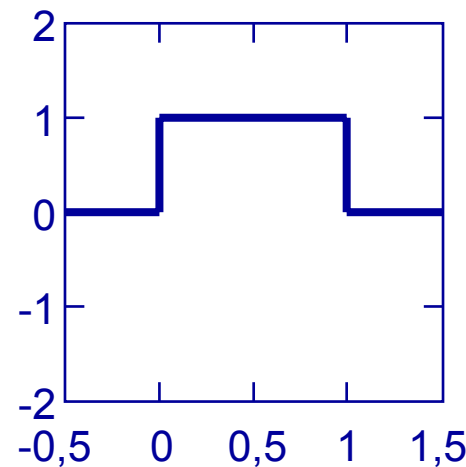
# Wavelet transformacija

## PRIMJER - 1:

- ulazni slijed podataka:  $\{x_{n,i}\} = \{10, 13, 25, 26, 29, 21, 7, 15\}$
- $i \in [0, \dots, 7]$  indeksira ulazne podatke
- $n$  označava razinu dekompozicije
- primjenjujemo transformaciju kojom se ulazni slijed podataka zamjenjuje srednjim vrijednostima i razlikama parova ulaznih podataka:

$$x_{n-1,i} = \frac{x_{n,2i} + x_{n,2i+1}}{2}$$

$$d_{n-1,i} = \frac{x_{n,2i} - x_{n,2i+1}}{2}$$



Haarova wavelet transformacija  
(skalirajuća i wavelet funkcija)

# Wavelet transformacija

$$\{x_{n,i}\} = \{10, 13, 25, 26, 29, 21, 7, 15\}$$

$$\{x_{n-1,i}, d_{n-1,i}\} = \{11,5, 25,5, 25, 11, -1,5, -0,5, 4, -4\}$$

$$\{x_{n-2,i}, d_{n-2,i}, d_{n-1,i}\} = \{18,5, 18, -7, 7, -1,5, -0,5, 4, -4\}$$

$$\{x_{n-3,i}, d_{n-3,i}, d_{n-2,i}, d_{n-1,i}\} = \{18,25, 0,25, -7, 7, -1,5, -0,5, 4, -4\}$$

$$x_{n-1,i} = \frac{x_{n,2i} + x_{n,2i+1}}{2}$$

$$d_{n-1,i} = \frac{x_{n,2i} - x_{n,2i+1}}{2}$$

- rekonstrukcija ulaznog slijeda podataka:

$$x_{n,2i} = x_{n-1,i} + d_{n-1,i}$$

$$x_{n,2i+1} = x_{n-1,i} - d_{n-1,i}$$

"najgrublja" aproksimacija  
ulaznog signala  
(srednja vrijednost svih  
ulaznih podataka)

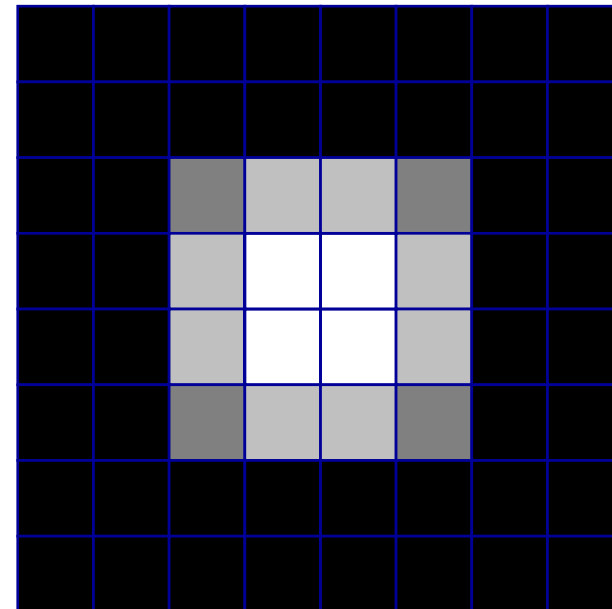
detalji / pogreške aproksimacije

# Wavelet transformacija

## PRIMJER - 2:

- 2D Haarova transformacija

0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	63	127	127	63	0	0
0	0	127	255	255	127	0	0
0	0	127	255	255	127	0	0
0	0	63	127	127	63	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0



# Wavelet transformacija

- primjenom 1D Haarove transformacije nad retcima:

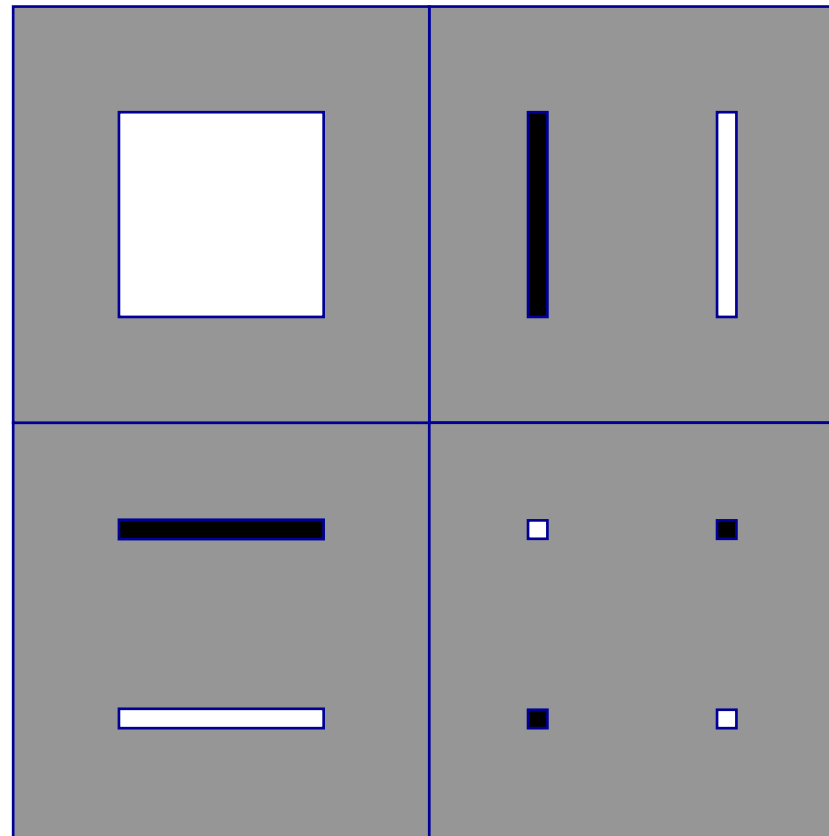
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	95	95	0	0	-32	32	0
0	191	191	0	0	-64	64	0
0	191	191	0	0	-64	64	0
0	95	95	0	0	-32	32	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

- primjenom 1D Haarove transformacije nad novim stupcima:

0	0	0	0	0	0	0	0
0	143	143	0	0	-48	48	0
0	143	143	0	0	-48	48	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	-48	-48	0	0	16	-16	0
0	48	48	0	0	-16	16	0
0	0	0	0	0	0	0	0

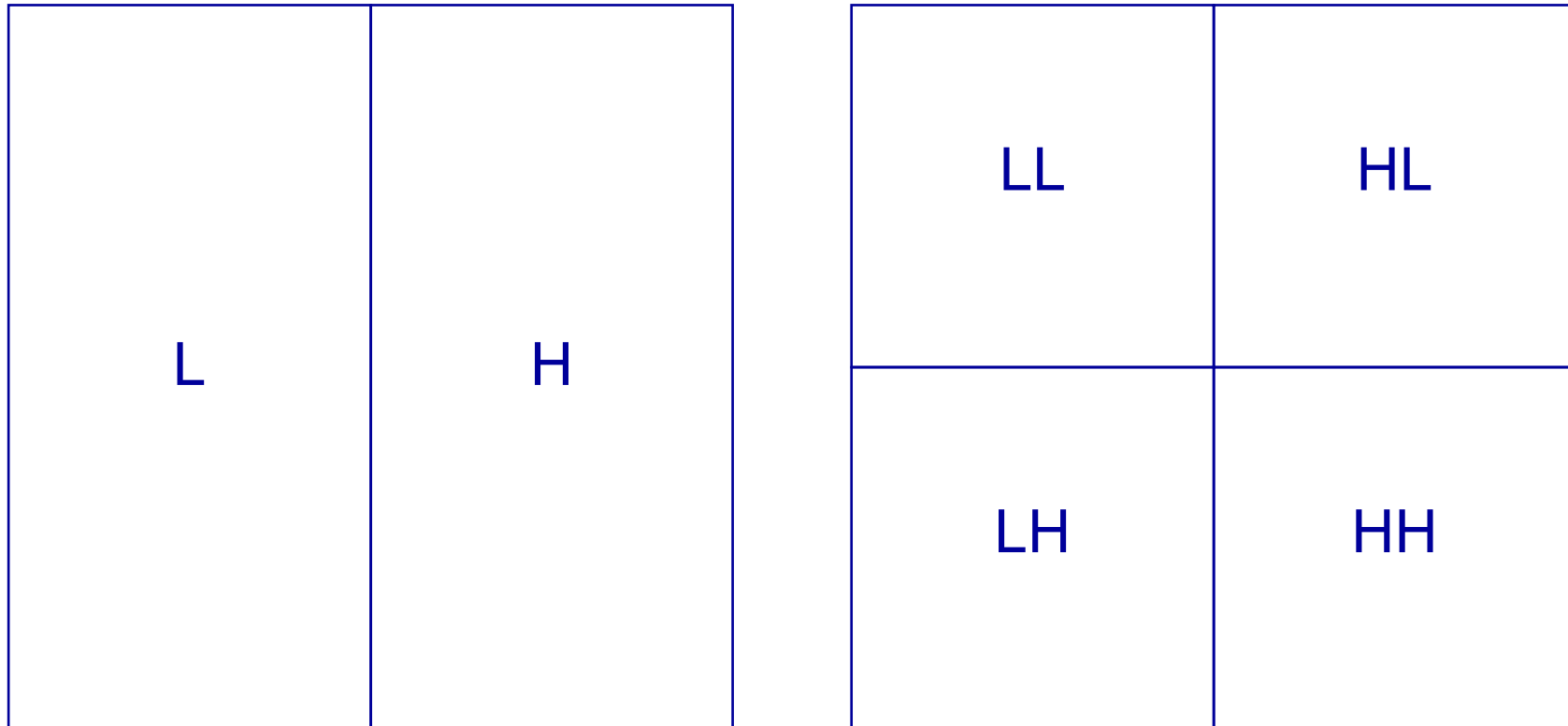
# Wavelet transformacija

- jednostavna ilustracija wavelet transformacije:



# Wavelet transformacija

- jednostavna ilustracija wavelet transformacije:



# Wavelet transformacija

- kontinuirana wavelet-transformacija može raditi sa svim mogućim dužinama funkcije i na svim položajima
  - proračuni su dugotrajni i složeni
- diskretna wavelet-transformacija (DWT) koristi samo podskup mogućih dužina i položaja
  - dužine i položaji odabiru se kao potencije broja 2 (*dyadic*)
- DWT omogućava adaptivnu prostorno-frekvencijsku analizu koja je dobro usklađena sa svojstvima ljudskog vizualnog sustava (HVS)

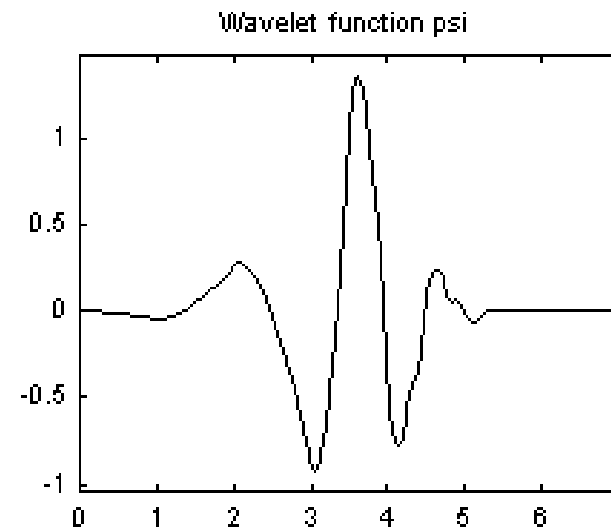
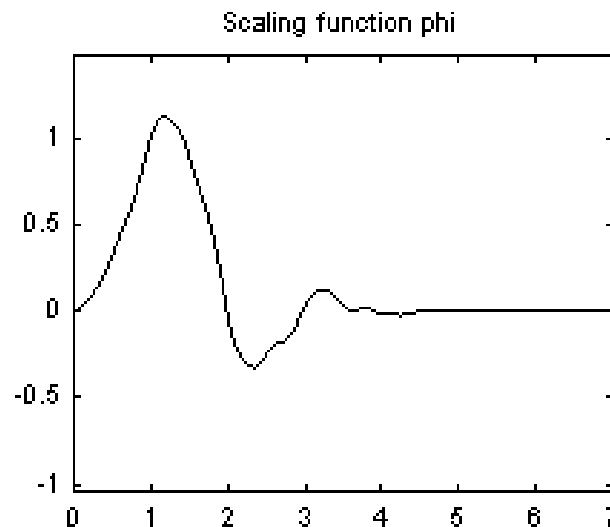


# Wavelet transformacija

- DWT omogućava postizanje bolje kvalitete slike nego DCT, posebno pri visokim stupnjevima kompresije
- DWT je složenija za proračunavanje od DCT, a složenost proračuna ovisi o vrsti wavelet filtra koji se koristi
- DWT koristi dvije vrste funkcija
  - skalirajuća funkcija
    - kao niskopropusni filter generira bazne funkcije za aproksimaciju slike (NF)
  - wavelet funkcija
    - kao visokopropusni filter generira bazne funkcije za detalje na različitim rezolucijskim razinama (VF)

# Wavelet transformacija

- u postupku dekompozicije slike primjenom wavelet transformacije koriste se dva valna oblika:
  - skalirajuća funkcija -  $\Phi$  za prikazivanje niskofrekvencijskih komponenti slike koje odgovaraju područjima bez velikih promjena u slici
  - wavelet funkcija -  $\Psi$  za prikazivanje visokofrekvencijskih komponenti slike koje odgovaraju detaljima u slici
- primjer skalirajuće i wavelet funkcije (tzv. Daubechies waveleti)



# Wavelet transformacija

- WT provodi višerezolucijsku analizu slike
  - rezultat višerezolucijske analize je istovremeni prikaz slike s različitim rezolucijama
  - rezolucija je određena pragom ispod kojega se sve promjene i detalji zanemaruju
  - razlika između dvije susjedne rezolucijske razine predstavlja detalje
- slika može biti prikazana kao niskorezolucijska slika (aproksimacija) i detalji na svakoj višoj rezolucijskoj razini
- razmotrimo jednodimenzijsku funkciju  $f(t)$ 
  - na rezolucijskoj razini  $j$ , aproksimacija funkcije  $f(t)$  je  $f_j(t)$
  - na sljedećoj rezolucijskoj razini  $j+1$  aproksimacija  $f(t)$  je  $f_{j+1}(t)$
  - detalji  $d_j(t)$  uključeni su u  $f_{j+1}(t)$ :  $f_{j+1}(t) = f_j(t) + d_j(t)$

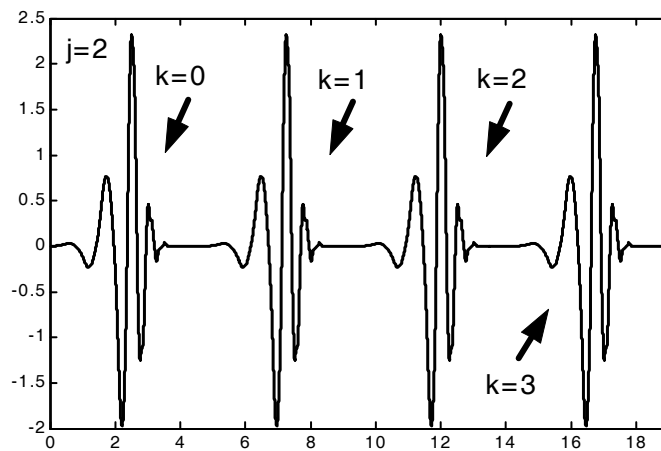
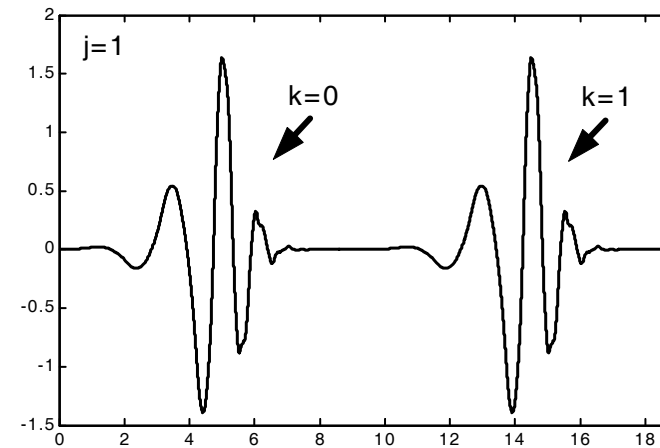
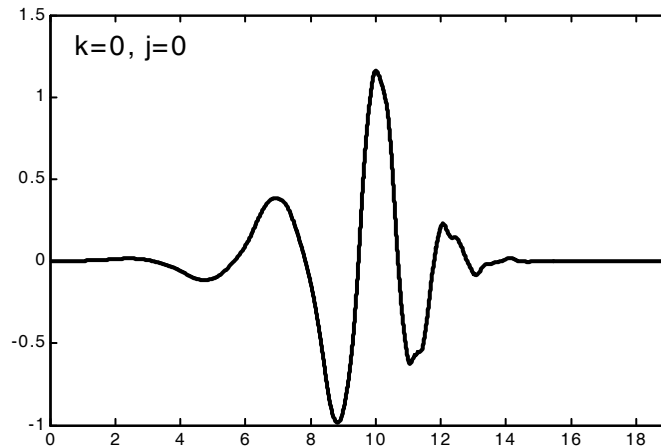
# Wavelet transformacija

- postupak se ponavlja nekoliko puta tako da se funkcija  $f(t)$  može prikazati kao

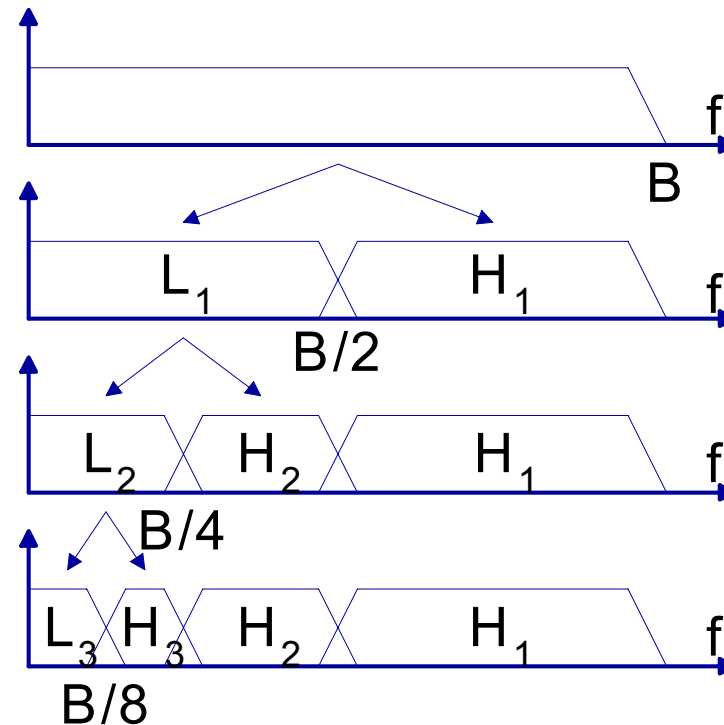
$$f(t) = f_j(t) + \sum_{k=j}^n d_k(t)$$

- aproksimaciju možemo započeti na nekoj početnoj skali, te nakon toga možemo koristiti wavelete za popunjavanje detalja koji nedostaju na sve finijim i finijim skalama

# Wavelet transformacija



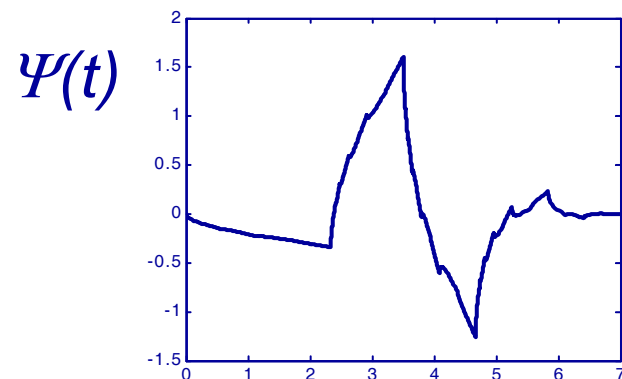
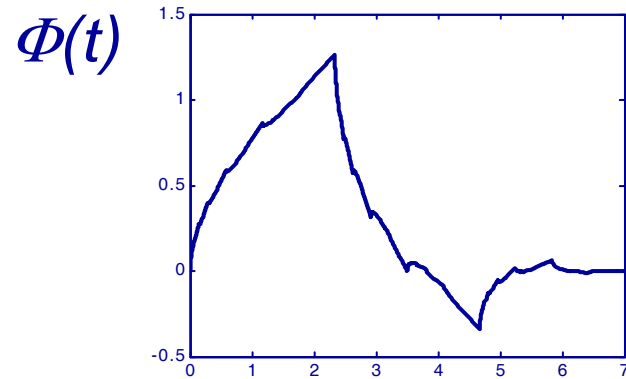
# Wavelet transformacija



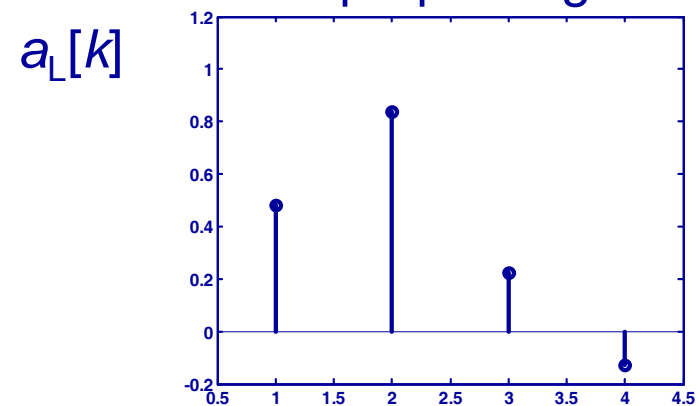
Wavelet dijadička dekompozicija / transformacija  
prikazana kao uzastopno filtriranje (na oktave)

# Wavelet transformacija

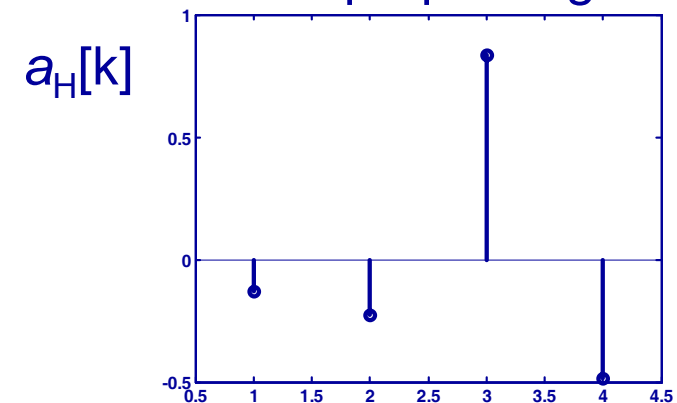
- Daubechies wavelet, 2. reda



koeficijenti  
niskopropusnog filtra



koeficijenti  
visokopropusnog filtra



# Wavelet transformacija

- skalirajuća funkcija za višerezolucijsku aproksimaciju može biti dobivena kao rješenje sljedeće dilatacijske jednadžbe

$$\Phi(x) = \sum_k a_L(k) \Phi(2x - k)$$

za slijed koeficijenata  $a_L(k)$

- nakon što se odredi  $\Phi$ , može se odrediti osnovna wavelet funkcija (*mother wavelet*)

$$\Psi(x) = \sum_k a_H(k) \Phi(2x - k)$$

za slijed koeficijenata  $a_H(k)$

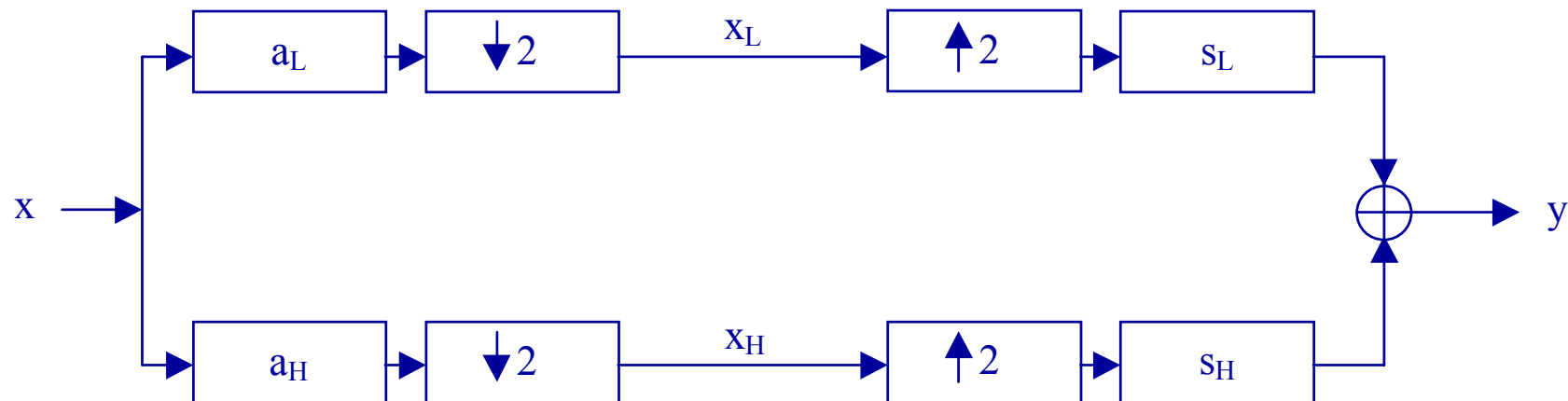


# Wavelet transformacija

- jedno od velikih otkrića wavelet analize je da koeficijenti  $a_L(k)$  i  $a_H(k)$  oblikuju banku filtara koji omogućavaju savršenu rekonstrukciju signala
- ulazna sekvenca  $x$  propušta se kroz niskopropusne filtre (LPF, *lowpass filter*) i visokopropusne filtre (HPF, *highpass filter*),  $a_H(k)$  i  $a_L(k)$ , a nakon filtriranja provodi se poduzorkovanje s faktorom dva tako da se dobiju transformirani signali  $x_H$  i  $x_L$
- ulazni signal rekonstruira se naduzorkovanjem i propuštanjem kroz visokopropusne i niskopropusne filtre za sintezu signala  $s_H(k)$  and  $s_L(k)$

# Wavelet transformacija

- ako su filtri ispravno oblikovani omogućena je savršena rekonstrukcija ulaznog signala, tj. vrijedi da je izlazni signal jednak ulaznom ( $y=x$ )



# Wavelet transformacija

- izbor filtra ne određuje samo da li je savršena rekonstrukcija signala moguća - on određuje i oblik waveleta koji se koristi u postupku analize signala
- kaskadiranjem analizirajućih filtarskih banki može se postići dekompozicija digitalnog signala s dijadičkim frekvencijskim skaliranjem poznata kao diskretna wavelet transformacija
- matematička operacija kojom se provodi sinteza signala naziva se inverzna diskretna wavelet transformacija
- DWT za sliku kao dvodimenzijski signal (2D-DWT) može biti izvedena iz jednodimenzijske DWT množenjem jednodimenzijskih DWT

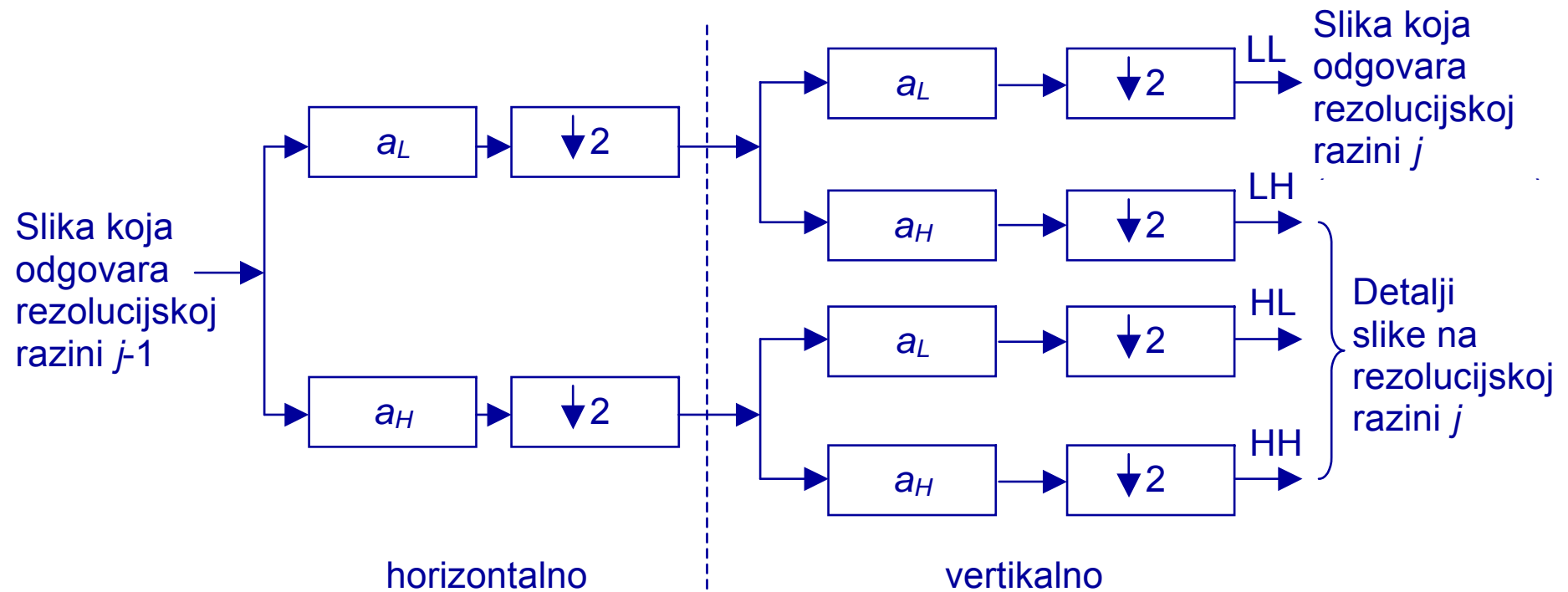
# Wavelet transformacija

- skalirajuća funkcija za 2-D DWT može se dobiti množenjem dvije 1-D skalirajuće funkcije:  $\Phi(x,y)=\Phi(x)\Phi(y)$
- wavelet funkcija za 2-D DWT može se dobiti množenjem dvije 1-D wavelet funkcije ili skalirajuće i wavelet funkcije
- za 2-D slučaj postoje tri wavelet funkcije za analizu detalja u
  - horizontalnom:  $\Psi^{(I)}(x,y)=\Phi(x)\Psi(y)$
  - vertikalnom:  $\Psi^{(II)}(x,y)=\Psi(x)\Phi(y)$
  - dijagonalnom smjeru:  $\Psi^{(III)}(x,y)=\Psi(x)\Psi(y)$
- postupak analiziranja može biti prikazan pomoću četverokanalnog filtra sa savršenom rekonstrukcijom signala

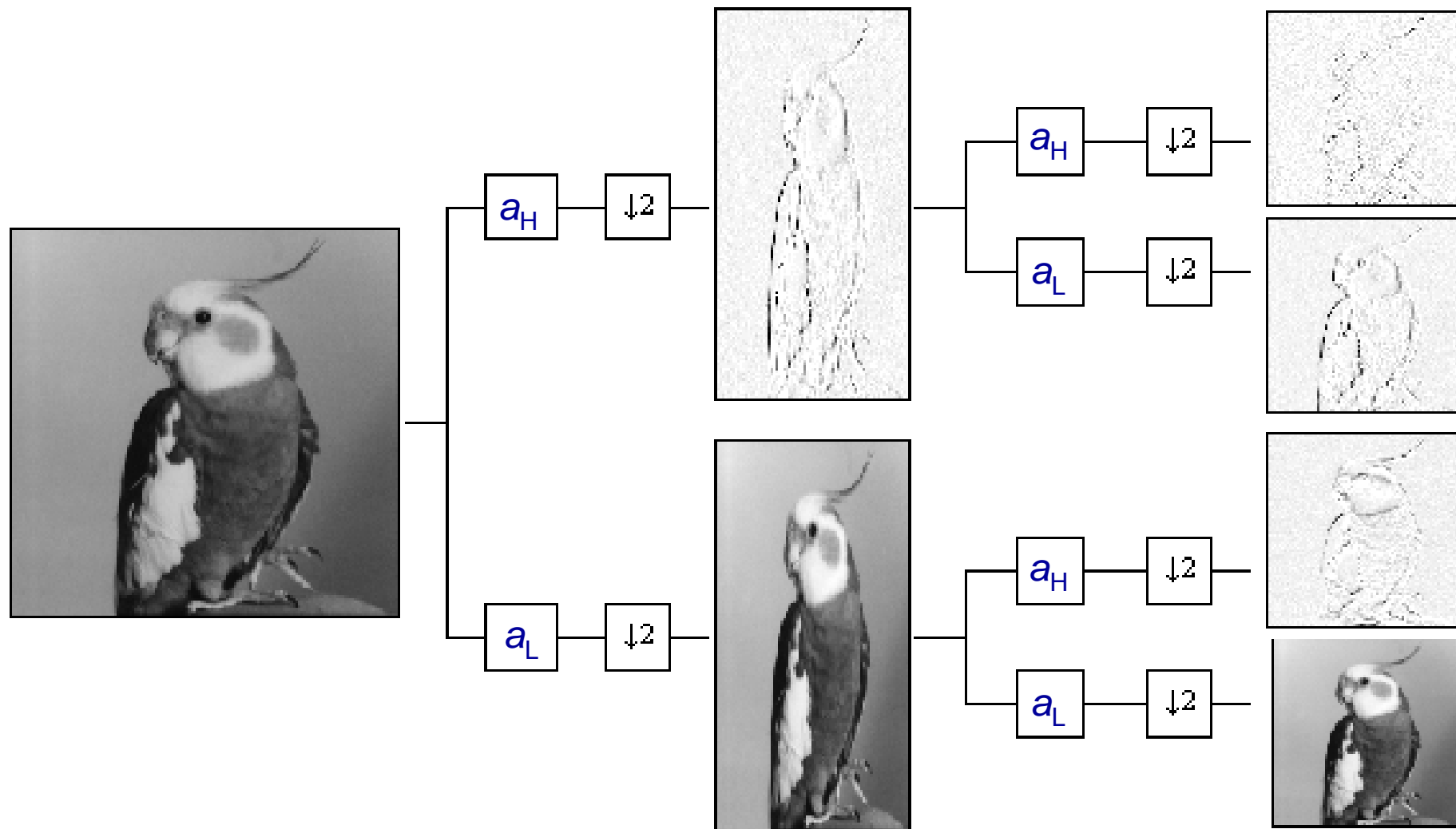
# Wavelet transformacija

- rezultat filtriranja su četiri komponente koje se sastoje od svih mogućih kombinacija visokopropusnog i niskopropusnog filtriranja u horizontalnom i vertikalnom smjeru
- za svaku rezolucijsku razinu postoje tri vrste detalja: horizontalni (HL), vertikalni (LH) i dijagonalni (HH)
- filtriranje može biti ponovljeno za aproksimaciju slike (LL) koristeći jednaku filtarsku jedinicu
- na taj način generira se hijerarhijska piramidalna struktura u kojoj parametar "broj dekompozicija" označava broj filtarskih jedinica koje se koriste u postupku dekompozicije slike

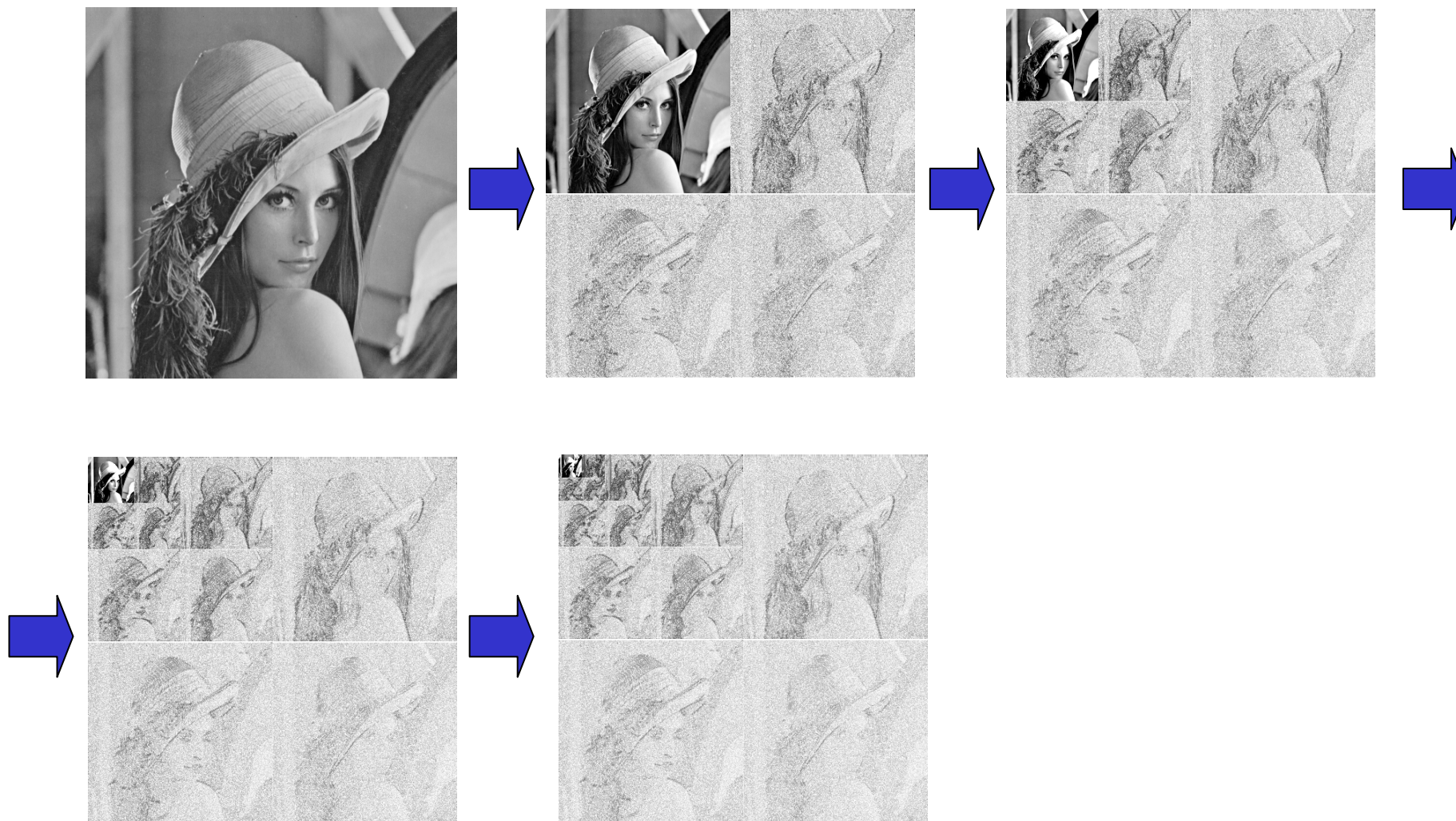
# Wavelet transformacija



# Wavelet transformacija

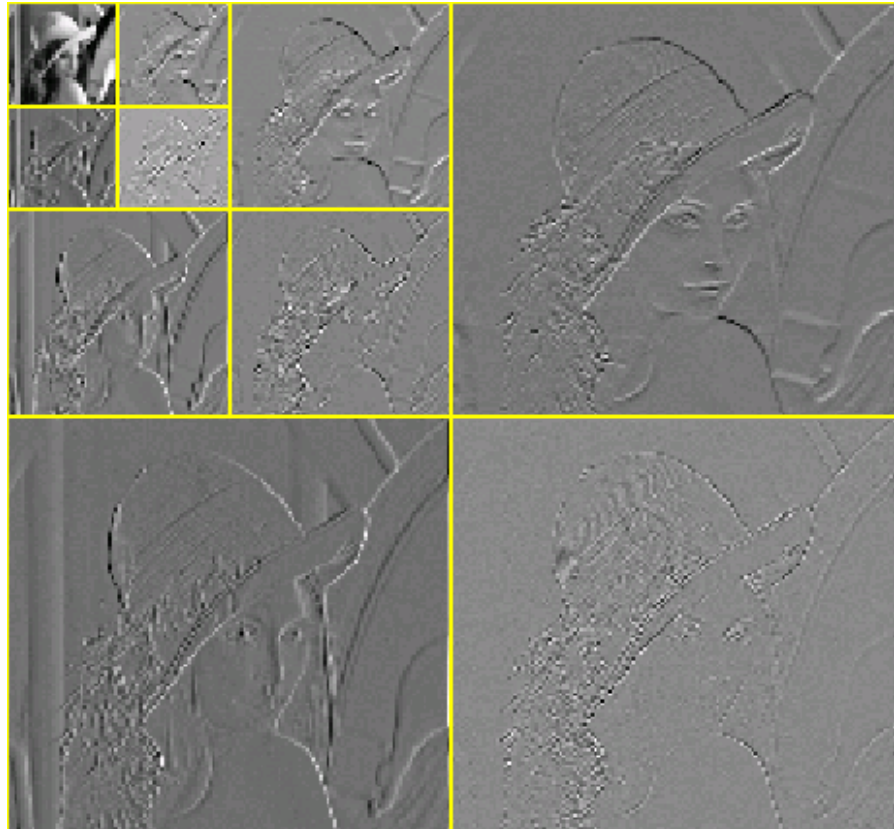
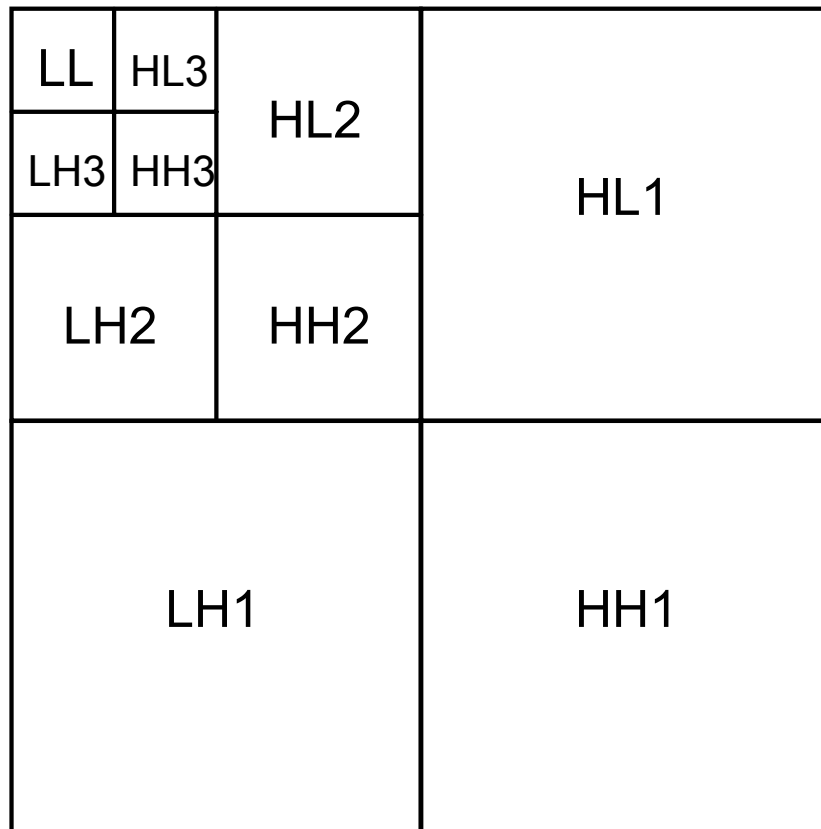


# Wavelet transformacija





# Wavelet transformacija



# Wavelet transformacija

- kvaliteta rekonstruirane slike ovisi o broju dekompozicija
  - u teoriji broj dekompozicija može biti neograničen
  - u stvarnosti proces dekompozicije može biti ponavlján sve dok pojedini detalj ne sadrži samo jedan uzorak ili element slike
  - u praksi broj dekompozicija treba prilagoditi svojstvima signala koji se analizira
- veći broj dekompozicija uzrokuje porast kvalitete slike, ali i povećanje složenosti proračuna unutar algoritma za kompresiju
- broj dekompozicija treba odrediti tako da se postigne kompromis između zahtjeva za višom kvalitetom slike i zahtjeva za brzinom proračuna
- dovoljno je koristiti **4-5 dekompozicija** jer nakon toga povećanje broja dekompozicija donosi malo povećanje u kvaliteti slike

# Wavelet transformacija



(a)



(b)



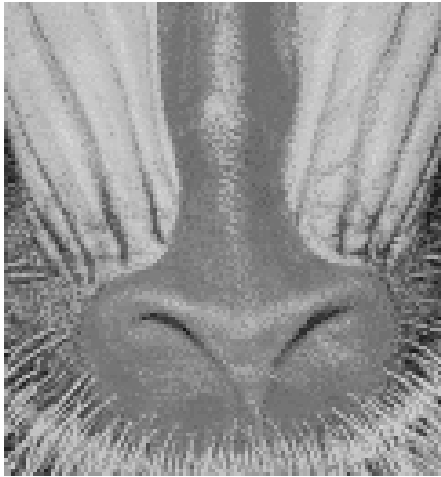
(c)



(d)

Usporedba wavelet funkcija za ispitnu sliku Lena  
( $PSNR = 36$  dB): (a) original; (b) DW-5 ( $PQS = 2,93$ );  
(c) CW-3 ( $PQS = 3,10$ ); (d) BW-2.2 ( $PQS = 3,20$ )

# Wavelet transformacija



(a)



(b)



(c)



(d)

Usporedba kvalitete slike za ispitnu sliku Baboon  
uz stupanj kompresije 20:1

(a) original; (b) DW-1; (c) CW-3; (d) BW-2.2

# Wavelet transformacija

- rekonstrukcija slike "Lena" uz (a) 1, (b) 2, (c) 3 i (d) 4 dekompozicije za DW-5 uz stupanj kompresije 50:1



(a)  $PSNR = 8,4$  dB



(b)  $PSNR = 11,73$  dB



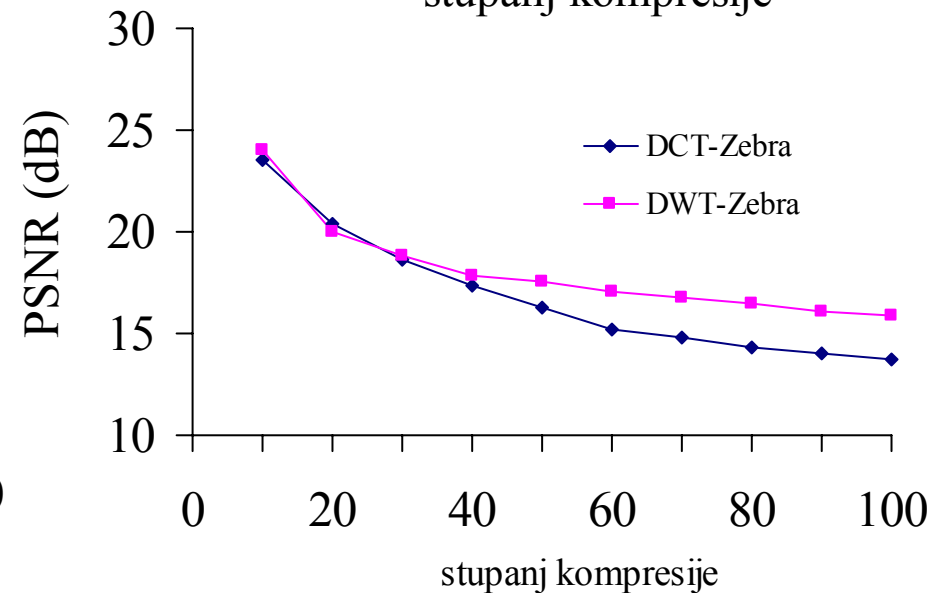
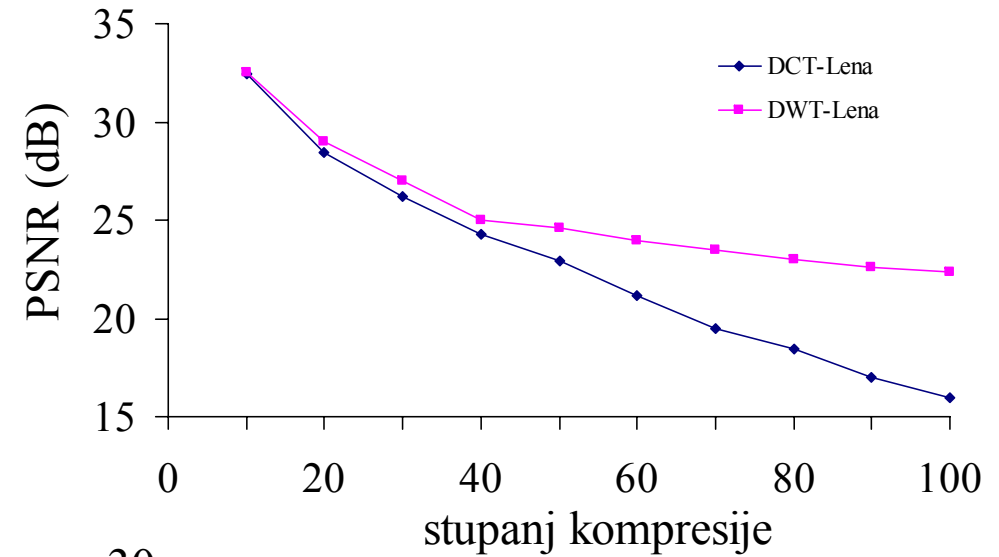
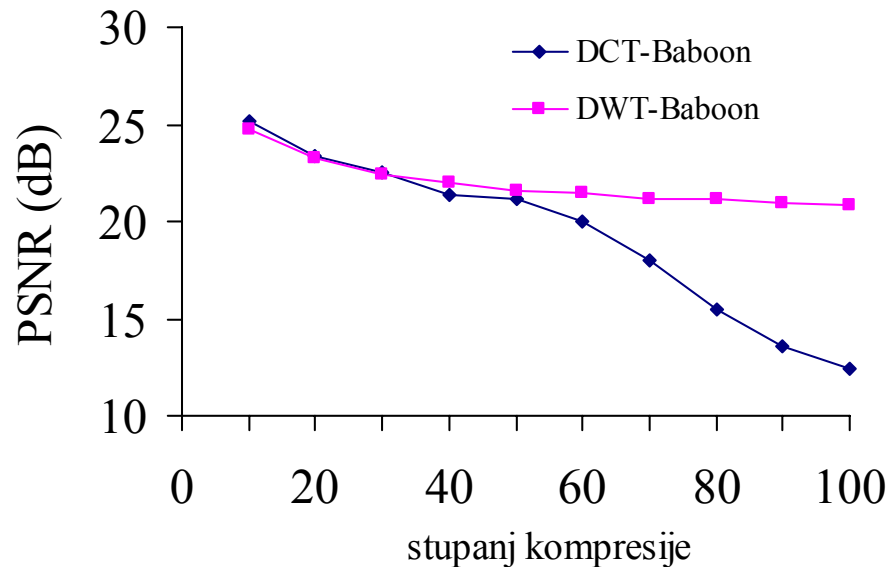
(c)  $PSNR = 23,38$  dB



(d)  $PSNR = 24,46$  dB

# Wavelet transformacija

- usporedba DCT i DWT



# Wavelet transformacija



(a)



(b)



Rekonstruirana slika i pogreška rekonstrukcije za ispitnu sliku Lena ( $PSNR = 26$  dB): (a) DCT, (b) BW-2.2



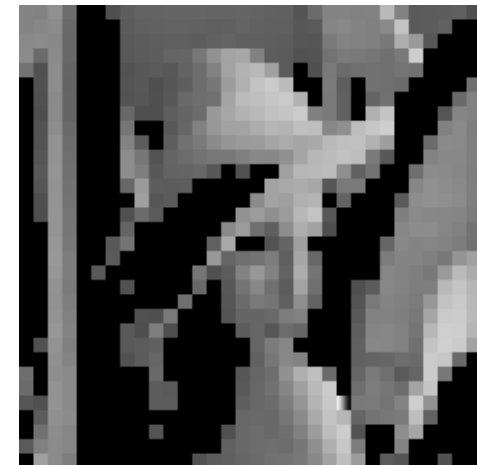
# Wavelet transformacija

- usporedba: (a) DWT (BW-2.2) i (b) DCT

(a)



(b)



5:1

50:1

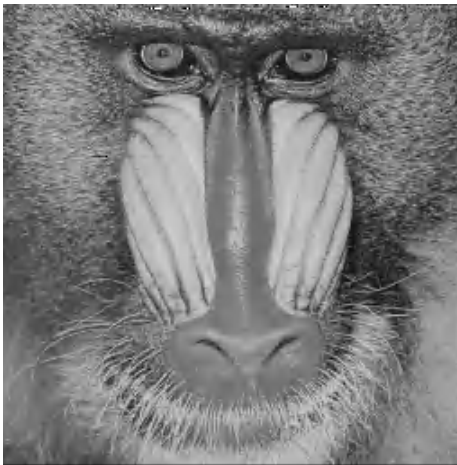
100:1



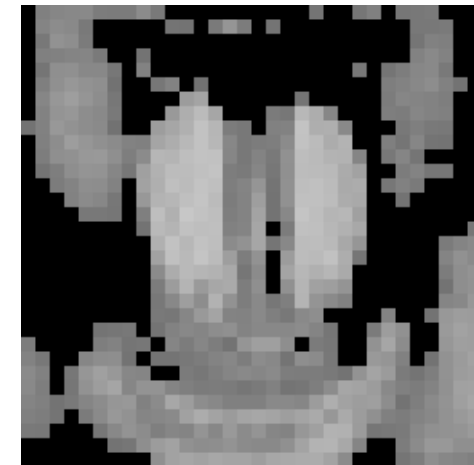
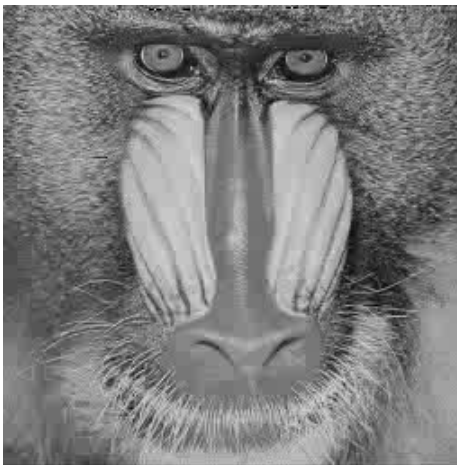
# Wavelet transformacija

- usporedba: (a) DWT (BW-2.2) i (b) DCT

(a)



(b)



5:1

50:1

100:1

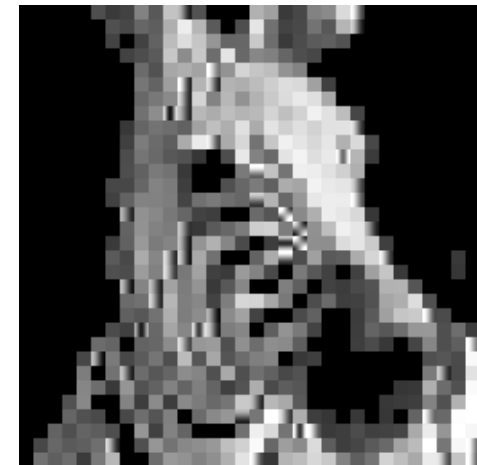
# Wavelet transformacija

- usporedba: (a) DWT (BW-2.2) i (b) DCT

(a)



(b)



5:1

50:1

100:1

# Norme za kompresiju mirnih slika

# Norme za kompresiju

- normizacijska tijela:

CCITT	International Telegraph and Telephone Consultative Committee
ITU	International Telecommunication Union
JPEG	Joint Photographic Experts Group
MPEG	Moving Picture Experts Group
ISO	International Standards Organization
IEC	International Electrotechnical Commission

# Norme za kompresiju

- pregled normi za kompresiju:

JPEG	1992	For still image coding, DCT based
JPEG-2000	2000	For still image coding, DWT based
H.261	1990	For videoconferencing, 64Kbps to 1.92 Mbps
MPEG-1	1991	For CD-ROM, 1.5 Mbps
MPEG-2 (H.262)	1994	For DTV, 2 to 15 Mbps, most extensively used
H.263	1995	For very low bit rate coding, below 64 Kbps
H.263+ (version 2)	1998	Add new optional features to H.263
MPEG-4	1999	For multimedia, content-based coding
MPEG-4 (version 2)	2000	Adds more tools to MPEG-4
H.263++	2000	Adds more optional features to H.263+
H.26L	2000	Functionally different, much more efficient
[MPEG-7	2001	Content description and indexing]

# Norme za kompresiju

- ISO/IEC IS 10918 "Digitalna kompresija i kodiranje mirnih slika (*"Digital Compression and Coding of Continuous Tone Still Images"*), tzv. **JPEG norma** (*Joint Photographic Experts Group*)
- ISO/IEC IS 15444, tzv. **JPEG 2000 norma**:
  - Part 1, Osnovni sustav za kodiranje (zamišljen kao besplatan - nije potrebna dozvola za korištenje)
  - Part 2, Dodaci (dodaje druge mogućnosti i profinjenost osnovnom dijelu)
  - Part 3, Motion JPEG 2000
  - Part 4, Prilagođavanje
  - Part 5, Osnovna programska podrška (Java i C implementacije)
  - Part 6, Miješani oblik slikovnih podataka (slike u dokumentima za pripremu tiska, fax primjene i sl.)
  - Part 7, Napušten je
  - Part 8, JPSEC (sigurnosni aspekti)
  - Part 9, JPIP (interaktivni protokoli i API - *Application Program Interface*)
  - Part 10, JP3D (3D slike)
  - Part 11, JPWL (primjene za radijski prijenos)
  - Part 12, ISO osnovni oblik formata podataka

# Norme za kompresiju

- ITU-T (prije CCITT) **preporuka H.261** "Video-kodek za audiovizualne usluge pri brzinama prijenosa od  $p \times 64$  kbit/s" (*"Video Codec for Audiovisual Services at  $p \times 64$  kb/s"*)
- ITU-T **preporuka H.263** "Kodiranje videosignala za komunikaciju pri niskim brzinama prijenosa" (*"Video Coding for Low Bit Rate Communication"*)
- ISO/IEC IS 11172 "Kodiranje pokretnih slika i pratećih audiosignala za digitalno pohranjivanje pri brzinama do 1,5 Mbit/s" (*"Coding of Moving Pictures and Associated Audio for Digital Storage Media up to about 1.5 Mb/s"*), tzv. **MPEG-1 norma** (*Motion Pictures Experts Group*)

# Norme za kompresiju

- ISO/IEC IS 13818 "Generičko kodiranje pokretnih slika i pratećih audiosignala" (*"Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio"*), tzv. **MPEG-2 norma**
- ISO/IEC IS 14496 "Kodiranje audio-vizualnih objekata" (*"Coding of audio-visual objects"*), tzv. **MPEG-4 norma**
- ISO/IEC IS 15938 "Sučelje za opis multimedijских sadržaja" (*"Multimedia Content Description Interface"*), tzv. **MPEG-7 norma**
- ISO/IEC IS 21000 "Multimedijски sustav" (*"Multimedia Framework"*), tzv. **MPEG-21 norma**

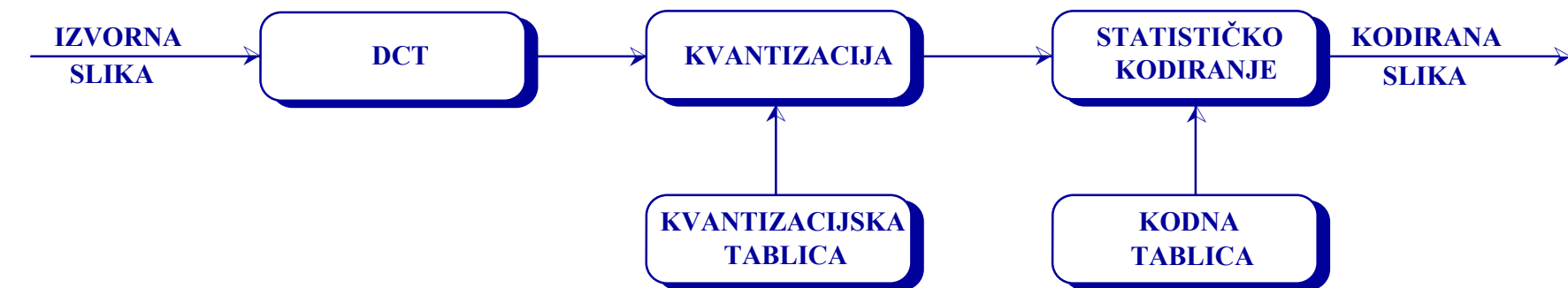


# Norme za kompresiju mirnih slika

- **JPEG norma** podržava četiri načina rada:
  - *temeljno (osnovno) kodiranje* kod kojega se svaka komponenta slike kodira zasebno s lijeva na desno, od gore prema dolje
  - *progresivno kodiranje* pri kome je slika kodirana uz višestruko analiziranje; slika se izgrađuje iz više prolaza, počevši od najvažnijih bitova (MSB) DCT koeficijenata do najmanje važnih (LSB); sa svakim prolazom dodaje se sve više detalja; koristi se kada je vrijeme prijenosa dugo
  - *kodiranje bez gubitaka* koje omogućava potpuno točnu rekonstrukciju svakog uzorka izvorne slike; temelji se na DPCM postupku
  - *hijerarhijsko kodiranje* uz više različitih rezolucija tako da je slici najniže rezolucije moguće pristupiti bez dekodiranja slike u njezinoj punoj rezoluciji
- za svaki način rada definirani su postupci kodiranja i dekodiranja
- koderi i dekoderi za pojedini način rada razlikuju se po točnosti uzoraka ulazne slike i postupku statističkog kodiranja

# Norme za kompresiju mirnih slika

- temeljno kodiranje i dekodiranje u JPEG normi



(a)



(b)

# Norme za kompresiju mirnih slika

- temeljno kodiranje i dekodiranje u JPEG normi
  - izvorna slika je podijeljena u blokove veličine 8x8 elemenata slike na koje se primjenjuje DCT
  - DCT daje 64 koeficijenta transformacije
  - koeficijenti transformacije kvantizirani su u skladu s kvantizacijskom tablicom s 64 elementa koji određuju korak kvantizacije za odgovarajući DCT koeficijent, a mogu biti cjelobrojne vrijednosti između 1 i 255
  - kvantizacija je definirana kao postupak dijeljenja vrijednosti DCT koeficijenata s njima odgovarajućim vrijednostima iz kvantizacijske tablice i zaokruživanje rezultata dijeljenja na najbližu cjelobrojnu vrijednost
  - inverzna kvantizacija je obrnut postupak kojim se kvantizirana vrijednost DCT koeficijenta množi s odgovarajućom vrijednošću iz kvantizacijske tablice
  - kvantizacijske tablice određene su psihovizualnim ispitivanjem ljudskog oka na pojedine frekvencijske komponente koje su rezultat DCT

# Norme za kompresiju mirnih slika

- temeljno kodiranje i dekodiranje u JPEG normi
  - preporučene tablice kvantiziranja za luminantni blok i krominantne blokove

16	11	10	16	24	40	51	61
12	12	14	19	26	58	60	55
14	13	16	24	40	57	69	56
14	17	22	29	51	87	80	62
18	22	37	56	68	109	103	77
24	35	55	64	81	104	113	92
49	64	78	87	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99

tablice kvantiziranja za  
luminantnu komponentu

17	18	24	47	99	99	99	99
18	21	26	66	99	99	99	99
24	26	56	99	99	99	99	99
47	66	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99

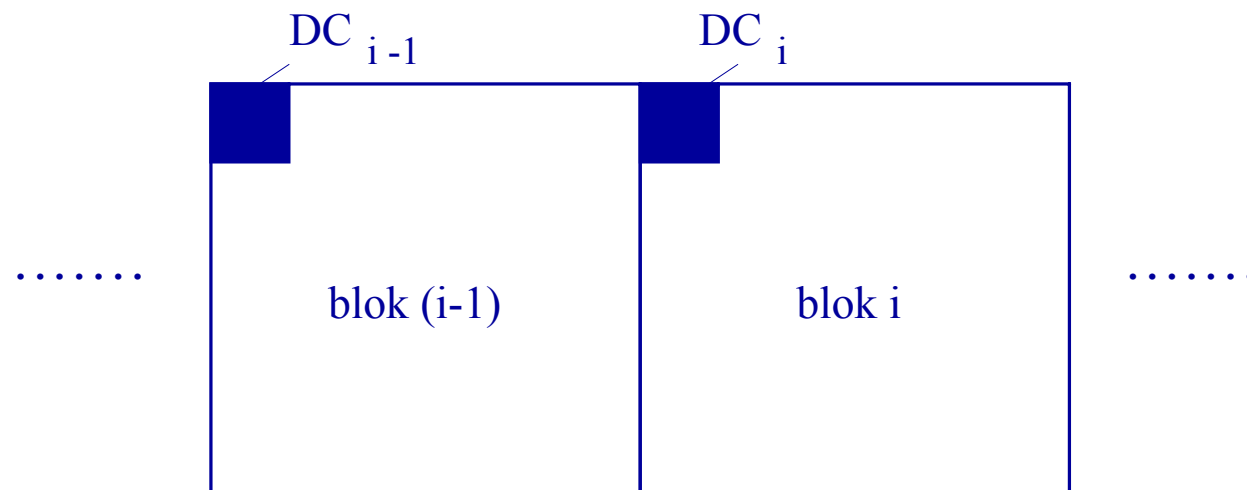
tablice kvantiziranja za  
krominantne komponente

# Norme za kompresiju mirnih slika

- temeljno kodiranje i dekodiranje u JPEG normi
  - dvodimenzijski blok DCT koeficijenata preoblikuje se u jednodimenzijski niz podataka primjenom cik-cak analiziranja pri kome se očitavaju najprije niskofrekvencijske, a zatim visokofrekvencijske komponente
  - visokofrekvencijske komponente, u pravilu, imaju amplitude čija je veličina jednaka ili bliska nuli i stoga ne trebaju biti kodirane, rezultirajući u visokom stupnju kompresije
  - cik-cak analiziranje pripremni je korak za statističko kodiranje - VF komponente s amplitudama jednakim nuli grupiraju se na kraju niza
  - temeljni koder koristi Huffmanovo kodiranje dok se pri ostalim načinima rada koristi i aritmetičko kodiranje
  - Huffmanovo kodiranje zahtijeva specifikaciju jednog ili više skupova Huffmanovih kodnih tablica (JPEG norma ne određuje kodne tablice)
  - temeljni dekoder može pohraniti samo dva skupa Huffmanovih kodnih tablica (jedan skup Huffmanovih tablica može se koristiti za luminantnu komponentu, a drugi za krominantne komponente)

# Norme za kompresiju mirnih slika

- temeljno kodiranje i dekodiranje u JPEG normi
  - s obzirom da postoji jaka korelacija između DC koeficijenata susjednih 8x8 blokova, kvantizirani DC koeficijenti kodiraju se primjenom diferencijalne impulsno kodne modulacije pri kojoj se kodira razlika između DC koeficijenta bloka koji se trenutno procesira i DC koeficijenta prethodno procesiranog bloka



$$\Delta DC_i = DC_i - DC_{i-1}$$

# Norme za kompresiju mirnih slika

- Huffmanovo kodiranje u temeljnom JPEG koderu
  - svaki izmjenični koeficijent diskretne kosinusne transformacije prikazuje se pomoću dva simbola
    - prvi simbol se sastoji od dva dijela
      - "RUNLENGTH", tj. dužina niza sastavljenog od izmjeničnih DCT koeficijenta jednakih nuli koji prethode AC koeficijentu različitom od nule
      - "SIZE", tj. informacija o broju bita koji trebaju biti korišteni za kodiranje amplitude AC koeficijenta različitog od nule
    - drugi simbol sadrži informaciju o veličini amplitude AC koeficijenta čija je vrijednost različita od nule ("AMPLITUDE")
- PRIMJER:  
ako koder prebroji 6 uzastopnih nula i nakon toga naiđe na vrijednost 348, prvi simbol će imati oblik (6,9) pri čemu 9 znači da je za kodiranje amplitude 348 potrebno 9 bita

# Norme za kompresiju mirnih slika

- Huffmanovo kodiranje u temeljnom JPEG koderu
  - koder dobivenu međusekvencu simbola pretvara u izlazni tok podataka na način da u Huffmanovoj tablici traži sekvencu bita koja je pridružena paru (6,9) i tu sekvencu upisuje u JPEG izlazni tok podataka (simbol - 1)
  - veličina amplitude 348 kodira se primjenom postupka kodiranja s promjenljivom dužinom kodne riječi (simbol - 2)
  - dužina niza uzastopnih AC koeficijenata koji su jednaki nuli može biti bilo koja vrijednost između 0 i 15, dok stvarni broj uzastopnih AC koeficijenata s nultom veličinom u cik-cak sekvenci može biti veći od 15
  - stoga je uvedeno proširenje uvođenjem simbola (15,0) koji označava dužinu niza od 16 uzastopnih AC koeficijenata jednakih nuli, a mogu se koristiti tri uzastopna (15,0) simbola kako bi se postigla vrijednost stvarne dužine niza



# Norme za kompresiju mirnih slika

- Huffmanovo kodiranje u temeljnom JPEG koderu

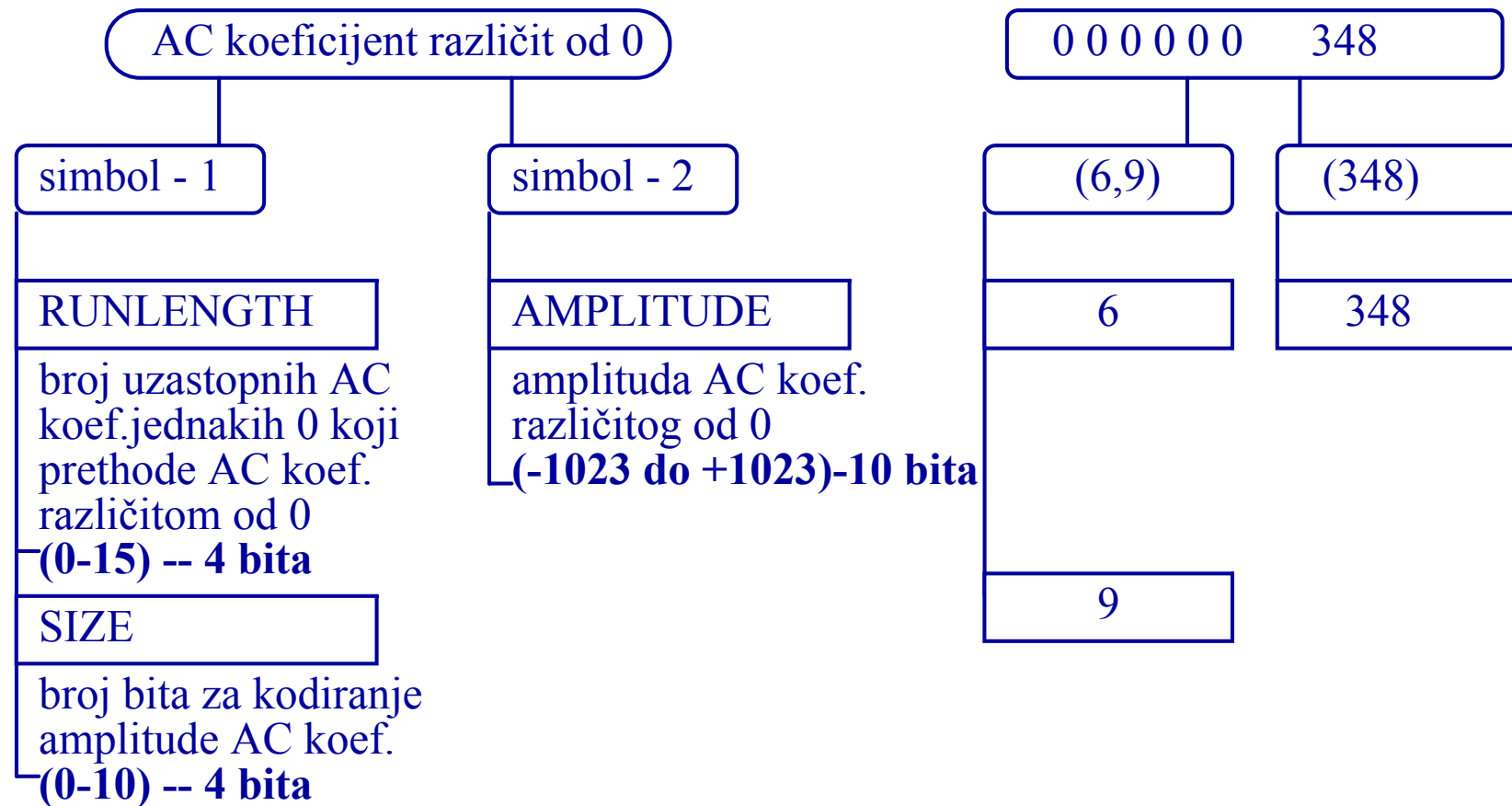
- PRIMJER:

simbol u obliku (15,0)(15,0)(3,4)(14) označava niz od 35 AC koeficijenata jednakih nuli iza kojega slijedi AC koeficijent čija amplituda će biti kodirana s 4 bita, a veličina amplitude je 14

# Norme za kompresiju mirnih slika

- Huffmanovo kodiranje u temeljnom JPEG koderu

Primjer:



# Norme za kompresiju mirnih slika

- ovisnost kvalitete slike o broju bita za kodiranje uzorka slike u JPEG normi

Broj bita po uzorku slike	Kvaliteta slike
0,25 - 0,5	srednja kvaliteta, dovoljna za neke primjene
0,5 - 0,75	dobra ili vrlo dobra kvaliteta dovoljna za mnoge primjene
0,75 - 1,5	izvrsna kvaliteta dovoljna za najveći broj primjena
1,5 - 2	kvaliteta jednaka kvaliteti izvorne slike za najzahtjevnije primjene

# Norme za kompresiju mirnih slika



izvorna slika



0,2 bita



0,5 bita

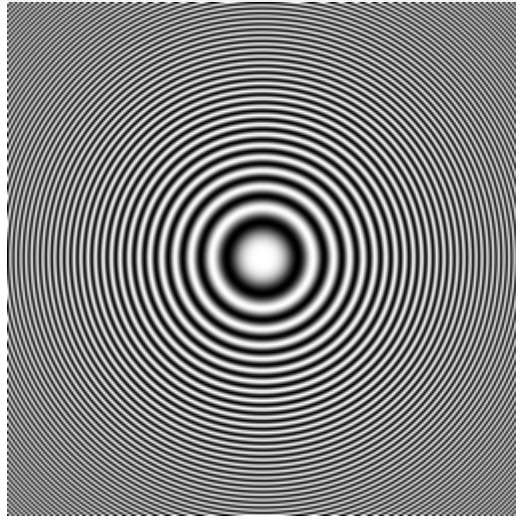


1 bit

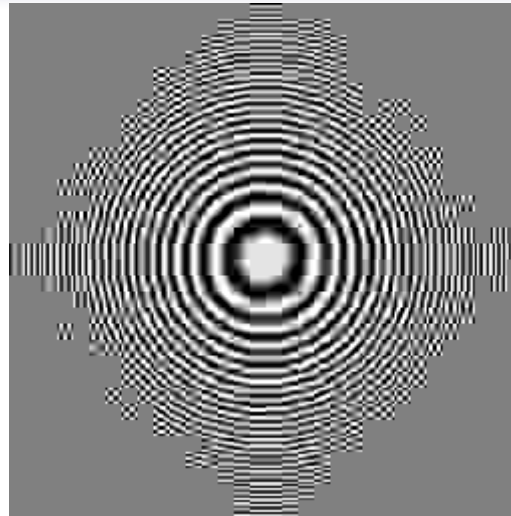


2 bita

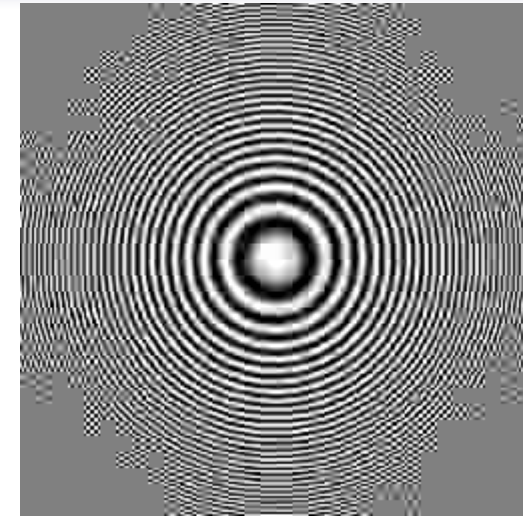
# Norme za kompresiju mirnih slika



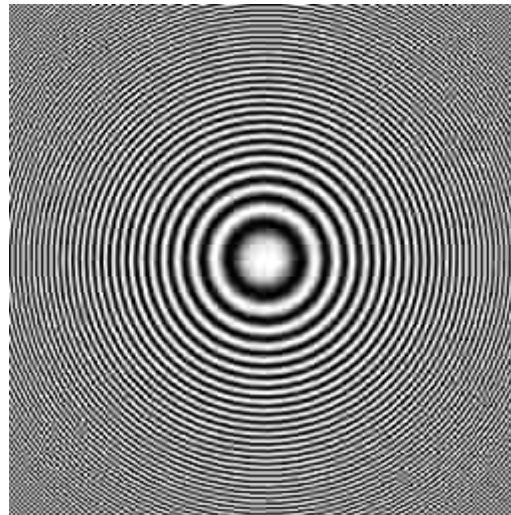
izvorna slika



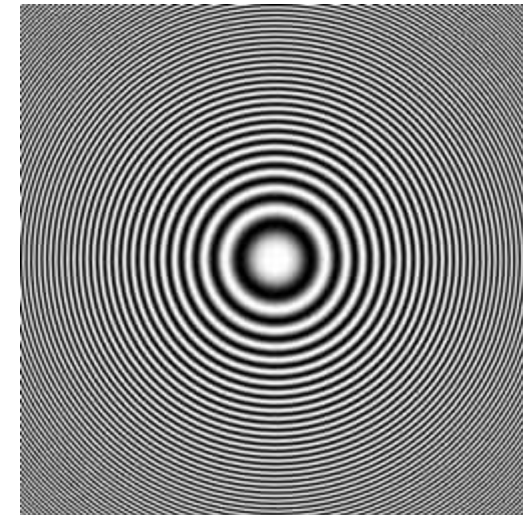
0,2 bita



0,5 bita



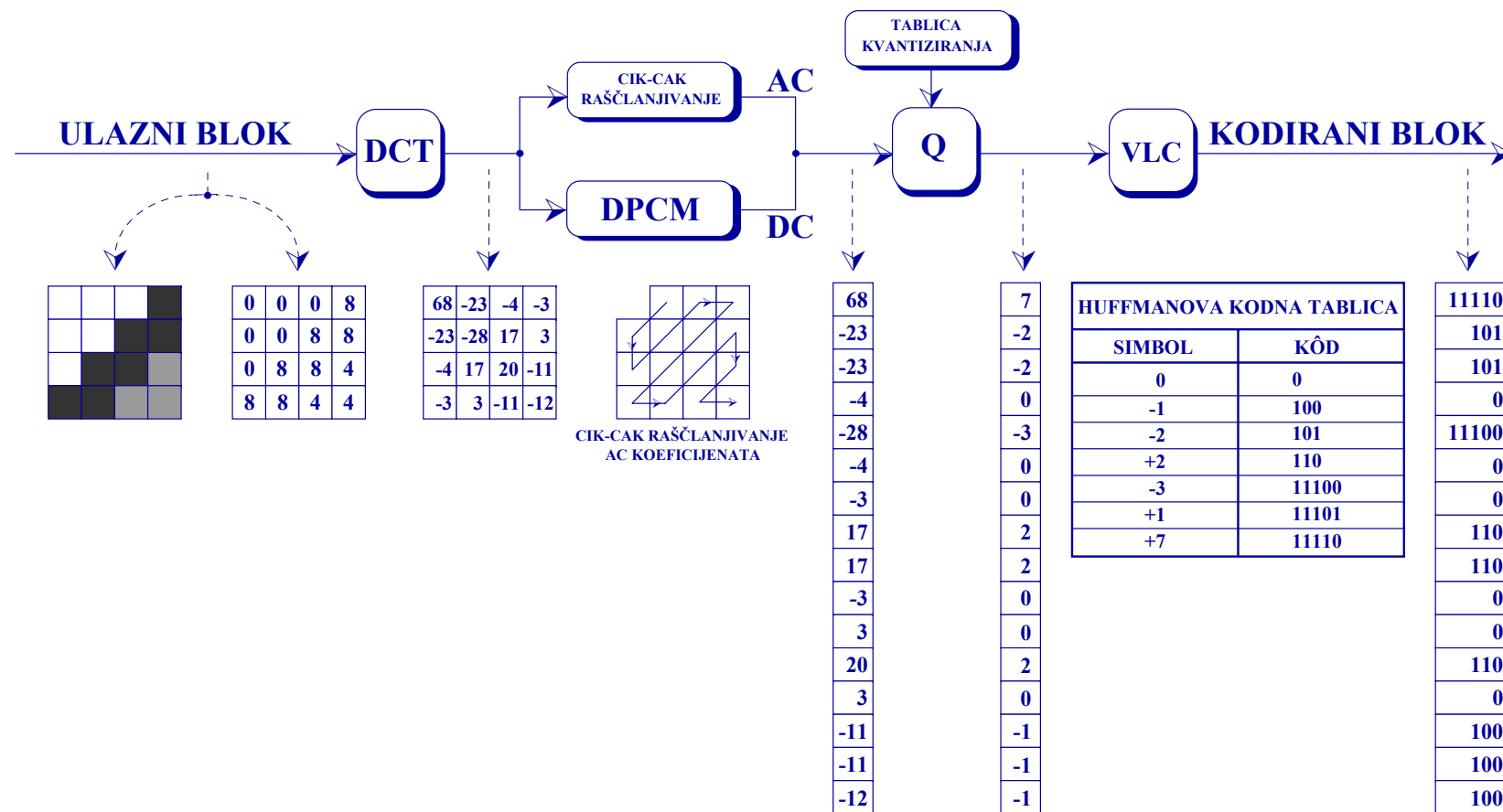
1 bit



2 bita

# Norme za kompresiju mirnih slika

- primjer JPEG sustava kodiranja



# Norme za kompresiju mirnih slika

- **M-JPEG**

- nije norma već način na koji se videosignal kodira, i svojevrsno je proširenje JPEG postupka kodiranja na kodiranje videosignala
- izvodi se tako da se JPEG postupak primjeni na svaku sliku iz niza slika koji čine videosignal
- jedinstvena M-JPEG norma ne postoji, već svaki proizvođač ima svoju izvedbu, što je rezultiralo potpunom nekompatibilnošću uređaja različitih proizvođača
- međutim, M-JPEG je vrlo korišten format u sustavima nelinearnog montiranja videosignala jer predstavlja idealni kompromis između kvalitete i količine prostora potrebne za pohranu
- ima mogućnost izdvajanja i obrade pojedinih slika iz videosignala bez utjecaja na ostale
- moguće je namještati kvalitetu stupnjem kompresije
- prednosti je i relativno jeftina sklopovska izvedba kompresije u stvarnom vremenu te mogućnost jednostavnog prijenosa u MPEG format nakon obrade



# Norme za kompresiju mirnih slika

- **JPEG 2000 norma**

- zamišljena kao nadgradnja stare JPEG norme, a ne zamjena
- predstavlja skup najnovijih tehnoloških dostignuća na području kompresije slike uz uporabu wavelet transformacije
- uključivat će mnoge napredne postupke i ne samo da će nadmašiti postojeće norme po učinkovitosti kompresije, već će uključivati i funkcionalnosti koje dosad nisu bile zadovoljavajuće riješene
- širokim rasponom funkcionalnosti želi se ostvariti široki raspon primjena
- neke od predviđenih JPEG 2000 funkcionalnosti i njihove primjene su:
  - podrška za slike dužine i visine od 1 do  $2^{32}-1$
  - točnost uzorka pojedine komponente: 1 do 127 bitova po uzorku; primjena: digitalna fotografija i skeniranje visoke kvalitete
  - broj komponenata: 1 do 214 (npr. Y, U, V ili R, G, B)
  - svaka komponenta može imati različitu točnost uzoraka i može biti poduzorkovana s različitim faktorom



# Norme za kompresiju mirnih slika

- JPEG 2000 norma

- neke od predviđenih JPEG 2000 funkcionalnosti i njihove primjene su:
  - kompresija slika kontinuiranih nijansi i binarnih slika (s dva tona, npr. crno-bijele); primjena: dokumenti sa slikama i tekstom, grafike i slike stvorene računalom s binarnim i približno binarnim područjima, alfa i transparentne (prozirne) ravnine, fax podaci
  - kompresija s gubicima i bez gubitaka; primjena: medicinske slike, pohrana (arhiviranje) slika, obrada za tisak, satelitske slike
  - progresivna rekonstrukcija po točnosti uzorka ili po rezoluciji (slojevitost); primjena: Internet (WWW), računalni pisači
  - otpornost na greške u prijenosnom kanalu; primjena: radijske mreže
  - područja od interesa (ROI, *Region of Interest*) s većom kvalitetom
  - slučajan pristup određenim područjima slika (*random access*)
  - uloženi tok podataka
  - otvorena arhitektura
  - zaštita autorskih prava (*copyright*)

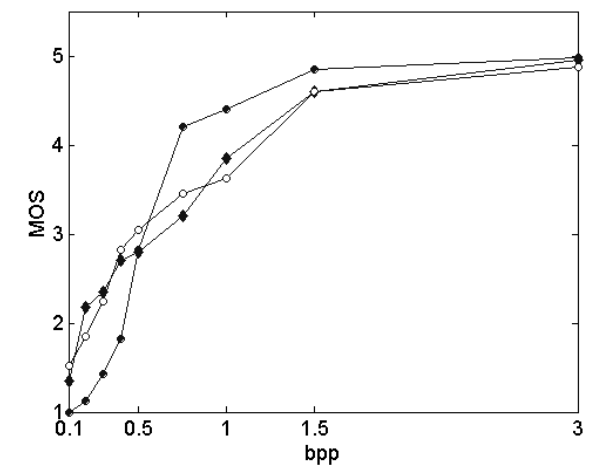
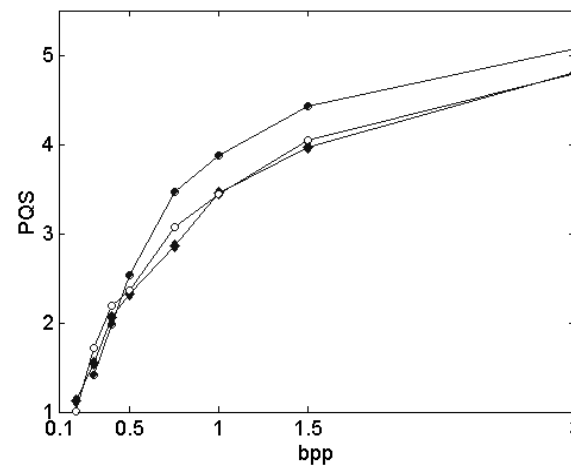
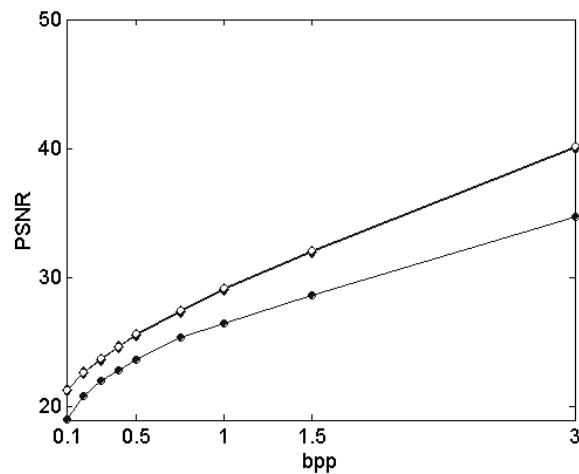
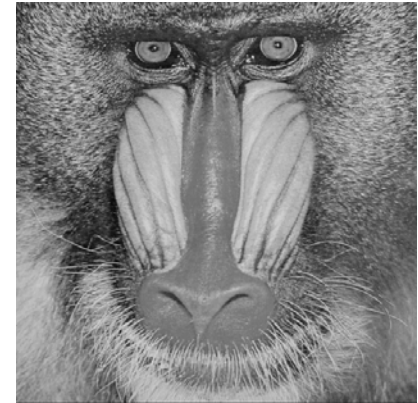


# Norme za kompresiju mirnih slika

- JPEG 2000 norma
  - temeljne tehničke specifikacije koje određuju JPEG 2000 normu su:
    - wavelet/podpojasno kodiranje
    - reverzibilna (wavelet "cjelobrojni 5,3") i ireverzibilna (wavelet "Daubechies 9,7") wavelet transformacija
    - kodiranje bitovnih ravnina
    - aritmetičko kodiranje: MQ koder JBIG2 (ISO/IEC 14492) (JBIG, *Joint Bi-Level Image Experts Group*)
    - koder temeljen na EBCOT koderu (EBCOT, *Embedded Block Coding with Optimized Truncation*)

# Norme za kompresiju mirnih slika

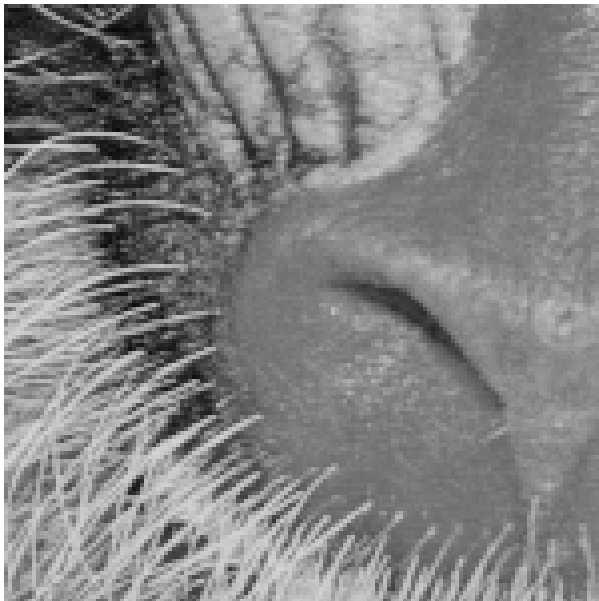
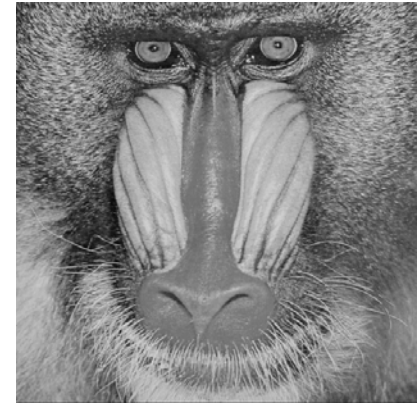
- usporedba JPEG i JPEG2000 normi
  - ispitna slika Baboon



◆ - JPEG2000; ○ - SPIHT; ● - JPEG

# Norme za kompresiju mirnih slika

- usporedba JPEG i JPEG2000 normi
  - ispitna slika Baboon



Original



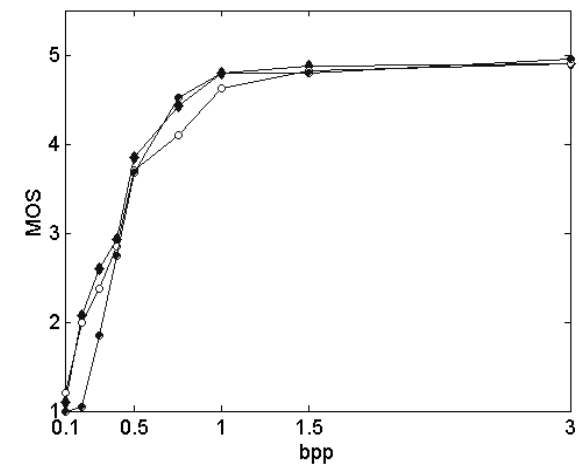
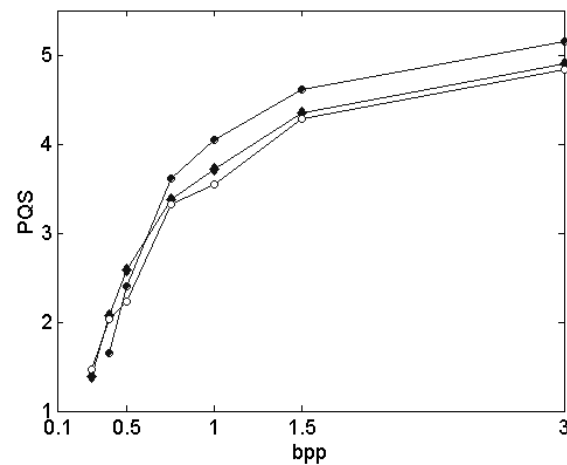
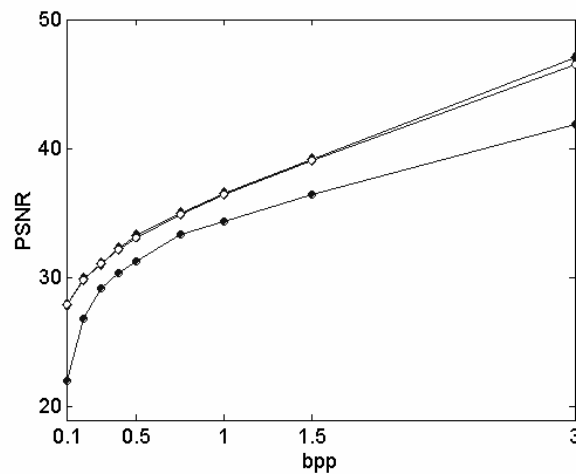
JPEG2000



JPEG

# Norme za kompresiju mirnih slika

- usporedba JPEG i JPEG2000 normi
  - ispitna slika Goldhill



♦ - JPEG2000; ○ - SPIHT; ● - JPEG

# Norme za kompresiju mirnih slika

- usporedba JPEG i JPEG2000 normi
  - ispitna slika Goldhill



Original



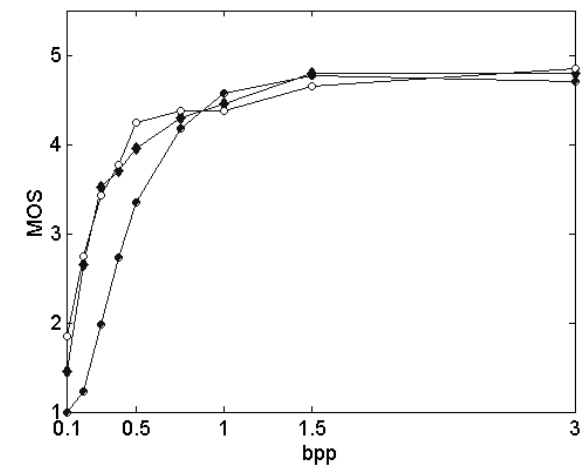
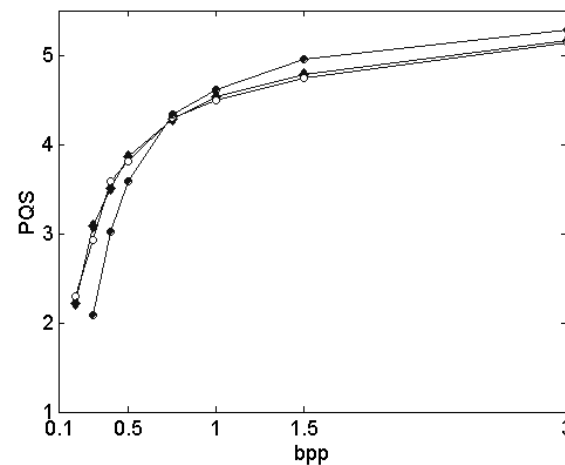
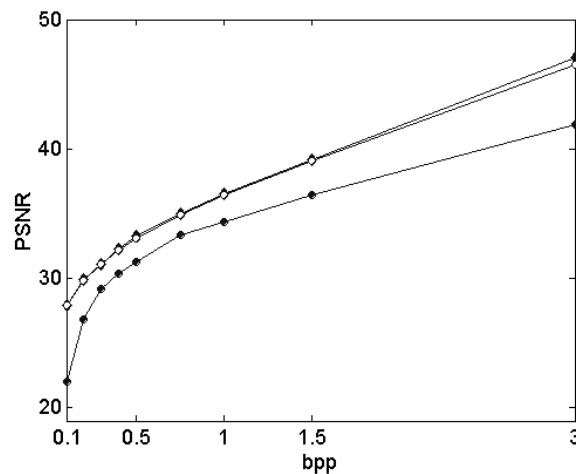
JPEG2000



JPEG

# Norme za kompresiju mirnih slika

- usporedba JPEG i JPEG2000 normi
  - ispitna slika Lena



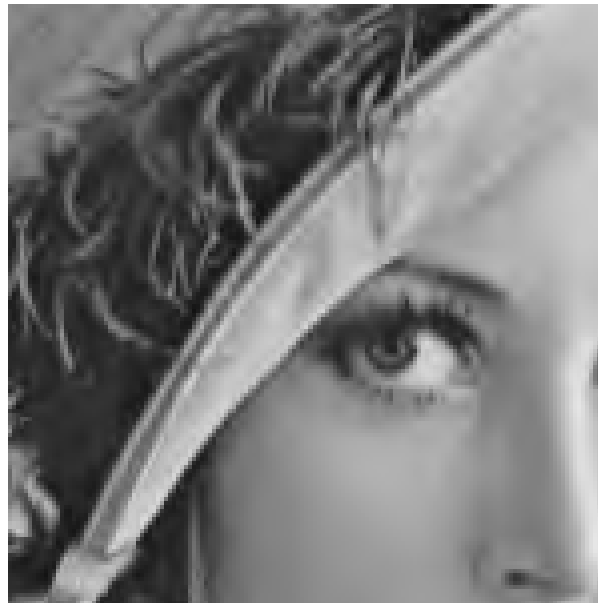
◆ - JPEG2000; ○ - SPIHT; ● - JPEG

# Norme za kompresiju mirnih slika

- usporedba JPEG i JPEG2000 normi
  - ispitna slika Lena



Original



JPEG2000



JPEG