

Kakovost digitalnega videa pri prenosu prek šumnega kanala (kodek na osnovi DCT in DWT)

Matjaž Fras, Peter Planinšič

Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Smetanova 17, 2000 Maribor
matjaz.fras1@uni-mb.si
peter.planinsic@uni-mb.si

Povzetek. Članek opisuje vpliv kvantizacijske stopnice na kakovost digitalnega videa pri transformacijskem kodiranju videosignala. Transformacijsko kodiranje smo izvedli enkrat s pomočjo diskretne kosinusne transformacije (DCT) in drugič z diskretno valčno transformacijo (DWT). Kodeka DCT in DWT smo implementirali v programskem paketu Matlab-Simulink. Simulirali smo vpliv kvantizacije na kakovost videosignala, prav tako pa smo proučili kakovost sprejetega digitalnega videosignala pri prenosu prek šumnega kanala. Če odmislimo pojav blokovnega efekta pri DCT-kodeku in efekt razmazanja pri DWT-kodeku zaradi kvantizacije, se pri prenosu digitalnega (kodiranega) videa preko prenosnega kanala poslabša njegova kakovost zaradi prisotnosti šumov. Pri DCT-kodeku je šum prenosnega kanala vplival na celoten kodiran blok, pri DWT-kodeku pa le na okolico slikovnih elementov.

Ključne besede: zgoščevanje podatkov, digitalni video, kakovost videa, kodek, kvantizacija, šumni kanal

Digital video quality at transmission over the noisy channel (DCT and DWT-based codec)

Extended Abstract. The paper describes the impact of the quantization step on the quality of the video signal of the transform-based compression digital video. In our investigation transform compressions are first based on discrete cosine transform (DCT), and then on discrete wavelet transform (DWT). In transform compression is usually employed lossy-data compression. Our purpose was to implement two different video codec's in Matlab Simulink [4] and determine how quantization and noisy channel affect the quality of the received digital video signal. When using discrete cosine transform [9], we distributed the whole picture into small macro blocks of 16 x 16 pixels. In these blocks the discrete cosine transform was executed followed by scalar quantization, "zig-zag" scanning and fixed-length coding. When using the discrete wavelet transform [1, 2, 3], the transform was executed on the whole image (frame). The transformed coefficients were divided with quantization steps and fixed-length encoding.

We first simulated the impact of the quantization step on the quality of the digital video. The standard quality measures between the original and reconstructed digital video signal were the mean absolute error (MAE), mean square error (MSE) and peak signal-to-noise ratio (PSNR). The DCT codec caused the well known blocking effect in the reconstructed video seen in Figure 6. Figure 8 shows the effect of quantization at a discrete wavelet codec on the reconstructed video, the so called blurring effect.

The second part of the paper describes the transfer of the digital video signal over the noise channel using the QAM digital modulation technique. By using the AWGN (Additive White Gaussian Noise) block in Matlab-Simulink, we changed the signal-to-noise ratio (SNR) in the communication channel. The impact of low signal-to-noise ratio on the quality of the

digital video signal is shown in Figure 11. When using the DCT-based video codec, the channel noise affects the whole macro blocks, while in the case of DWT-based video codec, only the local area of the pixel is affected.

Keywords: data compression, digital video, video quality, codec, noise channel

1 Uvod

Zgoščevanje (komprimiranje) podatkov, ki mu splošneje pravimo tudi kodiranje podatkov, postaja iz dneva v dan pomembnejše. S kakovostjo digitalnih slik in videa se je povečala količina podatkov za opis le-teh, zato so danes potrebne učinkovite tehnike komprimiranja signalov [1, 2, 3, 5]. Zgoščevanje zapisa zmanjšuje zahteve po prepustnosti prenosnih kanalov in zmogljivosti pomnilniških medijev.

Pri mirujočih (statičnih) slikah izkoriščamo koreliranost otipkov slike v prostoru pri videosignalu pa v prostoru in času. Poznamo veliko različnih tehnik komprimiranja, v glavnem jih delimo na brezizgubne in izgubne. Pri komprimiranju videosignalov se danes srečujemo z besedo kodek (codec), ki je sestavljena iz besed koder (coder) in dekoder (decoder). V članku bomo predstavili rezultate raziskovalnega dela, in sicer osnovni model preprostega kodeka in prenosi šumni kanal. V ta namen smo izdelali simulacijski model v Matlab-Simulinku [4], ki ga bomo v nadaljevanju še nadgradili za nadaljnje raziskave, in vključevanje novih

funkcionalnosti, kot je npr. entropijski kodirnik. V tem delu se bomo posvetili vplivu kvantizacijske stopnice Q na kakovost videa in prenos videa prek šumnega kanala pri uporabi v dveh različnih transformacijah.

V 2. poglavju bomo opisali diskretno kosinusno (DCT) in diskretno valčno transformacijo (DWT). Sledita kvantizacija in kodiranje ter implementacija videokodeka na podlagi DCT in DWT v Matlab-Simulinku. V 5. poglavju opišemo vpliv kvantizacije, v 6. pa vpliv šumnega kanala na kakovost videa. V vsakem od teh poglavij so tudi rezultati poizkusov, ki jim sledi še sklep.

2 DCT in DWT

Diskretna kosinusna transformacija (DCT- Discrete Cosine Transform) [13, 14] je danes uveljavljena kot standardna transformacija, ki jo uporabljamo pri komprimiranju statičnih slik in videa (JPEG za statične slike, kot družina MPEG-standardov za video). Diskretne kosinusne transformacije ne izvajamo nad celotno sliko, temveč le-to razdelimo na več manjših blokov (makrobloke), ponavadi v velikosti 16×16 pikselov, te pa nato na podbloke 8×8 pikselov. Nato nad vsakim podblokom izvedemo diskretno kosinusno transformacijo. Diskretna kosinusna transformacija (2D-DCT) je matematična preslikava, kjer pretvorimo elemente originalne slike (pod slike) v matriko Y elementov (koeficientov) transformirane slike, ki fizikalno pomenijo frekvenčni spekter originalne slike[5, 9]:

$$Y_{u,v} = 2C_v C_u \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} X_{i,j} \cos \left[\frac{\pi}{N} u(i+0,5) \right] \cos \left[\frac{\pi}{N} v(j+0,5) \right]$$

$$C_v = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}; v=0 \\ 1; \text{drugje} \end{cases} \quad C_u = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}; u=0 \\ 1; \text{drugje} \end{cases} \quad (1)$$

Pomembno je vedeti, da izvajamo diskretno kosinusno transformacijo nad originalno sliko. Tako je vhod v DCT-blok digitalna slika, izhod pa ni več slika v obliki, ki bi jo prepoznal naš vid. Rezultat diskretne kosinusne transformacije vsakega podbloka 8×8 je 64 koeficientov transformirane slike. Je 64-točkovni diskretni signal, ki je funkcija dveh prostorskih frekvenc (ω_x, ω_y). Element, pri katerem sta obe frekvenčni koordinati 0, imenujemo enosmerni (DC) koeficient, preostalih 63 imenujemo izmenični (AC) koeficienti.

Valčna (wavelet) transformacija [1, 2, 3, 13, 14] je učinkovita komponenta metod transformacijskega izgubnega komprimiranja, ki lahko s časoma izpodrine diskretno kosinusno transformacijo tudi pri videokodeku. Zvezna valčna transformacija (CWT) je bila razvita kot alternativa kratke časovne Fourierove transformacije (STFT), katere slabost je slaba časovna ali frekvenčna ločljivost, odvisno od izbrane dolžine intervala (širine okna). Podobno kot pri STFT pri valčni analizi signal množimo z omejitvenimi funkcijami,

skaliranimi in pomaknjenimi verzijami osnovne wavelet funkcije, katerih naloga je razdeliti signal na segmente, nakar se opravi transformacija na vsakem segmentu posebej. Po parametrih diskretna diadična valčna transformacija (DPWT) projicira signal na dvorazsežno množico baznih funkcij $\{\psi_{j,l}(t)\}$. Obstaja takšna valčna funkcija $\psi(t)$ in pripadajoča komplementarna skalirana funkcija $\phi(t)$, katerih množici [3]

$$\{\psi_{j,l}(t)\}_{(j,l) \in \mathbb{Z}^2} = \{(2^{-j/2} \psi(2^{-j}t - l))\}_{(j,l) \in \mathbb{Z}^2} \quad (2a)$$

in

$$\{\phi_{j,l}(t)\}_{(j,l) \in \mathbb{Z}^2} = \{(2^{-j/2} \phi(2^{-j}t - l))\}_{(j,l) \in \mathbb{Z}^2} \quad (2b)$$

gradita vsaka zase ortonormalno bazo v prostoru $L^2(\mathbb{R})$ (Hilbertovem prostoru). Vse te funkcije so skalirane in premaknjene verzije osnovne valčne funkcije (mother wavelet function) $\psi(t)$. Parameter j določa skaliranje, parameter l pa določa premaknitev v času. Tako lahko vsako funkcijo $f(t)$ iz Hilbertovega prostora predstavimo kot :

$$f(t) = \sum_{j=-\infty}^{+\infty} \sum_{l=-\infty}^{+\infty} W_{j,l} \psi_{j,l}(t) \quad (3)$$

Koeficientom $W_{j,l}$ rečemo valčni koeficienti DWT in jih računamo kot:

$$W_{j,l} = \int f(t) \psi_{j,l}(t) \quad (4a)$$

Pod določenimi pogoji za časovno diskretne signale $f(k)$ velja:

$$W_{j,l} = \sum_k f(k) \psi_{j,l}(k). \quad (4b)$$

Zelo zanimiv je multiresolucijski (večeresolucijski) pristop k DWT. Gledano z multiresolucijskega vidika ta razstavi signal na neskončno število detajlnih signalov. Neskončno zaporedje lahko omejimo tako, da namesto neskončnega števila detajlov od neke resolucije $j = j_0$ naprej predstavimo z aproksimacijo na resoluciji j_0 . Tako dobimo multiresolucijsko predstavitev signala:

$$f(t) = \sum_l a_{j_0,l} \phi_{j_0,l}(t) + \sum_{j \geq j_0} \sum_l b_{j,l} \psi_{j,l}(t). \quad (5a)$$

Za časovno diskretne signale velja [1]:

$$f(k) = \sum_l a_{j_0,l} \phi_{j_0,l}(k) + \sum_{j \geq j_0} \sum_l b_{j,l} \psi_{j,l}(k), \quad (5b)$$

kjer so a koeficienti aproksimacije, b pa koeficienti detajlov. Pri razstavitvi diskretnih signalov je najbolj fina resolucija omejena s frekvenco tipanja signala. Hitro DWT (Malatov multiresolucijski piramidni algoritem) izvedemo z večhitrostno banko filtrov [3], kjer so koeficienti a_j in b_j nivoja j izhodi iz pripadajočih nizko in visoko prepustnih filtrov a_0 (pri $j = 0$ pa je $f(k)$). Dvodimenzionalni signal razstavimo s pomočjo enodimenzionalne DWT, in sicer enkrat po vrsticah, drugič po stolpcih [1, 2].

3 Kvantizacija in kodiranje

Kvantizacija je definirana kot deljenje vsakega koeficienta transformacije s kvantizacijskim korakom in zaokroževanje na najbližje celo število [9, 13]. Matrika \mathbf{Y} vsebuje nizkofrekvenčne in visokofrekvenčne koeficiente. Pri kvantizaciji izberemo kvantizacijske stopnice $Q_{u,v}$ ter pretvorimo transformirano matriko \mathbf{Y} v kvantizirano matriko \mathbf{Z} . Matriko \mathbf{Z} izračunamo tako, da vsak istoležen koeficient iz matrike \mathbf{Y} delimo s kvantizacijsko stopnico $Q_{u,v}$. Pri tem zaokrožimo rezultat na največje bližnje celo število:

$$Z_{u,v} = \text{round} \left(\frac{Y_{u,v}}{Q_{u,v}} \right) \quad (6)$$

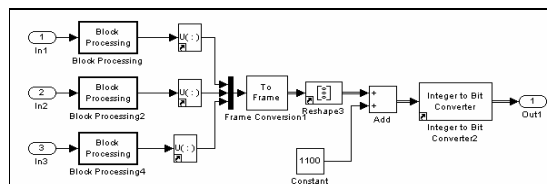
V dekodirniku izvedemo dekvantizacijo, kjer koeficiente iz matrike \mathbf{Z} pomnožimo s kvantizacijsko stopnico $Q_{u,v}$. Izbira kvantizacijske stopnice vpliva na izgubo informacije. Čim večja je kvantizacijska stopnica, tem več informacij izgubimo in slabša bo vizualna kakovost slike, kar bomo pokazali s testi. Večjo kvantizacijsko stopnico lahko uporabimo za viskofrekvenčne komponente, saj je znano, da je človeško oko manj občutljivo na visokofrekvenčne komponente slik (detajle). Če za vse transformacijske koeficiente uporabimo iste vrednosti Q , govorimo o uniformni kvantizaciji. Lahko pa določene koeficiente postavimo na vrednost nič ali jih celo odstranimo, kot smo to storili pri naši varianti kodeka.

S kvantizacijo dosežemo zapis elementov transformirane slike s celimi števili, ki jih v nadaljevanju zapišemo v ustrezni kodi. Temu procesu pravimo kodiranje. Na voljo imamo veliko različnih kod. Najpreprostejša koda je binarna koda, ki ni najkrajši zapis, saj uporablja za zapis vsakega elementa enako število bitov, ki smo ga uporabili tudi mi. Razvile so se tudi kode s spremenljivo dolžino kodne besede (VLC – Variable Length Coding), ki jo bomo pa skušali dodati v prihodnosti tudi v naš model. Najpreprostejše je Huffmanovo kodiranje, najkompleksnejše in najučinkovitejše pa so različice aritmetičnega kodiranja [12].

4 Kodek v Matlab-Simulinku

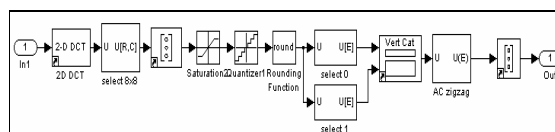
Preprosta kodeka resolucije 112 x 160 točk (pikslov) smo implementirali v okolju programa Matlab-Simulink [4]. Nekateri bloki so že vsebovani v knjižnici Simulink, nekatere smo zgradili iz elementarnih blokov. Osnovno simulacijsko shemo, ki

jo bomo v nadaljevalnem delu tudi izpopolnjevali, za oba kodeka prikazuje slika 3. Razlika se skriva v bloku CODER in DECODER, ki se razlikuje pri kodeku DCT in DWT. V obeh primerih smo izvedli transformacijo signalov RGB v trojico $YCbCr$ z blokom CONVERSION AND RESAMPLING (slika 3). Ob tem zagotovimo prisotnost (luminance) v največji meri, dimenziji C_b in C_r pa sta razpolovljeni (podsempiranje). Vsebino bloka CODER iz slike 3 prikazuje slika 1 za primer DCT-kodeka.



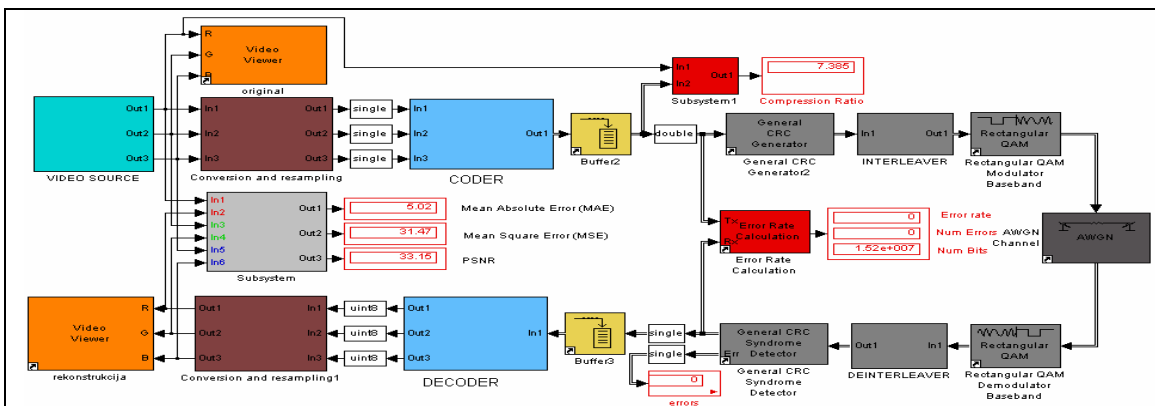
Slika 1: Zgradba bloka CODER v primeru DCT kodeka

Z blokom BLOCK PROCESSING (slika 1) razdelimo celotno sliko na makrobloke in bloke. Signal Y razdelimo na makrobloke 16 x 16 točk, signala C_b in C_r pa na bloke 8 x 8 točk. Vsebino bloka BLOCK PROCESSING iz slike 1 za signal Y prikazuje slika 2. Za signala C_b in C_r je vsebina bloka BLOCK PROCESSING zelo podobna. Za posamezni blok ali makroblok izvedemo dvodimenzionalno diskretno kosinusno transformacijo (2D-DCT) nad katerimi nato izvedemo kvantizacijo, zaokroževanje transformiranih koeficientov na celo število, izbiro pomembnih AC in DC komponent ter razporeditev v sekvenco "zig-zag" za potrebe entropijskega kodiranja.



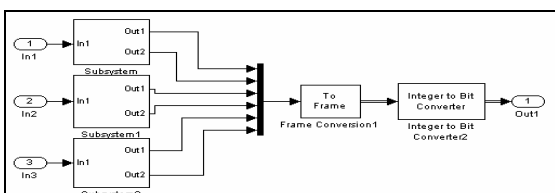
Slika 2: Zgradba bloka BLOCK PROCESSING

Pri signalu Y smo po 2D-DCT transformaciji izbrali le matriko 8x8 točk najpomembnejših nizkofrekvenčnih koeficientov, preostale pa smo zanemarili ter s tem zmanjšali dimenzijo na 8 x 8 točk. Vsem trem signalom (matrikam) $YCbCr$ smo prišteli pozitivno konstanto, da smo dobili le pozitivne koeficiente. Kodiranje smo izvedli s fiksnim številom bitov. Entropijsko kodiranje bomo izvedli v nadaljevanju in nadgrajevanju modela.



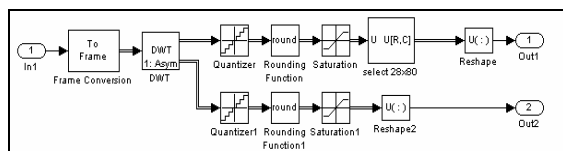
Slika 3: Simulacijska shema videokodeka v Matlab-Simulinku

Dekodiranje oziroma rekonstrukcijo digitalnega videa smo izvedli s pomočjo bloka DECODER, v katerem smo zagotovili inverzne operacije (dekodiranje, odštevanje konstante, dekvantizacijo in inverzno 2D-DCT transformacijo). Pri implementaciji kodeka DWT smo kodek izvedli na podlagi DWT. Pri kodeku DWT smo transformacijo opravili nad celotno sliko. Zgradbo bloka CODER s slike 3 za primer DWT kodeka prikazuje slika 4.



Slika 4: Zgradba bloka CODER v primeru kodeka DWT

Podsystemi (bloki SUBSYSTEM, SUBSYSTEM1 in SUBSYSTEM2) skrivajo diskretno valčno transformacijo (DWT), kvantizacijo in saturacijo.



Slika 5: Zgradba bloka SUBSYSTEM

Iz slike 5 vidimo, da ima izhod bloka SUBSYSTEM dva izhoda, ki sta izhoda iz visoko in nizko prepustnega filtra. Blok DWT pomeni dvodimenzionalno diskretno valčno transformacijo, ki uporablja nizkoprepustni in visokoprepustni filter FIR. Na voljo imamo izbiro različnih filterskih bank in razstavitev signalov na več nivojev. Pri realizaciji našega kodeka DWT smo izbrali biortogonalno filtersko banko 2/2 in en nivo razstavitve. Ob tem smo na izhodu visokoprepustnega filtra, ki predstavlja detajle, uporabili le nizkofrekvenčno polovico koeficientov, s čimer smo izgubili del informacij. Kodiranje in dekodiranje smo izvedli enako

kot pri kodeku DCT, in sicer s fiksno dolžino. Pri dekodanju DWT smo opravili inverzne operacije kot pri koderju (dekodiranje, dekvantizacijo in inverzno diskretno valčno transformacijo).

5 Vpliv kvantizacije na kakovost digitalnega videa

Na kakovost kodirane slike oziroma videa, ko ni izgub pri prenosu, najbolj vpliva izbira kvantizacijske stopnice Q . Z izbiro kvantizacijske stopnice ne vplivamo samo na izbiro kakovosti slike in videa, ampak lahko pri večji kvantizacijski stopnici te kodiramo z nižjim številom bitov ter s tem dosežemo nižje skupno število bitov. Kot merilo kakovosti rekonstruirane sprejete slike (videookvira) v primerjavi z oddano originalno sliko (videookvirom) lahko opišemo z več pogreški. Absolutni pogrešek (MAE - Mean Absolute Error) izračunamo z naslednjo enačbo:

$$MAE = \frac{1}{N \cdot M} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (|X(i, j) - \hat{X}(i, j)|), \quad (7)$$

kjer $X(i, j)$ pomenijo komponente originalne slike, $\hat{X}(i, j)$ pa komponente rekonstruirane slike. V enačbi N in M določata prostorsko resolucijo slike oziroma videosignala. Kvadratični pogrešek (Mean Square Error - MSE) izračunamo z naslednjo enačbo:

$$MSE = \frac{1}{N \cdot M} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (|X(i, j) - \hat{X}(i, j)|^2). \quad (8)$$

PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) je definiran z naslednjo enačbo:

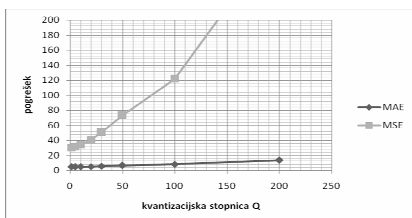
$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \frac{255^2}{MSE}. \quad (9)$$

S pomočjo sestavljenega preprostega kodeka v Matlabu smo pokazali vpliv kvantizacijske stopnice Q na pogrešek med originalnim in rekonstruiranim videom, tako pri uporabi DCT in DWT. Slika 6 prikazuje primer rekonstruiranega videa pri uporabi kodeka DCT za vrednosti kvantizacijske stopnice $Q=10$ in $Q=200$. Slika 7 prikazuje vpliv kvantizacijske stopnice Q na kakovost videa (pogrešek MAE in MSE).

Transformacijski koeficienti se nahajajo med vrednostmi -50 in 4000 pri izbiri kvantizacijske stopnice, enake 1. Za zapis transformacijskih stopenj bi potrebovali 13 bitov ($2^{13} = 8192$). Pri kvantizacijski stopnici $Q = 10$ bi potrebovali le 9 bitov ($2^9 = 512$). Število transformacijskih koeficientov za posamezni okvir digitalnega videa je 13440.



Slika 6: Vpliv kvantizacijske stopnice na kakovost digitalnega videa pri uporabi DCT s $Q = 10$ (levo) in $Q = 200$ (desno)



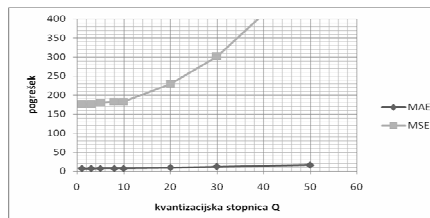
Slika 7: Vpliv kvantizacijske stopnice Q na kakovost rekonstruiranega videa pri uporabi DCT

Iz slike 7 vidimo, da s povečevanjem kvantizacijske stopnice Q kakovost rekonstruiranega videa pada, kar je seveda pričakovan rezultat. Iz slike 6 je tudi dobro opazen blokovni efekt, ki je značilen za uporabljeno transformacijo DCT.

Poskus smo ponovili še za primer vpliva kvantizacijske stopnice Q pri uporabi diskretne valčne transformacije DWT. Slika 7 prikazuje primer kakovosti rekonstruiranega videa pri uporabi transformacije DWT za vrednosti kvantizacijske stopnice $Q = 1$ in $Q = 50$. Slika 9 prikazuje vpliv kvantizacijske stopnice Q na kakovost videa (pogrešek). Transformacijski koeficienti se nahajajo med vrednostma 0 in 350 pri izbiri kvantizacijske stopnice, enake 1. Število transformacijskih koeficientov je 11.200 za posamezni okvir digitalnega videa. Za zapis kvantizacijskih stopenj bi potrebovali 9 bitov ($2^9 = 512$). Pri kvantizacijski stopnici $Q = 10$ bi potrebovali le 6 bitov ($2^6 = 64$). Z rezultati s slike 9 potrdimo pričakovane rezultate, kjer s povečanjem kvantizacijske stopnice vplivamo na zmanjšanje kakovosti videa, podobno kot pri DCT. Iz slike 7 ugotovimo, da se pri transformaciji DWT izognemo blokovnemu efektu, razlog za to je v tem, da izvajamo transformacijo nad celotno sliko in ne nad makrobloki ali podbloki kot pri DCT, vendar se zaradi kvantizacije pojavi razmazanje (blurring efekt) nad celotno sliko (slika 8). Neposredne primerjave kakovosti simuliranih kodirnikov nismo opravili, ker v to raziskavo ni bil vključen entropijski kodirnik.



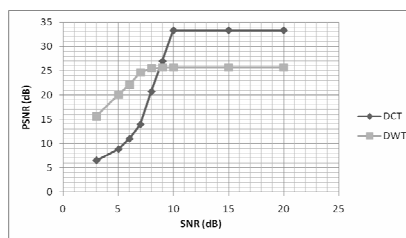
Slika 8: Vpliv kvantizacijske stopnice na kakovost digitalnega videa pri uporabi DWT s $Q = 1$ (levo) in $Q = 50$ (desno)



Slika 9: Vpliv kvantizacijske stopnice Q na kakovost rekonstruiranega videa pri uporabi DWT

6 Prenos videa prek šumnega kanala

V drugem delu smo se posvetili prenosu videa prek šumnega kanala. Za prenos videosignala lahko uporabimo različne nosilne signale in različne fizične medije, po katerih se širi signal [7, 8]. Tako nas pri prenosu sporočilnega signala (videa) ne zanima samo razširjanje nosilnega signala, ampak predvsem izoliranost videosignala od motilnih pojavov v okolju. Tu mislimo predvsem na prisotnost šumov, ki motijo prenos videosignala. Model šumnega kanala smo poenostavili (slika 3), v katerega bomo v nadaljevanju raziskovanja vključili še dodatne module in funkcionalnosti, kot so npr. FEC (Forward Error Checking). V model šumnega kanala smo vključili digitalno modulacijo QAM (quadrature amplitude modulation) in demodulacijo, prepletanje, preverjanje pravilnosti prejetih podatkov (CRC) in šumni kanal AWGN, na katerem smo spreminjali vrednost razmerja signal-šum (SNR).



Slika 10: Odvisnost vrednosti PSNR v odvisnosti od vrednosti SNR šumnega kanala

Slika 10 prikazuje odvisnost vrednosti PSNR v odvisnosti od vrednosti SNR šumnega kanala. Pri tem smo v obeh primerih zapisali kvantizacijske koeficiente z 9 biti, tako da je pri DCT kvantizacijska stopnica Q znašala 10, pri DWT pa 1. Pri tem se razlikuje tudi število bitov za zapis celotne slike, saj pri DCT

kodiramo 13.440 transformiranih koeficientov, pri DWT pa 11.200.



Slika 11: Vpliv šumnega AWGN-kanala z vrednostjo SNR = 5 dB na kakovost digitalnega videa z uporabo kodeka DCT (levo) in kodeka DWT (desno)

Pri vrednosti SNR med 10 in 20dB šumni kanal ne vpliva na kakovost videa (vrednost PSNR je enaka začetnim vrednostim). Z zmanjšanjem vrednosti SNR (npr. 5dB) na kanalu je vrednost PSNR pri DWT večja kot pri uporabi DCT, kar pomeni, da je rekonstruiran video kakovostnejši, pa čeprav je začetna vrednost PSNR manjša. To pomeni, da je vpliv motenj šumnega kanala manjši na rekonstruiran video pri uporabi kodeka DWT, kar se vidi tudi iz same strmine padanja krivulje na sliki 10. Vendar kakovostna primerjava med kodirniki ni mogoča saj ne zagotovimo enakih začetnih pogojev, kot je enak bitni pretok, ki je v primeru DWT večji za 20 odstotkov. Iz slike 10 vidimo, da pri DCT kodeku vpliva motnja na celoten makroblok, medtem ko pri kodeku DWT vpliva le na lokalno območje slike.

Podrobnejša in kakovostnejša primerjava bo mogoča, ko naš model nadgradimo z entropijskim kodiranjem, vnaprejšnjim popraviljem napak (FEC), popolnejšim modelom prenosnega kanala, kar so smernice za delo v prihodnje.

7 Sklep

Iz rezultatov vidimo, kako kvantizacija in šum v prenosnem kanalu vplivata na kakovost rekonstruiranega videa. Zaradi kvantizacije pri DCT nastane znani blokovni efekt, pri DWT pa efekt razmazanja in prelijanja (bluring efekt). Pri prenosu prek šumnega AWGN-kanala smo opazovali pogoške med originalnim in rekonstruiranim videom. Če opazujemo vizualno kakovost sprejetega videa, vidimo med kodekoma (DCT in DWT) bistveno razliko pri nastajanju pogoškov in popačenj, in sicer pri kodeku DCT nastanejo na celotnih makroblokih, medtem ko pri kodeku DWT nastanejo v okolici slikovnih elementov. Te pogoške v rekonstruirani sliki digitalnega videa bi lahko z ustreznim filtriranjem tudi lažje odpravili kot pri kodeku DCT. Kakovostno primerjavo je mogoče izvesti, ko v model vključimo še entropijski kodirnik in vnaprejšnje popraviljanje napak (FEC).

8 Literatura

- [1] B. Gjerič, B. Banjanin, P. Planinšič, D. Gleich, Ž. Čučej. Izbira filterskih bank za komprimiranje kompleksnih podatkov SAR, *Elektrotehniški vestnik*, 66 (4-5), str. 273-281, 1999
- [2] B. Gjerič. *Filterske banke in valčna transformacija*, Magistrska naloga, Maribor, 1996
- [3] C. Sidney Burrus. *Introduction to wavelets and wavelet transforms*, Prentice Hall 1998, ISBN 0-13-489600-9
- [4] <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/vipblks/index.html> ("Video processing toolbox")
- [5] <http://sl.wikipedia.org/codecs> ("Codecs")
- [6] Ž. Čučej. *Sistemi daljinskega vodenja*, UM FERI, Maribor, 2003
- [7] W. Simpson. *Video over IP: A practical guide to technology and applications*, Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, UK 2006
- [8] A. Kramar, *MPEG-1; MPEG-2*, Univerza na Primorskem
- [9] P. Planinšič. Kodiranje in zgoščevanje slik, *Svet elektronike*, str. 38-41, 2001
- [10] B. Marušič, J. Tašič. Nov pristop h kodiranju videa na podlagi tridimenzionalne valčne transformacije z izravnavo gibanja, *Elektrotehniški vestnik*, 89(2), str. 135-142, 2002
- [11] D. Gleich, P. Planinšič, Ž. Čučej. Low bit rate wavelet video codec using edge-based motion estimation and context-based codec, *Electronic Imaging*, 13(4), str. 886-896, 2004
- [12] J. Mohorko, P. Planinšič, Ž. Čučej, D. Donlagić. Komprimiranje slike z uporabo piramidne vektorske kvantizacije. *Elektroteh. vestn.*, 61 (1994), 1-2 ; str. 76-80.
- [13] Ž. Čučej, J. Mohorko, P. Planinšič, D. Donlagić. Kompresija slike na podlagi DCT in DWT: rekonstrukcija in kvantizacijski efekti. *Elektroteh. vestn.*, 61 (1994), 1-2 ; str. 81-84.
- [14] P. Planinšič, J. Mohorko, Ž. Čučej, D. Donlagić. Primerjava komprimiranja slike z DCT in DWT. *Elektroteh. vestn.*, 61 (1994), 1-2 ; str. 85-88.

Matjaž Fras je diplomiral leta 2005 na Univerzi v Mariboru, in sicer na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, kjer nadaljuje študij na podiplomskem študijskem programu Elektrotehnika.

Peter Planinšič je diplomiral leta 1979, magistriral leta 1991 in doktoriral leta 2000, vse na sedanji Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko. Njegovo raziskovalno področje obsega digitalno obdelavo, prenos in kodiranje signalov, slik in videa ter daljinskega vodenja in zaznavanja. Je avtor in soavtor številnih znanstvenih člankov in poročil raziskovalnih in aplikacijskih projektov.