

UPOREDNA ANALIZA STANDARDA H.264 I H.265

COMPARATIVE ANALYSIS OF H.264 AND H.265 STANDARDS

Mara Janković, Željens Trpovski, Dejan Nemec, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratka sadržaj – U ovom radu prikazane su pojedine tehnike primenjene u standardu H.265 (HEVC). Data je analiza ovih tehnika u poređenju sa odgovarajućim tehnikama iz standarda H.264.

Ključne reči: HEVC, H.264, H.265, Quadtree, Intra Predikcija, Inter Predikcija

Abstract – In this paper techniques used in the standard H.265 are displayed. Analysis of these techniques is given in comparison with the corresponding techniques in the standard H.264.

Keywords: HEVC, H.264, H.265, Quadtree, Intra Prediction, Inter Prediction

1. UVOD

Televiziju mnogi smatraju za najznačajniji izum u istoriji komunikacije posle pisane reči. Prednost televizije u odnosu na pisanu reč jeste ta što za nju ne postoje nepismeni. Zato ona može dopreti do većeg broja ljudi.

Razvoj digitalne televizije započeo je u poslednjoj dekadi 20. veka. Digitalizacija TV signala veoma je komplikovan proces sa puno složenih detalja i tehnika. Standard H.265 (HEVC – *High Efficiency Video Coding*) jeste najnoviji standard u razvoju digitalne televizije. Predviđeno je da nasledi H.264/AVC (*Advanced Video Coding*).

Glavni razlog za razvoj HEVC-a jeste povećana potreba korisnika za video sadržajima visoke rezolucije 4k/8k ultra HD (*High Definition*). Potrebno je i preneti video sadržaj ovih rezolucija putem interneta i prikazati ga na zahtev. Istu uslugu potrebno je pružiti i korisnicima mobilnih uređaja uz prihvatljivu potrošnju baterije tih uređaja. Povećava se ponuda videa ovakve rezolucije. Medijska kuća “Netflix” počela je 2014. god. da strimuje sadržaj 4k rezolucije. “Amazon” takođe nudi sadržaj ove rezolucije.

Video servis “Youtube” dozvoljava postavljanje videa visoke rezolucije. Mnoge televizijske kuće pružaju mogućnost gledanja video sadržaja 4k/8k rezolucije. U našoj zemlji jedan kablovski operater nudi praćenje sportskih sadržaja u rezoluciji 4k. Naravno, potrebne su i kamere za snimanje videa ovih rezolucija. Uvođenjem visokih rezolucija potrebna je efikasnija kompresija podataka.

U ovom radu dat je pregled pojedinih tehnika H.265 standarda, uporedno u odnosu na H.264 standard.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Željens Trpovski, vanr. prof.

2. SINTAKSA I SEMANTIKA

U standardu H.265 definisana je sintaksa koja pojednostavljuje implementaciju i povećava kompatibilnost. Kao i prethodnici, H.265 propisuje standarde za protok bita, standarde za sintaksu i daje pravila pomoću kojih će svaki dekodler, kada na ulazu stigne signal koji je u skladu sa standardom, na izlazu dati identičnu sliku.

2.1 Set parametara

Standard H.265, kao i H.264, koristi „high-level“ sintaksnu arhitekturu. Iz H.264 preuzeti su setovi: sekvenca parametara seta (SPS – *Sequence Parameter Set*) i set parametara slike (PPS – *Picture Parameter Set*). U H.265 uveden je novi set, set video parametara (VPS – *Video Parameter Set*), koji daje informacije o profilima i maksimalnim nivoima. VPS opisuje osobine kodovanih video sekvenci, zavisnost između vremenskih podslojeva ili višestrukih 3D prikaza. Ovo predstavlja unapređenje u odnosu na H.264 višeslojne ili „multiview“ ekstenzije (koriste SEI (*Supplemental Enhancement Information*) poruke da bi prenele ovakve informacije).

U sloju video kodovanja (VCL – *Video Coding Layer*) podržani su svi niski nivoi procesiranja signala. To su particionisanje bloka, intra i inter predikcija, transformacijsko i entropijsko kodovanje i filtriranje („loop filtering“).

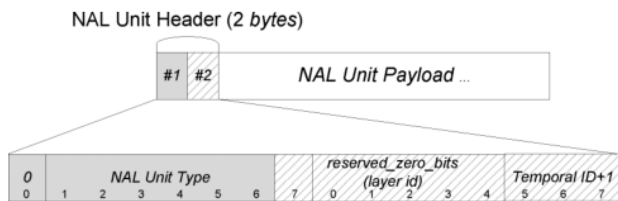
U sloju mreže apstrakcije (NAL) vrši se inkapsuliranje kodovanih podataka i odgovarajućih informacija signalizacije u NAL (*Network Abstraction Layer*) jedinice. NAL jedinice su pogodne za video transmisiju. NAL mapira podatke dobijene iz VCL-a. U tabeli 1. dati su tipovi NAL jedinica.

Tabela 1. Tipovi NAL jedinica [1]

| Type | Meaning | Class |
|--------|--|---------|
| 0, 1 | Slice segment of ordinary trailing picture | VCL |
| 2, 3 | Slice segment of TSA picture | VCL |
| 4, 5 | Slice segment of STSA picture | VCL |
| 6, 7 | Slice segment of RADL picture | VCL |
| 8, 9 | Slice segment of RASL picture | VCL |
| 10–15 | Reserved for future use | VCL |
| 16–18 | Slice segment of BLA picture | VCL |
| 19, 20 | Slice segment of IDR picture | VCL |
| 21 | Slice segment of CRA picture | VCL |
| 22–31 | Reserved for future use | VCL |
| 32 | Video parameter set (VPS) | non-VCL |
| 33 | Sequence parameter set (SPS) | non-VCL |
| 34 | Picture parameter set (PPS) | non-VCL |
| 35 | Access unit delimiter | non-VCL |
| 36 | End of sequence | non-VCL |
| 37 | End of bitstream | non-VCL |
| 38 | Filler data | non-VCL |
| 39, 40 | SEI messages | non-VCL |
| 41–47 | Reserved for future use | non-VCL |
| 48–63 | Unspecified (available for system use) | non-VCL |

U okviru NAL jedinice imamo zaglavlje NAL jedinice i korisni sadržaj NAL jedinice. Zaglavlje ima 2 bita i služi

da bi se označila namena korisnog sadržaja jedinice. Na slici 1. prikazano je zaglavlje NAL jedinice.



Slika 1. Zaglavlje NAL jedinice [2]

2.2 Otpornost na greške

Za razliku od H.264, glavna tehnika za otpornost na greške u H.265 jeste „sečenje“ („slicing“). Ova tehnika zasniva se na VCL NAL jedinicama koje staju u paket podataka i koje skoro da nemaju zavisnost kodovanja od ostalih *slice*-eva u istom frejmu. Na taj način gubitak jednog *slice* ne mora da utiče na kodovanje ostalih *slice*-eva.

3. PROFILI, NIVOI I RANGOVI

Standard H.264 ima jedan najvažniji nivo „High“. Standard H.265 ima tri najvažnija profila: Glavni, Glavni 10 i Glavni mirna slika. Oni podržavaju samo 4:2:0 format odabiranja. Dodatna dubina bita kod profila Glavni 10 omogućava mu da u odnosu na Glavni profil pruži bolji kvalitet videa. H.265 definiše 13 nivoa. Prikazani su u tabeli 2. Maksimalna rezolucija za H.264 jeste 4096x2304. Za H.265 maksimalna rezolucija jeste 7680x4320(8k UHD-2). U H.265 nivoi su podeljeni u dva ranga: Glavni za nivoe 1-3.1 i Visoki za nivoe 4-6.2. (za zahtevnije aplikacije). Novina u H.265 jesu nivoi 6, 6.1, 6.2 koji služe za podržavanje 8k UHD-2 videa. Najveća brzina bita od 800 Mbit/s, postignuta primenom Visokog ranga za prenos jednog 8k UHD-2 *stream*-a, više od tri puta veća je od brzine koju ostvaruje Glavni rang. Glavni rang za prenos jednog 4k-UHD-2 „stream“-a preko Wi-Fi mreže ili interneta visoke brzine, zahteva maksimalnu brzinu od 25 Mbit/s za 30 Hz i 40 Mbit/s za 60 Hz što je dovoljno za pružanje usluge *online* UHD TV. U standardu H.265 izvršena je dopuna ekstenzija opsega sa 19 dodatnih profila. Smanjenje u brzini bita do 7% postiže se za 4:4:4 video, a za RGB video može dostići i 26%. U RGB videu postoji veća korelacija između komponenti što dovodi do većeg smanjenja u brzini bita.

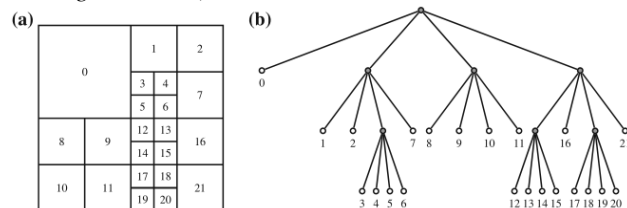
Tabela 2. Nivoi Glavnog profila [3]

| Level | Max luma picture size (samples) | Max luma sample rate (samples/sec) | Main tier max bit rate (1,000 bits/s) | High tier max bit rate (1,000 bits) | Min comp. ratio |
|-------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|-----------------|
| 1 | 36,864 | 552,960 | 128 | – | 2 |
| 2 | 122,880 | 3,686,400 | 1,500 | – | 2 |
| 2.1 | 245,760 | 7,372,800 | 3,000 | – | 2 |
| 3 | 552,960 | 16,588,800 | 6,000 | – | 2 |
| 3.1 | 983,040 | 33,177,600 | 10,000 | – | 2 |
| 4 | 2,228,224 | 66,846,720 | 12,000 | 30,000 | 4 |
| 4.1 | 2,228,224 | 133,693,440 | 20,000 | 50,000 | 4 |
| 5 | 8,912,896 | 267,386,880 | 25,000 | 100,000 | 6 |
| 5.1 | 8,912,896 | 534,773,760 | 40,000 | 160,000 | 8 |
| 5.2 | 8,912,896 | 1,069,547,520 | 60,000 | 240,000 | 8 |
| 6 | 33,423,360 | 1,069,547,520 | 60,000 | 240,000 | 8 |
| 6.1 | 33,423,360 | 2,005,401,600 | 120,000 | 480,000 | 8 |
| 6.2 | 33,423,360 | 4,010,803,200 | 240,000 | 800,000 | 6 |

4. QUADTREE

Novina koju H.265 donosi jeste primena particionisanja adaptivnog bloka pomoću „quadtree“ strukture koja un-

pređuje pretragu pokreta. Na slici 2. prikazano je *quadtree* particionisanje. Osnovna jedinica procesiranja u „quadtree“ strukturi jeste jedinica kodnog drveta (CTU – Coding Tree Unit).

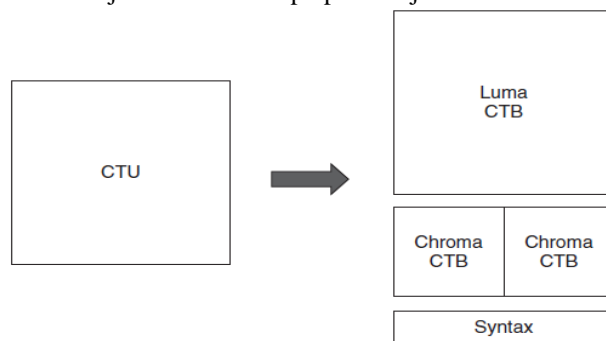


Slika 2. Ponavljanje „quadtree“ particionisanja [4]

Primena *quadtree* strukture omogućava da frejm može biti particionisan i kodovan primenom blokova različitih veličina (veći blokovi koriste se za iste ili glatke površine; manji blokovi koriste se obično za oblasti sa puno detalja koji imaju visoko kontrastne ivice). Ovo dovodi do efikasnijeg kodovanja i smanjuje vreme kodovanja. H.264 koristi MB veličine 16x16 za particionisanje frejma, a H.265 uvodi blok veličine 64x64 piksela.

4.1. Jedinica kodnog drveta

CTU sadrži tri stavke (vidimo na slici 3.): lumentni blok kodnog drveta, dva odgovarajuća hromineta bloka i odgovarajuću sintaksu predikcije koja nam daje informaciju o izabranom tipu predikcije.



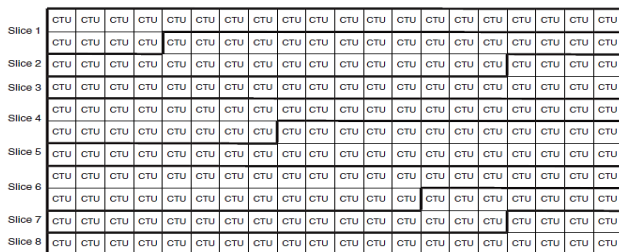
Slika 3. Komponente CTU-a [5]

Jedan CTU može se primeniti kao jedan CU ili podeljen u više CU-ova. CU jeste kvadratnog oblika. Može se particionisati u jednu ili više predikcionih jedinica (PU), namenjenih intra tj. inter predikciji i u jednu ili više transformacionih jedinica (TU), namenjenih za transformisanje i kvantizaciju. Jedan CTB (*Coding Tree Block*) blok, određene oblasti frejma, može biti primenjen kao jedan CB ili može biti podeljen na više manjih CB-ova. Veličina CB-a može da varira od veličine CTB-a (maksimalne veličine 64x64) do veličine lumentnih uzoraka 8x8. U standardu H.265, primenom većih CTB-ova (posebno u slučaju kada nema finih detalja ili pokreta u datom CTB-u), poboljšana je kompresija. Korišćenjem manjih CTB-ova dolazi do nagomilavanja *overhead*-ova što negativno utiče na kompresiju. Veličina kvadratnog TB-a u H.265 varira od 4x4 do 32x32, dok H.264 podržava transformacione veličine do 8x8. Za pravougaone TB-ove, H.265 dozvoljava veličine: 32x8, 8x32, 16x4, 4x16.

5. SLICE

Posmatrani frejm može biti tretiran kao jedan *slice* ili može biti podeljen na više *slice*-ova. Na slici 4. dat je primer *slice*-a. Preko granice *slice*-eva ne izvode se podaci

predikcije, podaci ostatka i entropijsko kodovanje, što ih čini samostalnim i omogućava njihov prenos u zasebnim NAL jednicama. Na taj način ostvareno je nezavisno kodovanje *slice*-eva. U slučaju kada je primenjena operacija filtriranja na frejm, može biti potreban prenos informacija preko granice *slice*-a. Takvo „interslice“ filtriranje dato je opcionalno. U zavisnosti od tipa *slice*-a, na blokove mogu biti primenjeni kodovi različitih dužina što dovodi do problema sinhronizacije. Standard H.264 rešava ovaj problem primenom jedinstvenog resinhronizacionog markera (0000 0000 0000 0000 1), dok kod standarda H.265 sama struktura podataka u *slice* pomaže u resinhronizaciji i poboljšava otpornost na greške.



Slika 4. Primer „slice“-eva [5]

5.1. Tiles

Standard H.265 pomoću „tiles“ (pločice) deli frejm na rešetku pravougaonih regija. Na slici 5. dat je primer kvadratne pločice. Najmanji broj lumentnih uzoraka koji *tile* mora da sadrži iznosi 256x64. U paralelnom procesiranju *tiles* jesu fleksibilnije od *slices*. Primena *tiles*-ova omogućava nezavisno kodovanje višestrukih pravougaonih izvora u datom frejmu (npr. aplikacija slika u slici). Kao kod *slice* i na granicama *tile* dolazi do prekidanja zavisnosti predikcije što omogućava nezavisno procesiranje. Razlika između *tiles* i *slices* jeste ta što je primarna uloga *tiles*-a paralelno procesiranje, a *slice*-a otpornost na greške. *Tiles* imaju važnu primenu i u softverski projektovanoj arhitekturi gde postoje problemi kašnjenja tj. nedovoljne iskorišćenosti procesora, prilikom sinhronizacije procesora ili jezgara nivo CTU-a. Upotreba kompleksnih sinhronizacionih niti prilikom kodiranja i dekodiranja paralelno-procesiranih arhitektura izbegava se primenom *tiles*.

Tile 1 (256 x 256 pixels)



Slika 5. Primer kvadratnih pločica [5]

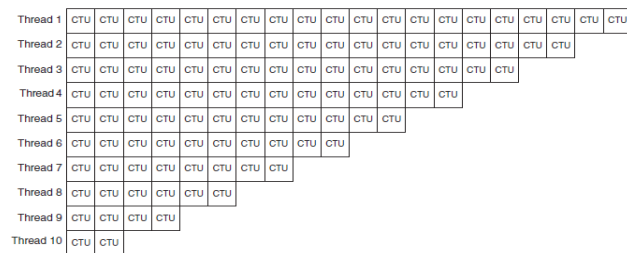
5.2. Paralelno talasno procesiranje WPP

U *slice* i *tile*, zavisnosti u predikcionom postupku mogu preći preko granice blokova što se može negativno odraziti na performanse kodovanja. WPP (*Wavefront Parallel Processing*) omogućava paralelno kodovanje i dekodovanje na nivou *slice*-a bez prekidanja zavisnosti predikcije (kontekst u entropijskom kodovanju koristi se što je češće moguće).

Tehnika „talasa“ (WPP) deli frejm na redove CTU-ova. Svaki red može biti procesiran različitom niti („thread“)

čim se procesiraju dva CTU-a u redu iznad. Primer Paralelnog talasnog dekodovanja dat je na slici 6.

Tehnika WPP-a postiže bolju kompresiju u odnosu na *tiles* primenom prethodnih podataka u entropijskom kodovanju.



Slika 6. Paralelno talasno dekodovanje [5]

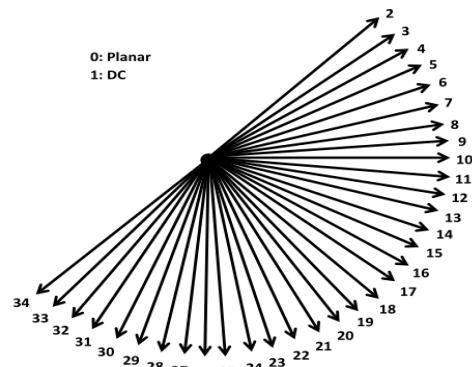
Prednost WPP-a jeste i to što može da izbegne vizuelne artefakte nastale primenom *tiles*.

6. INTRA PREDIKCIJA

H.265 u intra predikciji podržava 35 modova, 33 direkcionala, planarni i DC mod. H.264 podržava 8 direkcionalnih modova, planarni i DC mod. U H.265, na blok veličine 8x8, 16x16 i 32x32 može se primeniti bilo koji mod. Standard H.264 primenjuje 8 direkcionalnih modova za blokove veličina 4x4 i 8x8, a samo 4 moda za blok veličine 16x16.

6.1. Ugaona predikcija

Koristi se za regije u kojima postoje jake direkcione ivice. Na slici 7. prikazana su 33 predikciona pravca koje podržava H.265. Izbor uglova za predikcione modove izvršen je u skladu sa statistički preovlađujućim uglovima u prirodi. Sa slike 7 vidimo da je fino zrnasto pokrivanje obezbeđeno za skoro vertikalne i skoro horizontalne pravce (oko modova 10 i 26). Za skoro dijagonalne pravce imamo manje gusto pokrivanje.



Slika 7. Intrapredikcioni modovi [6]

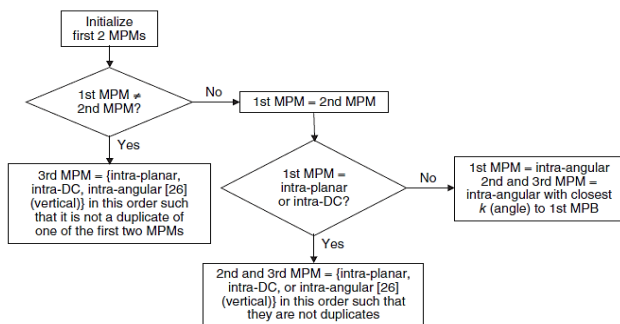
6.2 Planarna predikcija

Planarna predikcija u H.265 može biti primenjena za sve veličine PB-a, dok u H.264 može biti upotrebljena samo za lumentni PB veličine 16x16. Unapređeno je adaptivno filtriranje referentnih uzoraka korišćeno u H.264 za blokove veličine 8x8. Standard H.265 ovo filtriranje može upotrebiti za veličine 8x8, 16x16 i 32x32 u više različitih modova.

6.3 Mod kodovanja

Za lumentne komponente, H.264 u intra predikciji bira jedan mod koji najviše odgovara. Kod H.265 biraju se tri

najpovoljnija moda pri čemu se vodi računa o dupliranju modova (uvode se alternativni modovi). Na slici 8. prikazan je algoritam odabira MPM (*Most Probable Modes*). Za hrominentne komponente, H.265 uvodi intra-izvedeni mod u kome se za hrominentni blok, koristi mod korišćen pri predikciji lumentnog bloka.



Slika 8. Odabir MPM [6]

7. INTER PREDIKCIJA

U standardu H.265 podržano je više particija u inter predikciji, nego u intra predikciji. Particije mogu biti kvadratne ili pravougaone, pri čemu pravougaono particionisanje pruža precizniju predikciju pokreta. Asimetrično particionisanje pokreta (AMP – *Asymmetric Motion Partitioning*), primenjeno na granice nepravilnog bloka, poboljšava efikasnost kodovanja. H.265, primenom dužih tap filtara (7/8 tap filtri) pri interpolaciji frakcionog uzorka, postiže veću preciznost nego standard H.264. Predikcija vektora pokreta (MVP – *Motion-Vector Prediction*) značajno je poboljšana kod H.265. Mod spajanja blokova olakšao je signalizaciju podataka pokreta primenom već dekodiranih blokova. Standard H.265, u cilju efikasnije obrade fleksibilne strukture bloka nastale primenom „*quadtree*“ particionisanja, uvodi naprednu predikciju vektora pokreta (AMVP – *Advanced MVP*).

8. TRANSFORMACIJA, SKALIRANJE KVANTIZACIJA

Celobrojne transformacije bloka primenjene u H.265 daju preciznije aproksimacije DCT-a (*Discrete Cosine Transform*) u odnosu na transformacije iz H.264. Osnovni vektori transformacija u H.265 imaju jednaku energiju, tako da nije potrebna kompenzacija različitih normi iz H.264. Celobrojna aproksimacija DST (*Discrete Sine Transform*) alternativno može biti upotrebljena prilikom obrade intraprediktovanih 4x4 lumentnih ostataka TB-ova. Pogodnija je za oslabljenu statističku korelaciju, jer je tada udaljenost od graničnih uzoraka veća. U H.265 nije potrebna operacija preskaliranja (dekvantizacija) iz H.264 što dovodi do smanjenja srednje veličine memorije. Za transformacione veličine 32x32 ostvarene su značajne uštede memorije. U standardu H.265 primenjena je uniformna rekonstrukciona kvantizacija (URQ – *Uniform Reconstruction Quantization*).

9. ZAKLJUČAK

H.265 (HEVC) predstavlja očekivano poboljšanje u odnosu na standard H.264. Unapređuje tehnike korišćene u H.264 i uvodi nove tehnike. U H.265 novi set, VPS, predstavlja unapređenje u odnosu na H.264 višeslojne ili „*multiview*“ ekstenzije. Za podržavanje 8k UHD-2 videa

H.265 uvodi nivoe 6, 6.1, 6.2. Primenom „*quadtree*“ particionisanja postiže se efikasnije kodovanje i smanjuje vreme kodovanja u odnosu na tehniku particionisanja iz H.264. Prilikom kodovanja i dekodovanja UHD/HD videa svi alati paralelnog procesiranja visokog nivoa standarda H:265 postaju efikasniji. U H.265, paralelno procesiranje „*talasima*“ i „*tiles*“ ima, dato je opciono što omogućava da dekoderi koji imaju ograničene procesorske resurse mogu da dekoduju video bez paralelnog procesiranja. Mogućnost primene 33 predikcionih pravca za intra predikciju, u standardu H.265, povećava efikasnost kodovanja u odnosu na neke druge metode kompresije bez gubitka (npr. JPEG). Vrednosti poboljšanja su 20%-50%. Za hrominentne komponente, H.265 uvodi intra-izvedeni mod u kome se za hrominentni blok, koristi mod korišćen pri predikciji lumentnog bloka. Standard H.265 poboljšava predikciju vektora pokreta uvođenjem AMVP. Pri interpolaciji frakcionog uzorka, H.265 ostvaruje veću preciznost nego H.264.

10. LITERATURA

- [1] Gary J. Sullivan, Jens-Rainer Ohm, Woo-Jin Han, and Thomas Wiegand, „Overview of the High Efficiency Video Coding (HEVC) Standard“, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 22(12), 1649-1668, (Dec. 2012)
- [2] Thomas Schierl, Ye-Kui Wang, Miska M. Hannuksela, Stephan Wenger, „System layer integration of High Efficiency Video Coding“, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 22, no. 12, (Dec. 2012)
- [3] K. R. Rao, Do Nyeon Kim, Jae Jeong Hwang, „Video coding Standards AVS China, H.264/MPEG-4 PART 10, HEVC, VP6, Dirac and VC-1“, ISBN 978-94-007-6742-3, 2014.
- [4] Mathias Wien, „High Efficient Video Coding: Coding Tools and Specification“, ISBN 978-3-662-44276-0, 2015.
- [5] Benny Bing „Next-generation video coding and streaming“, Online ISBN 9781119133346, John Wiley&Sons 2015.
- [6] Guilherme Correa, Pedro Assuncao, Luciano Agostini, Luis A. da Silva Cruz, „Complexity-Aware High Efficiency Video Coding“, ISBN 978-3-319-25778-5, 2016.

Kratka biografija:

Mara Janković, rođena je u Senti 1981. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Telekomunikacije odbranila je 2019.god.
kontakt: jankovicmara@gmail.com



Željen Trpovski rođen je u Rijeci 1957. godine. Doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka 1998. god. Oblast interesovanja su telekomunikacije i obrada signala.



Dejan Nemeč rođen je 1972. god. Diplomirao, specijalizirao i magistrirao je na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva. Oblast interesovanja su telekomunikacije i obrada signala.