

Komparativna analiza video kompresije MPEG-4, H.264/AVC i H.265/HEVC standarda

Nikola Tošić / Nikola Stojković

Sektor za istraživanje, razvoj i inovacije /
Telekomunikacioni saobraćaj i mreže

Vlatacom institut DOO Beograd / Saobraćajni fakultet
Beograd, Srbija

nikola.tosic@vlatacom.com / n.tosic@sf.bg.ac.rs /
nikola.stojkovic@vlatacom.com

Andreja Samčović / Snežana Mladenović / Slađana
Janković

Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet
Beograd, Srbija

andrej@sf.bg.ac.rs / snezanam@sf.bg.ac.rs /
s.jankovic@sf.bg.ac.rs

Sažetak—U radu je prikazano poređenje tri različita standarda za video kompresiju: H.265, H.264 i MPEG-4. Analiziran je video sadržaj preko softverskih alata za konvertovanje *HandBrake* i *Softver Elecard Converter Studio Demo*, kao i preko softverskih alata za analizu kvaliteta video sadržaja *MSU Video Quality Measurement Tool*.

Ključne riječi - video kompresija; MPEG-4; H.264; H.265;

I. UVOD

Video kompresija predstavlja proces konverzije određenog digitalnog video zapisa u format koji zauzima manji kapacitet prilikom određenog procesa ili memorisanja. Kompresija predstavlja ključnu tehnologiju za digitalnu televiziju, mobilne uređaje, video konferencije, internet video *streaming* i još dosta toga. Cilj video kompresije, pored smanjenja količine podataka koje je potrebno preneti zbog reprodukovanja video zapisa, jeste i da se u što većoj meri zadrži kvalitet originala, što će biti razmatrano u ovom radu. Dosta implementiranih rešenja za video kompresiju podrazumeva određene gubitke u kvalitetu video zapisa jer se pretpostavlja da veliki deo podataka nije neophodan za postizanje dobrog kvaliteta slike. Problem može biti ukoliko prilikom dekompresije dođe do pojave vidljivih smetnji u vidu rešetkastog šuma. Dakle, uvek se mora praviti kompromis između: potrebnog memorijskog kapaciteta za memorisanje video zapisa, zatim između kvaliteta slike i na kraju cene hardvera koji može da uradi dekompresiju u prihvatljivom vremenskom intervalu.

Sama video kompresija koristi i vremensku i prostornu redundansu video podataka u svakom frejmu. Definicija frejma jeste skup piksela koji odgovaraju jednom vremenskom trenutku. Brzina smenjivanja slika, odnosno broj slika po sekundi f/s predstavlja meru frekventnosti promene slika u sekundi. Ne postoji tačan broj koji može reći koliko ljudsko oko može videti slika u sekundi. Prosek može biti oko 24 ili 25 frejmova, gde naravno postoje i izuzeci. To je dosta kompleksna stvar, jer i uočavanje brzine smenjivanja slike vrlo zavisi i od sličnosti između frejmova.

Prostorna kompresija koristi osobinu susjednih piksela koji imaju sličnu ili istu vrednost, tako da se u određenoj oblasti frejma svi pikseli mogu kodovati jednom vrednošću. Može se

desiti i da nekoliko uzastopnih frejmova sadrže veliki broj piksela koji se ne menjaju, pa se u tom slučaju ova redundantnost koristi za takozvanu vremensku kompresiju, tako što se porede uzastopni frejmovi i koduju oni pikseli koji se razlikuju. Video kodek je uređaj ili softver koji vrši kompresiju, odnosno dekompresiju određenog video signala i sastoji se od para koder/dekoder. Osnovne jedinice sa kojima radi kodek čine susjedni pikseli koji se nazivaju makroblokovi. Standardizacija video kompresije ima za cilj da omogući uspešnu komunikaciju i interakciju proizvođača različitih proizvođača (a to su koderi, dekoderi, kao i medijumi za skladištenje informacija).

II. MPEG-4

MPEG (*Moving Picture Experts Group*) je radna grupa zadužena za razvoj standarda za audio i video kodovanje, memorisanje, kao i pretraživanje multimedijalnih sadržaja. Zvaničan naziv jeste ISO/IEC JTC1/SC29 WG11. Standard MPEG-4 je nastao kao poboljšanje standarda MPEG-2 u smislu podrške audio i video objektima, zatim 3D sadržajima i niskim brzinama prenosa. Ovaj standard je uveden devedesetih godina dvadesetog veka (tačnije 1994. godine, a oslobođen je kao zvanični standard 1999. godine).

Najvažnije aplikacije MPEG-4 video standarda su sistemi prenosa i difuzije kao što su digitalne pretplatničke linije, linkovi za razmenu programa, celularne mobilne radio mreže, mreže kablovske TV i lokalne računarske mreže [1].

Umesto rada sa pravougaonim blokovima slike, kao njegovi prethodnici, MPEG-4 je objektno orijentisan. Odvojeno se koduju objekti video sekvence i prenose se zasebnim sekvencama bita [2].

Pokriven je širok opseg protoka sa ovim standardom, od niskih (počevši čak od 5 kb/s) pa do 2 Mb/s. Ciljevi uvođenja ovog standarda su bili:

- manipulisanje sadržajem i mogućnost menjanja sekvence bita u komprimovanom domenu;
- pružanje mogućnosti kombinovanja sintetizovanih, prirodnih scena, objekata i otpornost na greške;
- pristup frejmovima i objektima na slučajan način;
- bolji vizuelni kvalitet na uporedivim protocima u poređenju sa prethodnim standardima [3].

III. H.264/AVC

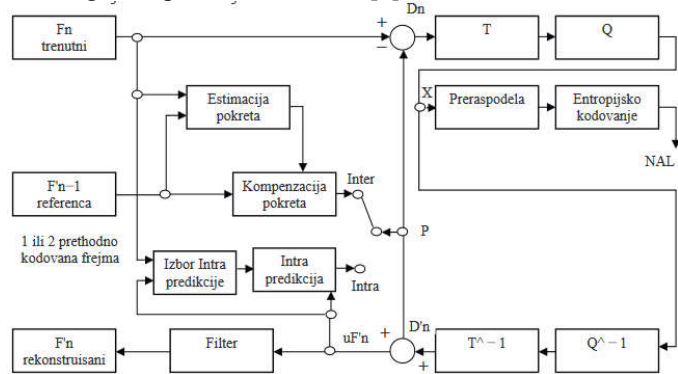
Godine 1999. oslobođena je verzija standarda H.264/AVC. Ovaj standard je poznat i pod nazivom MPEG-4 Part 10 AVC (*Advanced Video Coding*). Određen je kao standard u oblasti zemaljske i satelitske digitalne televizije, kao i mobilne telefonije treće generacije u brojnim državama, a čak su i NATO i ministarstvo odbrane SAD prihvatili ovaj kodek i koriste ga u svojim vojnim industrijama. Softverska rešenja za ovaj kodek se pišu za procesore opšte namene i koriste se za na različitim platformama, kao što su *Windows*, *Linux*, *Symbian* i tako dalje. Kodek ovog standarda se softverski implementira uz pomoć C/C++ biblioteka koje programeri obezbeđuju odgovarajući API (*Application Programming Interface*) za implementaciju. Ono što razlikuje H.264 od svojih prethodnika jeste što sadrži debloking filter komponenti koji omogućava efikasno uklanjanje rešetkastog šuma na ivicama blokova dekodovane slike.

Inicijalna ideja ovog standarda je bila da se obezbedi dobar kvalitet slike pri bar duplo manjem protoku podataka, a da se pri tome ne povećava složenost dizajna pa da on postane nepraktičan za implementaciju. Naravno, trebalo je i da bude fleksibilan da bi mogao da se primeni na različitim aplikacijama. ITU (*International Telecommunication Union*) je definisao preporuku H.264 u kojoj definiše format komprimovanog video zapisa i metod za dekodovanje sintakse kojim se dobija video sekvenca za prikaz. Cilj je da se proizvođači koda mogu osloniti na to da će format *bit-stream*-a biti dekodovan od strane svih dekodera.

Glavne funkcionalne jedinice video koda standarda H.264 su: temporalni model, prostorni model, kao i entropijski koder. Na ulaz vremenskog (temporalnog) modela se dovodi originalna (nekomprimovana) video sekvenca. Temporalni model zatim pokušava da smanji vremensku redundansu koristeći sličnosti između susednih frejmova za konstruisanje predikcije tekućeg frejma. Predikcioni frejm se formira od jednog ili više prethodnih ili budućih frejmova, a može se poboljšati uvođenjem kompenzacije za razlike između frejmova. Predikcija kompenzacije pokreta se obavlja izračunavanjem parametara koji se nazivaju vektori pomeraja. Ti vektori opisuju na koji način je kompenzovano kretanje u okviru slike. Ukoliko postoji velika promena između referentnog frejma i frejma koji se trenutno koduje, efikasnije je kodovati frejm bez kompenzacije pokreta. To je takozvani *inter* mod kodovanja. U ostalim slučajevima koristi se *intra* mod kodovanja (kodovanje korišćenjem kompenzacije pokreta). Izlaz iz temporalnog modela čini rezidualni frejm (koji je nastao oduzimanjem predikcionog od tekućeg frejma) i skup vektora pomeraja.

Rezidualni frejm se zatim šalje na ulaz prostornog modela. Uloga prostornog modela jeste da koristi sličnost između susednih piksela rezidualnog frejma za reprodukovanje prostorne redundanse uz pomoć transformacija (najčešće diskretna kosinusna transformacija). Odabirci se transformacijom preslikavaju u transformacione koeficijente, na koje se zatim primenjuje kvantizacija kako bi se uklonile manje bitne vrednosti. Tu se ostavlja mali broj najbitnijih koeficijenata koji obezbeđuju kompaktniju reprezentaciju

rezidualnog frejma. Nakon toga koeficijenti se šalju na izlaz prostornog modela. Parametri dobijeni temporalnim modelom (vektorom pomeraja) i prostornim modelom (koeficijenti) se komprimuju entropijskim koderom koji uklanja statističku redundansu u podacima. Na samom kraju, komprimovana sekvenca se sastoji od kodovanih parametara vektora pomeraja, kodovanih rezidualnih koeficijenata i zaglavlja koje sadrži informacije potrebne za dekodovanje. Slika 1 prikazuje kako izgleda tipičan H.264 koder [2].



Slika 1: Tipičan H.264 koder

Sam *bit-stream* H.264 algoritma može biti generisan sa dva načina: VBR (*Variable Bit Rate*) i CBR (*Constant Bit Rate*). Kod VBR-a stopa kompresovanog video sadržaja varira sa kompleksnošću promenjenih frejmova. CBR koristi kontrolu kako bi dinamički podesio kvantizacione parametre prema kompleksnosti i promenama [4].

Svakako, jedan od osnovnih problema jeste izražena smetnja ili šum na ivicama blokova dekodovane slike u vidu rešetkastog šuma. Filtar se primenjuje na svaki dekodovani makroblok kako bi se smanjile smetnje koje se javljaju na slici u obliku blokovskog efekta. U koderu nakon inverzne transformacije se primenjuje debloking filter, kao i u dekodoru. Ovaj filter ublažava ivice blokova i tako poboljšava izgled dekodovanih frejmova [3].

IV. H.265/HEVC

Preporuka, odnosno standard za H.265 video kodovanje jeste ITU-T H.265|*International Standard ISO/IEC 23008-2*. Ovaj standard predstavlja evoluciju postojećih ITU preporuka za video kodovanje (ITU-T H.261, H.263, H.264/AVC) i razvijen je kao odgovor na zahtev za veću kompresiju slika za različite primene, kao što su internet *streaming*, video komunikacija, video konferencija, internet protokol televizija i televizija visoke rezolucije [5]. Takođe je dizajniran da prati nove tehnologije, odnosno da omogući predstavljanje kodovanog video sadržaja na fleksibilan način za širok spektar različitih mrežnih okruženja danas dostupnih. Upotreba ove preporuke omogućava da pokreti određenog video sadržaja budu prikazani u formi računarskih podataka i da bude smešten na različitim medijumima za memorisanje, predaju i prijem preko postojećih i budućih mreža i da bude distribuiran na postojećim i budućim kanalima za emitovanje.

Preporuka internacionalnog standarda H.265 je pripremana zajedno od strane ITU-T SG 16 WP 3, takođe poznat i kao

VCEG (*Video Coding Experts Group*) i od ISO/IEC JTC 1/SC 29, takođe poznat i kao MPEG (*Moving Picture Experts Group*) [6].

Standard H.265 se takođe može sresti i pod imenom HEVC (*High Efficiency Video Coding*). Glavni cilj HEVC standardizacije je omogućavanje značajnih performansi u poređenju sa postojećim standardima. Ta razlika se ogleda čak i u rasponu od 50 procenata smanjenja memorije za isti perceptualni video kvalitet. Pored toga, ima cilj i da bude otporan na gubitak podataka, da može da se izvrši integracija transportnog sistema, kao i da se implementira koristeći paralelne procesorske arhitekture.

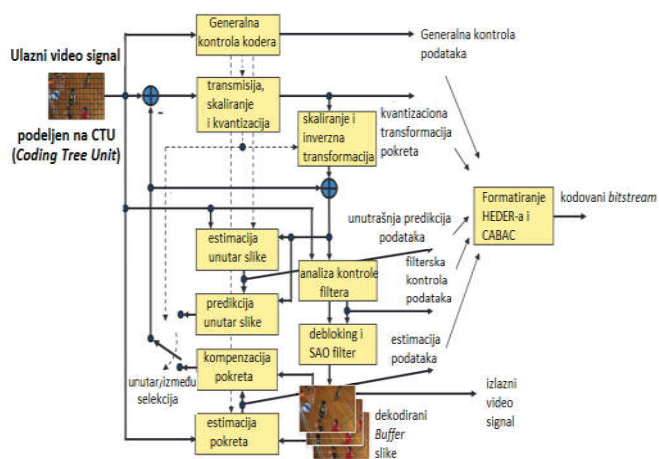
Prethodnik standarda H.265 jeste H.264/AVC koji omogućuje tehnologiju za digitalni video a koristi se u različitim aplikacijama. Neke od njih su: prenošenje televizijskog signala visoke rezolucije preko satelitske komunikacije, kablovskim putem, preko terestrijalnih transmissionih sistema, za sisteme koji prikupljaju i obrađuju video sadržaj, za bezbednosne primene, internet, video preko mobilnih mreža, za “real-time” konverzijske aplikacije kao što su video “chat”, video-konferencije i tako dalje.

Međutim, sve veća raznovrsnost različitih servisa, popularnost video sadržaja visoke rezolucije i pojava takozvanih formata “beyond-HD” (kao što je 4K UHD, pa i 8K UHD) stvaraju još jače potrebe za efikasno kodovanje. Potreba je još veća kada je video sadržaj praćen stereo zvukom.

H.264 poseban fokus ima na dva ključna problema: povećanu video rezolucija i povećanu upotrebu paralelnih arhitektura za procesuiranje.

ITU-T je kod HEVC-a standardizovao *bit-stream* strukturu i sintaksu, ograničenja na *bit-stream*-u, kao i mapiranje za generaciju dekodovanih slika. Mapiranje je dato definisanjem semantičkog smisla sintakse elemenata i za proces dekodovanja tako da će svaki dekodirani koji je u skladu sa standardom proizvesti isti izlazni sadržaj.

Algoritam kodovanja kod HEVC-a proizvodi izlazni *bit-stream* na sledeći način: svaka slika se deli na blokovski oblikovane regione, gde se tačno blokovsko deljenje prenosi u dekodirani. Prva slika video sekvence se koduje koristeći samo predikciju unutar slike (Slika 2) (koja koristi neke predikcije podataka prostorno iz regiona u region u istoj slici, ali ima nezavisnost od drugih slika). Za sve preostale slike sekvenci ili između slučajnih pristupnih tačaka, vremenski prediktivni kodni modovi se tipično koriste za većinu blokova. Proces kodovanja za predikcije između slika sastoji se od biranja podataka pokreta koji sadrže izabranu referentnu sliku i vektor pomeraja MV (*Motion Vector*) koji će se kasnije primeniti za predviđanje uzoraka svakog bloka. Koder i dekodirani generišu identične među-prediktivne signale primenom kompenzacije pokreta MC (*Motion Compensation*) koristeći MV i režim za odlučivanje podataka, koji se prenose kao sporedne informacije [7].



Slika 2: Tipični HEVC video koder [5]

Video materijal koji se koduje sa HEVC-om se generalno očekuje da bude na ulazu progresivno skeniran.

Jedan od glavnih doprinosa za visoku kompresiju HEVC-a je predstavljanje većih blokovskih struktura sa fleksibilnim podpartitionim mehanizmima. Osnovni blok kod HEVC-a je poznat kao LCU (*Largest Coding Unit*) i rekurzivno može biti podeljen na manje jedinice CUs (*Coding Unit smaller*), koje za uzvrat mogu biti podeljene na manje prediktivne jedinice PUs (*Prediction Units small*), i transformacione jedinice TU (*Transform Unit*). HEVC podržava veće blokovsko kodovanje nego H.264/AVC, dok takođe ima fleksibilniju partitionu strukturu da bi omogućio manjim blokovima da se koriste za više tekstualne i u suštini, nejednake regione.

V. KOMPARATIVNA ANALIZA I PREGLED NAJČEŠĆE KORIŠĆENIH METRIKA ZA PROCENU KVALITETA VIDEO SADRŽAJA

Svaki od prethodno pomenutih standarda ima svoje prednosti. Tabela 1 daje uporedni prikaz ova tri standarda.

TABELA 1. UPOREDNI PRIKAZ TRI RAZLIČITA STANDARDA

	MPEG-4	H.264/AVC	H.265
Puno ime	MPEG 4 Part 2	MPEG 4 Part 10 AVC	H.265 HEVC, MPEG-H Part 2
Godina oslobađanja standarda	1999.	2005.	2013.
Veličina blokova	16x16, 16x8, 8x8	Fleksibilniji u poređenju sa MPEG-4	Još veća fleksibilnost u veličini blokova (CTU)
Entropijsko kodovanje	VLC	VLC, CAVLC, CABAC	CABAC
Kompleksnost koda	Srednja	Visoka	Visoka

Mera koja se najčešće koristi u praksi, za poređenje kvaliteta video sadržaja jeste PSNR (*Peak-to-Peak Signal to Noise Ratio*).

$$PSNR = 10 \log \left(\frac{MaxErr^2 wh}{\sum_{i=1, j=1}^{w, h} (x_{i,j} - y_{i,j})^2} \right) \quad (1)$$

Ovde su:

- *MaxErr* – maksimalna moguća apsolutna vrednost razlike komponenti boja;
- *w* – širina videa;
- *h* – visina videa;
- $x_{i,j}$ i $y_{i,j}$ - dva diskretna konačna signala, a *w* i *h* su konačni brojevi uzoraka (pikseli) za dva različita uzorka.

Generalno, PSNR je ekvivalentan srednjoj kvadratnoj grešci (*Mean Square Error*), ali je mnogo zahvalnije koristiti ovu jedinicu zbog logaritamskog oblika. Obe vrednosti predstavljaju srednju grešku između ulaznog i izlaznog video sadržaja. Stoga, što je ova vrednost manja, to je manja razlika između komponenti boja i da je rezultat bolji. PSNR rezultate daje u dB i meri apsolutnu razliku između dva signala, koja je u potpunosti kvantitativno određiva. Vrednost do 35 dB se generalno smatra dobrom vrednošću. Ova vrednost se može računati za sve YUV i RGB (*Red Green Blue*) komponente u softverskom alatu *MSU Video Quality Measurement Tool* [8]. Vuk i Pinson su 1999. godine razvili drugačiji metrik za određivanje video kvaliteta VQM (*Video Quality Metric*). Ovaj metrik meri perceptualne efekte kao što su zamudjenja, neprirодно kretanje, globalni šum, distorziju blokova i boja i kombinuje ih u jedan metrik [8].

SSIM (*Structural Similarity Index*) je mera kvaliteta koja je predstavljena od strane Zhou Wand-a. Ovaj metod se razlikuje od drugih metoda koji su bazirani na greškama i koriste merenja strukturnih poremećaja umesto greški. Ideja koja stoji iza ovoga jeste da je ljudski vizuelni sistem visoko specijalizovan u ekstrakciji strukturnih informacija, a ne u ekstrakciji grešaka. Stoga, merenje strukturnih distorzija bi trebalo da da bolju korelaciju subjektivnoj impresiji.

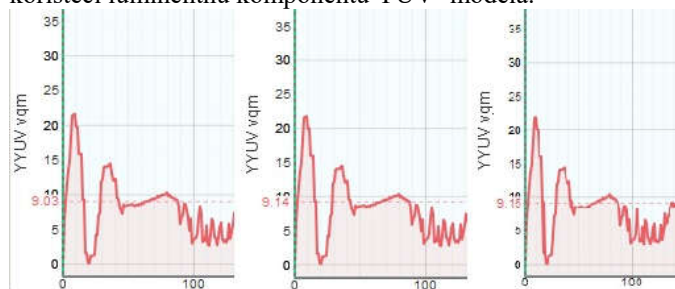
MSSIM (*MultiScale SSIM*) se bazira na SSIM metrik u nekoliko smanjenih nivoa originalne slike. Rezultat je ponderisani prosek ovih metrika.

Ukoliko se uzme za primer određeni video sadržaj kako bi se proverilo kako u praksi izgledaju ovi metrici (u ovom primeru je uzet kratak video sadržaj koji prikazuje krilo putničkog aviona, a frejm za analizu je redni broj 744). Video sadržaj je konvertovan u MPEG-4, zatim u H.264 i na kraju u H.265 format. Rezultati koji su dobijeni korišćenjem softverskog alata MSU su prikazani u Tabeli 2.

TABELA 2. PRAKTIČNO POREĐENJE RAZLIČITIH METRIKA ZA STANDARDE MPEG-4, H.264 I H.265

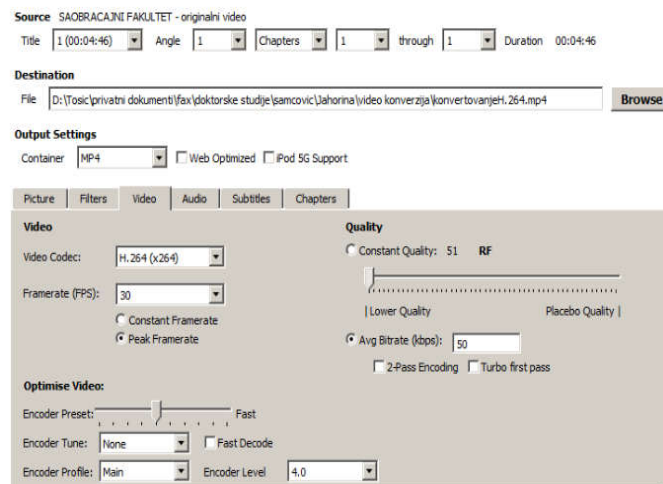
	PSNR	SSIM	MSSIM	VQM
MPEG-4	17.8	0.619	0.252	9.03
H.264/AVC	17.8	0.607	0.25	9.14
H.265/HEVC	17.8	0.613	0.25	9.15

Sa alatom *MSU Video Quality Measurement Tool* [13] se može analizirati video sadržaj i može se eksportovati grafik za različite video kodeke (Slika 3). Ovaj grafik je urađen koristeći luminantnu komponentu YUV¹ modela.



Slika 3: Poređenje MPEG-4, H.264 i H.265 standarda, koristeći metrik VQM

U nastavku će se analizirati još jedan video sadržaj koji promovise Saobraćajni fakultet u Beogradu [9] i biće analizirane vizuelne razlike kada se analiziraju različiti video kodeci. Zbog dalje analize, video sadržaj će se konvertovati u H.265, H.264 i MPEG-4 standard, korišćenjem softverskog alata *HandBrake* [10]. Slika 4 prikazuje kako je izgledao proces konverzije za H.264 standard korišćenjem ovog softverskog alata. Tokom ove konverzije, podešeno je da svi izlazni video signali imaju 30 frejmova po sekundi, kao i da prosečni *bitrate* bude 50 kb/s. Sama dužina video sadržaja jeste 4 minuta i 46 sekundi.



Slika 4: Proces konverzije originalnog video sadržaja u H.264 standard

Postoji dosta softverskih alata dostupnih na internetu koji mogu vršiti ovaj tip konverzije. Jedan od njih jeste i *Elecard Converter Studio Demo* [10], ali je jedan jako dobar softverski alat i *FFmpeg* [11].

Dalje konvertovanje reprezentativnog video sadržaja u ovom radu sprovedeno je korišćenjem softverskog alata *HandBrake* [12].

1 Kod YUV modela boja signal se može podeliti na luminantnu komponentu (informacija o osvetljenosti) i hrominantnu komponentu (informacija o boji). Ljudsko oko je osetljivije na promenu intenziteta osvetljenosti nego na promenu boje, pa je u ovom radu za analizu prvenstveno korišćena luminantna komponenta.

Posle toga, konvertovani video fajlovi su uneti u softver koji je napravio Moskovski univerzitet MSU (*Moscow State University*) [13]. Ime ovog alata jeste *MSU Video Quality Measurement Tool* (Slika 5).



Slika 5: Softverski alat *MSU Video Quality Measurement Tool*

Nakon učitavanja konvertovanih fajlova, MSU softver pokazuje da ovi video sadržaji imaju ukupno 7167 frejmova. Frejm koji će se uzeti za analizu ima redni broj 6925 i na njemu je prikazan znak Saobraćajnog fakulteta koji se fizički nalazi ispred zgrade fakulteta u Beogradu.

Kada se uvećaju određeni delovi frejma 6925, može se primetiti razlika u kvalitetu između H.265, H.264 i MPEG-4 kodeka (Slika 6, Slika 7 i Slika 8).



Slika 6: Frejm sa rednim brojem 6925 sa H.265 kodekom



Slika 7: Frejm sa rednim brojem 6925 sa H.264 kodekom



Slika 8: Frejm sa rednim brojem 6925 sa MPEG-4 kodekom

Kada se analizira frejm MPEG-4 i H.264 algoritma, može se primetiti manje rešetkastog šuma na ivicama blokova što je posledica deblocking filtera koji sadrži algoritam H.264. Naravno, ubedljivo najbolje rezultate daje algoritam H.265.

VI. ZAKLJUČAK

Kodeci predstavljaju srž softvera koji realizuje prikazivanje video materijala na ekranu. Tehnologija se razvija svakodnevno, kao i zahtevi korisnika za različitim video kodecima. Kako vreme ide, pojavljuju se novi kodeci, koji prevazilaze nedostatke prethodnih. Kroz evoluciju kompresije su učinjeni veliki napori sve u cilju poboljšanja karakteristika kompresije, gde se smanjuje robusnost velikih fajlova, a radi se na tome da kvalitet video sadržaja bude na visokom nivou. Evolucija ovih kodeka se može posmatrati i kroz poznate ITU-T i ISO/IEC standarde.

U ovom radu su predstavljene višestruke prednosti H.265 standarda, u odnosu na H.264, a pogotovu u odnosu na MPEG-4. Na osnovu svih sprovedenih analiza zaključuje se da je najbolje primeniti H.265 kodek, kada se govori o video sadržajima. Komparativna analiza u ovom radu dala je zaključke na kraju da su najkvalitetniji frejmovi kodeka H.265, zatim kodeka H.264 a tek onda kodek MPEG-4.

LITERATURA

- [1] D. Ivanović, I. Dimković, Z. Bojković, „MPEG-4 audio/video komunikacija: optimizacija implementacije i modeli licenciranja“, *Telfor*, Beograd, novembar 2002.
- [2] A. Samčović „*Multimedijalne komunikacije*“, Saobraćajni fakultet, Srbija, Beograd, 2015.
- [3] Yun Q. Shi, Hui Fang Sun, “*Image and video compression for multimedia engineering*”, US, Taylor and Francis Group, second edition, 2008.
- [4] Y. J. Chen, Y. J. Lin, S. L. Hsieh, “Analysis of Video Quality Variation with Different Bit Rates of H.264 Compression” *Journal of Computer and Communications* No. 4, 32-40, May 2016
- [5] M. T. Pourazad, C. Doutre, M. Azimi, P. Nasiopoulos, “HEVC: The New Gold Standard for Video Compression” *IEEE Consumer Electronics Magazine*, July 2012, pp 36 – 46
- [6] T. K. Tan, R. Weerakkody, M. Mrak, N. Ramzan, V. Baroncini, J. R. Ohm, G. Sullivan, “Video Quality Evaluation Methodology and Verification Testing of HEVC Compression Performance” *IEEE Transactions on Circuits and System for Video Technology*, vol. 26, No. 1, January 2016
- [7] G. J. Sullivan, W. J. Han, T. Wiegand “Overview of the High Efficiency Video Coding (HEVC) Standard” *IEEE Transactions On Circuits And System For Video Technology* vol. 22. No. 12, December 2012
- [8] S. Winkler „*Digital video quality*“, John Wiley and Sons, Chichester England, 2005.
- [9] <https://www.youtube.com/watch?v=EA7pBTGdySc>
- [10] <http://www.elecard.com/en/products/end-user-software/conversion/converter-studio.html>
- [11] <http://ffmpeg.org>
- [12] <https://handbrake.fr/>
- [13] http://www.compression.ru/video/quality_measure/video_measurement_tool.html

ABSTRACT

This paper is showing a comparison of three different video compression standards: H.265, H.264 and MPEG-4. The video content is analyzed by software tools for converting, such as *HandBrake* and software *Elecard Converter Studio Demo*, and also by software tool for analyzing the quality of video content *MSU Video Quality Measurement Tool*.

COMPARATIVE ANALYSIS OF MPEG-4, H.264/AVC AND H.265/HEVC STANDARDS

Nikola Tosic, Andreja Samcovic, Nikola Stojkovic, Snezana Mladenovic, Sladjana Jankovic