

# Analiza profila H.264/AVC koda na kvalitet ekstrahovanog vodenog žiga

Zoran Veličković  
Visoka tehnička škola strukovnih studija  
Niš, Srbija  
zoran.velickovic@vtsnis.edu.rs

Milojko Jevtović  
Inženjerska akademija Srbije  
Beograd, Srbija  
wmben.jkfwAqou/st

*Sadržaj*— Potreba zaštite autorskih prava nad video sadržajem postaje sve izraženija na Internetu. Jedan od načina zaštite autorskih prava je ugradnja nevidljive informacije - vodenog žiga u sam video sadržaj. Obzirom da proces video kodovanja dovodi do degradacije vodenog žiga, u ovom radu je analiziran uticaj Main i High kodnih profila H.264 koda na kvalitet ekstrahovanog vodenog žiga. U cilju popravke kvaliteta ekstrahovanog vodenog žiga iz videa predstavljen je originalni algoritam nezavisan od izabranog kodnog profila. Dobijeni rezultati su komparirani na bazi vrednosti objektivnog SSIM parametra, koji je iznosio 0.64036 za vodeni žig ekstrahovan iz videa kodovanog High profilom, odnosno, 0.56417 za video kodovan Main profilom. Primena High profila H.264 koda daje bolji kvalitet ekstrahovanog vodenog žiga za 13.5% u odnosu na Main profil.

*Ključne riječi* - Digital multimedia, Watermark, H.264/AVC, SVD, SSIM

## I. UVOD

Razmena digitalnih multimedijalnih sadržaja na Internetu doživljava enormni rast i postaje dominantni oblik mrežnog saobraćaja [1]. Činjenica da multimedijalne aplikacije zauzimaju značajan deo raspoloživog mrežnog protoka, imaće negativan uticaj na komunikacione usluge koje se pružaju drugim aplikacijama. Ovo je posebno izraženo kod bežičnih komunikacija usled varijabilnih karakteristika ovog prenosnog medijuma. Tako, može doći do ograničenja ili čak zabrane pristupa aplikacionim podacima [2]. Usporeno dobavljanje podataka negativno utiče na čovekovu percepciju i zadovoljstvo radom mrežnih aplikacija. Kašnjenje aplikacionih podataka ima presudni uticaj na lošu percepciju korisnika naročito kod multimedijalnih aplikacija. Od kvaliteta rešenja ovog problema zavisice i zadovoljstvo korisnika multimedijalnim aplikacijama. Rešenja ovog problema se mogu tražiti u hardverskim i/ili softverskim unapređenjima mrežnih i/ili terminalnih uređaja. Jedno od rešenja je da se savremeni mobilni terminalni uređaji dizajniraju da podrže specifične mobilne komunikacione protokole i mreže [3] čime se obezbeđuje značajani mrežni protok neophodan za razmenu multimedijalnih sadržaja u realnom vremenu. Drugi način za poboljšanje karakteristika multimedijalnih aplikacija je smanjenje količine podataka koji se razmenjuju. Unapređenje algoritama za kompresiju multimedijalnih sadržaja ima presudan uticaj na zahtevani mrežni protok. U tu svrhu razvijen je čitav niz algoritama specifičnih za odgovarajući

multimedijalni sadržaj. U ovom radu se razmatraju kompresioni algoritmi specifični za video sadržaj, mada se rezultati mogu primeniti na većinu multimedijalnih sadržaja. Kompresioni video algoritmi se zasnivaju na nesavršenosti ljudskog vizuelnog sistema HVS (engl. *Human Visual System*). H.264/AVC je jedan od najpopularnijih video standarda za kodovanje video sadržaja [4] koj je razmatran u ovom radu.

Obezbeđivanje izuzetnih komunikacionih mogućnosti mobilnih uređaja, kao i laka dostupnost multimedijalnih sadržaja, proizveli su čitav niz novih problema. Ovde se u prvom redu misli na ostvarivanje vlasničkih prava nad lako dostupnim multimedijalnim sadržajem. Činjenica da se kopiranjem digitalnih multimedijalnih sadržaja ne gubi na kvalitetu, povećale su mogućnost pravljenja nelegalnih kopija i njihove nelegalne distribucije. Nelegalno kopiranje i distribucija multimedijalnih sadržaja su posebno izraženi u muzičkoj i filmskoj industriju. Na nelegalno filmsko tržište otpada oko 35.2% ukupno piratizovanih multimedijalnih sadržaja [5].

U cilju sprečavanja nelegalnog kopiranja i distribucije multimedijalnog sadržaja razvijene su brojne metode zasnovane na hardverskim i/ili softverskim rešenjima [6]. Za zaštitu od nelegalnog kopiranja multimedijalnog sadržaja u primeni su razne vrste kriptografskih metoda kao i tehnike ugrađivanja vodenog žiga u sam sadržaj. Dok se kriptografske metode koriste za zaštitu multimedijalnog sadržaja prilikom prenosa kroz komunikacioni kanal, tehnike vodenog žiga se pored ostalog koriste i u zaštiti vlasništva, praćenju formiranja digitalnih kopija, kontroli pristupa i slično. Za razliku od poslovnih aplikacija koje su netolerantne na gubljenje paketa (a tolerantne na kašnjenje paketa), multimedijalne aplikacije mogu tolerisati izvesnu količinu nedostajućih paketa (ali su netolerantne na kašnjenje paketa). Zapravo, ovo znači da u multimedijalnim aplikacijama paket koji je stigao do primaoca sa zakašnjenjem nema upotrebnu vrednost i mora se odbaciti. Ovo odbacivanje paketa u multimedijalnim komunikacijama se ne mora nužno manifestovati u primetnoj degradaciji multimedijalnog sadržaja. Ideja da se u multimedijalnim aplikacijama mogu tolerisati nedostajući paketi, inspirisana je ljudskom percepcijom multimedijalnog sadržaja HVS.

Tehnike vodenog žiga podrazumevaju ugrađivanje nevidljivih digitalnih informacija u multimedijalni sadržaj [6], [7]. Ovaj koncept se bazira na zakonskoj regulativi u borbi

protiv piraterije koji zahteva efikasano i pouzdano dokazivanje vlasništva nad multimedijalnim sadržajem. Insertovani vodeni žig treba svojim sadržajem nedvosmisleno da identifikuje vlasnika multimedijalnog sadržaja i da sve vreme bude prisutan u njemu. Ugradnja vodenog žiga ne sme da ima za posledicu vidljivu degradaciju multimedijalnog sadržaja. Pored ovog osnovnog zahteva, ugrađeni vodeni žig treba da bude robustan na prokušaj degradiranja ili njegovog uklanjanja iz multimedijalnog sadržaja. Problem nastaje u procesu kodovanja videa kada algoritmi kompresije odstranjuju redundantnost u prostornom i vremenskom domenu, čime se degradira sam video sadržaj, a time i ugrađeni vodeni žig. U real-time video aplikacijama je izuzetno važno da vodeni žig bude robustan na kompresiju i transkodovanje video sadržaja različitim bitskim brzinama.

U ovom radu je razmatran H.264/AVC koder koji poseduje čitav niz alata za formiranje kompresovanog video sadržaja [4]. Na raspolaganju su kompresioni alati H.264/AVC koda koji značajno određuju kvalitet dekodovanog videa. Posebno je istražen uticaj izabranog profila kodovanja na kvalitet ekstrahovanog vodenog žiga. Eksperimentalni rezultati ukazuju na to da izabrani profil značajno utiče na kvalitet ekstrahovanog vodenog žiga.

U drugom poglavlju je prikazan H.264/AVC koder sa svojim specifičnostima kao i skupom alata kojim se određuje profil H.264/AVC koda. U trećem poglavlju su prikazani pouzdanim algoritmi za utiskivanje i ekstrakciju vodenih žigova iz videa na bazi SVD dekompozicije. Takođe, u ovom poglavlju je prikazan algoritam za popravljavanje kvaliteta ekstrahovanog vodenog žiga bez obzira na izabrani profil. U četvrtom poglavlju su prikazani dobijeni rezultati za Main i High profile i kompariran je kvalitet ekstrahovanih žigova objektivnim parametrom SSIM. U petom poglavlju su izvedeni određeni rezultati bazirani na dobijenim rezultatima.

## II. H.264/AVC KODER/DEKODER

Po svojoj prirodi video predstavlja niz korelisanih slika u prostornom i vremenskom domenu. Algoritmi kompresije primenjeni u H.264/AVC standardu su bazirani na uklanjanju redundantnih informacija iz videa [4]. Predikcija sadržaja tekućeg frejma se obavlja na bazi jednog ili više prethodnih ili budućih frejmova koji se nazivaju referentnim frejmovima. Pouzdanost predikcije se postiže kompenzacijom pokreta između referentnog i tekućeg frejma. Tako se razlikuju frejmovi tipa I (intra), P (inter) i B (bidirectional) koji koristi jedan ili više (prethodnih ili budućih) referentnih frejmova. U H.264/AVC se definiše makroblok (MB) kao region u slici određen sa  $16 \times 16$  piksela koji predstavlja osnovnu jedinicu za kompenzaciju pokreta. Moćan mehanizam istraživanja sličnosti u tekućoj slici ili slikama koje prethode, odnosno, slede, predstavlja osnovu predikcionih modela H.264 koda. Predviđajući sadržaj pojedinih delova slike na osnovu uočenih sličnosti, moguće je formirati „rezidualni frejm“ sa znatno manje podataka. Posledica ovog pristupa može biti zanemarivanje finih detalja u frejmu što će imati negativan efekat na insertovani žig. Posledica ovog pristupa je varijabilni kvalitet videa, samim tim i izdvojenog žiga, naročito na nižim bitskim brzinama. U prethodnim radovima testirali smo

opstanak insertovanog vodenog žiga u videu kodovanom H.264/AVC koderom [8].

Da bi se omogućila primena H.264 standarda na što širem skupu uređaja (različitog kvaliteta i formata), formirani su profili (engl. *profiles*) kojima je determinisan skup alata za generisanje kompresovanog video strima. Svaki profil je predodređen za definisanu klasu aplikacija. Tako je „Baseline“ profil pogodan za video aplikacije sa malim kašnjenjem (npr. videokonferencije), uz relativno malo zahtevne hardverske resurse na prijemu, dok su „High10“ i „High444“ profili namenjeni profesionalnoj upotrebi.

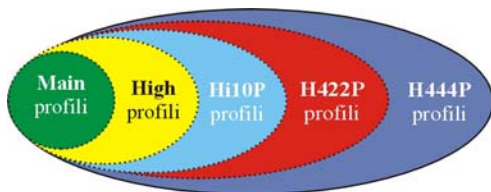
### A. Profili H.264/AVC standarda

H.264/AVC standardom je definisan veliki skup kodnih alata – profila kojima se može uticati na kodovanje video sadržaja. Svi raspoloživi kodni alati H.264/AVC standarda nisu neophodni svim vrstama uređaja i aplikacija [4]. U zavisnosti od klase uređaja, specificirani su profili koje on treba obavezno da implementira. Originalnim standardom su definisani sledeći kodni profili: Baseline (BP), Extended (XP) i Main (MP). Baseline profil uključuje I i P frejmove i neke osnovne alate za otpornost na greške FMO (engl. *Flexible Macroblock Order*), ASO (engl. *Arbitrary Slice Order*) i RS (engl. *Redundant Slices*) kao i entropijsko kodovanje CAVLC (engl. *Context-Adaptive Variable-Length Coding*). Extended profil je nadskup Baseline profila uz dodatak B, SP i SI frejmova. Otpornost na greške je unapređena formiranjem više particija podataka DP (engl. *Data Partition*) u jednom frejmu. Main profil podrazumeva I, P i B frejmove, pospešuje otpornost na greške alatima kao što su FMO, ASO, RS i DP. Baseline profil je previđen za videokonferencijne aplikacije, a Main profil za televiziju i zabavnu korisničku elektroniku.

Extended profil je efikasno primenljiv u strimovanju H.264 podataka. Iako se skupovi kodnih alata u BP, XP i MP profilima mogu primeniti u velikom broju aplikacija, oni ne mogu podržati zahtevne profesionalne aplikacije. Za profesionalnu primenu u post-produkciji i studijskom editovanju video sadržaja, moraju se formirati skupovi kodnih alata koji koriste:

- više od 8 bita (10-14 bita) za semplovanje uzoraka;
- veću rezoluciju uzorkovanja boja (4:2:2 i 4:4:4);
- korišćenje velikih bitskih brzina;
- vrlo veliku rezoluciju i slično.

Za profesionalnu upotrebu, standardna verzija H.264/AVC koda je proširena davanjem novih kodnih alata. Ovako proširena verzija je poznata pod nazivom FExt. FExt verzija H.264/AVC standarda je obogaćena novim High profilima (HP). HP podržavaju veću rezoluciju videa bez izmene šeme uzorkovanja. Profil sa oznakom *High 10* (Hi10P) podržava 4:2:0 šemu uzorkovanja sa 10 bitnim uzorkovanjem. Profil H422P podržava 4:2:2 šemu uzorkovanja sa 10-bitnim uzorkovanjem. H444P profil podržava 4:4:4 šemu uzorkovanja sa 12-bitnim uzorkovanjem.

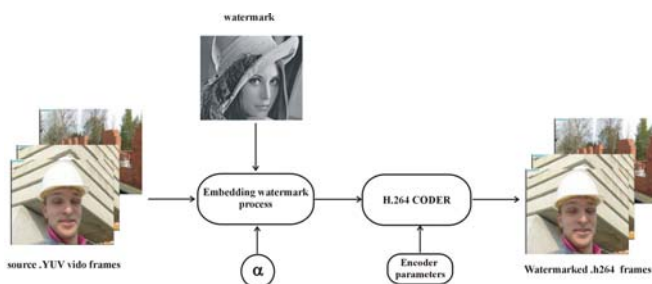


Slika 1. FRExt proširenja H.264/AVC standarda.

Na Sl. 1. je predstavljen međusobni odnos između MAIN profila i svih HIGH profila. Pored pomenutih karakteristika ovi kodni alati formiraju efikasnije kodove u odnosu na one u MP bez značajnijih dodatnih opterećenja procesora. Jasno je da High profili obuhvataju sve kodne alate koje poseduje MAIN profil, ali i poseduju specifične alate za svoju klasu. Za specifične potrebe definisano je još četiri Inta High profila koji su izvedeni iz High profila.

### III. ALGORITMI UGRADNJE/EKSTRAKCIJE VODENOG ŽIGA

U primeni su dve velike klase algoritama za ugradnju vodenih žigova u multimedijalni sadržaj. Prva klasa algoritama se bazira na insertovanju vodenog žiga u prostornom domenu (engl. *spatial domain*), dok se druga klasa algoritama zasniva na modifikovanju koeficijenata u transformacionom domenu (engl. *transform domain*). U slučaju kada se prva klasa algoritama primenjuje na slike ili video, vodeni žig je sakriven u vrednostima lumentne (engl. *luminance*) i/ili hromanentne (engl. *chrominance*) komponente prostorno raspoređenih piksela slike [7]. Algoritmi koji pripadaju ovoj klasi se relativno jednostavno realizuju ali su nedovoljno robustni pri procesiranju video signala, a posebno pri realizaciji video-kompresije. Druga klasa algoritama se bazira na modifikaciji (modulisanju) transformacionih koeficijenata videa na osnovu transformacionih koeficijenata vodenog žiga. Transformacioni koeficijenti se mogu dobiti primenom DCT-a (engl. *Discrete Cosine Transform*), FFT-a (engl. *Fast Fourier Transform*) ili SVD-a (engl. *Singular Value Decomposition*). Inverznim postupkom se iz modifikovanih (modulisanih) transformacionih koeficijenata mogu ekstrahovati insertovane informacije [8]. Na osnovu ekstrahovanih informacija formira se insertovana slika čime se dokazuje vlasništvo nad multimedijalnim sadržajem. Algoritmi ove klase imaju bolje performanse robusnosti u odnosu na vodeni žig insertovan u prostornom domenu. Na Sl. 2. prikazan je algoritam insertovanja i kodovanja videa H.264/AVC koderom.



Slika 2. Procedura ugradnje vodenog žiga i kodovanje H.264 koderom.

Pre kodovanja H.264 koderom u svaki frejm nekompresovanog videa je insertovan vodeni žig. Insertovanje vodenog žiga u video zavisi od faktora insertovanja  $\alpha$  (0,1), dok je kodni profil definisan skupom parametra H.264 koderu.

#### A. Pouzdani SVD algoritam

Za insertovanje vodenog žiga u sliku u ovom radu je korišćen algoritam baziran na SVD dekompoziciji. Ovaj algoritam predstavlja poboljšanu verziju algoritma prikazanog u [7] čime se otklanja problem lažne detekcije žiga. Primenom ovog algoritma na svaki frejm iz nekodovane video sekvence, dobija se zaštićeni video. Ulazni, odnosno, izlazni parametri algoritma za ugradnju vodenog žiga su:

Ulaz:

- Niz matrica  $A_{m \times n}$  koje predstavljaju nekodovane frejmove video sekvence.
- Matrica  $W_{m \times n}$  koja predstavlja sliku - vodeni žig koji se ugrađuje u video.
- Faktor insertovanja  $\alpha$ .

Izlaz:

- Video sa ugrađenim vodenim žigom predstavljen nizom matrica  $A_{w_{m \times n}}$ .

Algoritam ugradnje vodenog žiga u jedan frejm videa je prikazan u četiri I koraka:

**Korak I<sub>1</sub>:** SVD dekompozicija matrice frejma  $A$ :

$$A = USV^T, \quad (1)$$

gde je  $A$  originalni frejm,  $U$  i  $V$  ortogonalne matrice dimenzija  $m \times m$  i  $n \times n$ , respektivno,  $S$  dijagonalna matrica dimenzija  $m \times n$  sa elementima koji predstavljaju singularne vrednosti. Kolone matrice  $U$  nazivaju se levi singularni vektori, dok su kolone matrice  $V$  desni singularni vektori. Singularni vektori specificiraju geometriju slike dok singularne vrednosti specificiraju luminansu (energiju) slike.

**Korak I<sub>2</sub>:** SVD dekompozicija matrice žiga:

$$W = U_w S_w V_w^T = A_{wa} V_w^T. \quad (2)$$

**Korak I<sub>3</sub>:** Insertovanje *principal* komponente  $A_{wa}$  u dijagonalnu matricu  $S$  sa koeficijentom utiskivanja  $\alpha$ :

$$S_1 = S + \alpha A_{wa}. \quad (3)$$

**Korak I<sub>4</sub>:** Formiranje slike sa vodenim žigom:

$$A_w = US_1 V^T. \quad (4)$$

Ekstrakcija vodenog žiga iz slike  $A_w^*$  koja se potencijalno, zbog superponiranih šumova razlikuje od  $A_w$ , realizuje se algoritmom koji se sastoji od tri E koraka :

Ulaz:

- Video sa insertovanim žigom, niz matrica  $A_w^*$ ,
- Originalni video, niz matrica  $A$ ,
- Faktor insertovanja  $\alpha$ .

Izlaz:

- Ekstrahovani vodeni žig  $W^*$ .

**Korak E<sub>1</sub>:** Formiranje razlike originalog i frejma sa žigom:

$$(A_w^* - A) = A_1 \quad (5)$$

**Korak E<sub>2</sub>:** Određivanje *principal* komponente:

$$A_{wa}^* = \frac{\left( U^{-1} A_1 (V^T)^{-1} \right)}{\alpha} \quad (6)$$

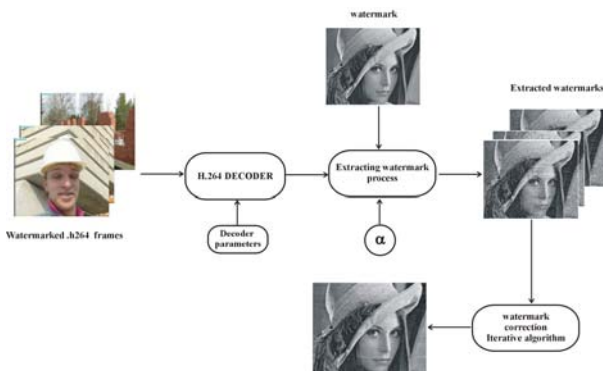
**Korak E<sub>3</sub>:** Određivanje vodenog žiga W\* na sledeći način:

$$W^* = A_{wa}^* V_w^T \quad (7)$$

Na Sl. 2. prikazane su dve procedure koje se odvijaju u predajniku komunikacionog kanala. Na levoj strani slike Sl. 2. prikazana je procedura ugradnje vodenog žiga u nekodovan video strim, dok se na desnoj strani nalazi procedura kodovanja zaštićenog video strima H.264/AVC koderom. Argumenti procedure insertovanja vodenog žiga su faktor utiskivanja  $\alpha$ , slika žiga  $W$  i video striming  $A$ . Na Sl. 3. su prikazane tri procedure koje se obavljaju u prijemniku komunikacionog kanala. Prijemnik mora da obavi inverzne procedure od onih obavljenih na predajniku. Na levoj strani slike Sl. 3. prikazana je procedura dekodovanja video strima H.264 dekoderom, dok je na desnoj strani prikazana procedura ekstrakcije vodenoje žiga uz primenu iterativni algoritam poboljšanja kvaliteta žiga. Kada se iz svakog frejma ekstrahuje ugrađeni vodeni žig dobija se niz vodenih žigova koji je osnova algoritma za unapređenje kvaliteta vodenog žiga prikazanog u nastavku. Primenom algoritma za poboljšanje kvaliteta ekstrahovanog vodenog žiga [8] može se jednoznačno utvrditi vlasništvo nad video sadržajem.

#### B. Algoritam za unapređenje kvaliteta vodenog žiga

Zbog varijabilnog kvaliteta ekstrahovanog vodenog žiga, u nekim situacijama je neophodno primeniti procedure za popravku kvaliteta video žiga [8]. Algoritmu za poboljšanje kvaliteta vodenog žiga je na raspolaganju veliki broj žigova sa promenljivim kvalitetom. Osnovna ideja iterativnog algoritma za popravku kvaliteta ekstrahovanog žiga se sastoji u usrednjavanju luminiscentne komponente video žiga na skupu ekstraktovanih žigova. Kao kandidati za usrednjavanje koriste se žigovi sa najvećim SSIM (engl. *Structural SIMilarity Index*) indeksom kvaliteta.



Slika 3. Procedura dekodovanja video strima i unapređenje kvaliteta insertovanog vodenog žiga.

TABELA I. OSNOVNI PARAMETRI JM H.264 PROFILA

| JM H.264 parametri    | H.264 profili |      |
|-----------------------|---------------|------|
|                       | MAIN          | HIGH |
| IntraPeriod           | 12            | 12   |
| NumberReferenceFrames | 1             | 5    |
| ProfileIDC            | 77            | 100  |
| NumberBFrames         | 1             | 7    |
| InitialQP             | 28            | 28   |
| RateControlEnable     | 0             | 0    |

SSIM indeks se određuje na sledeći način [9]:

$$SSIM = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1) \cdot (2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1) \cdot (\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)} \quad (8)$$

gde su  $\mu$ ,  $\sigma$  su srednja vrednost, odnosno, standardna devijacija (ili kovarijansa), dok su  $C_1$  i  $C_2$  dve pozitivne stabilizacione konstante. Prvo usrednjavanje luminiscentne komponente vodenog žiga se obavlja između žigova sa najvećim faktorom kvaliteta SSIM. Ako je SSIM vrednost usrednjenog vodenog žiga veća od pojedinačnih SSIM vrednosti žigova od kojih je nastao, on se prihvata kao najbolji, i dalje učestvuje u procesu usrednjavanja. Pseudo algoritam poboljšanja kvaliteta video žiga je prikazan sledećom procedurom:

1. Formira se opadajući niz žigova sa najvećim SSIM faktorima.
2. Formiranje novog video žiga od srednjih vrednosti luminiscentnih komponenti od dva vodena žiga sa najvećim SSIM parametrima.
3. Odrediti parametar SSIM za novoformirani vodeni žig.
4. Ako je SSIM novoformiranog žiga veći od SSIM-ova žigova od kojih je nastao, koristiti ga u daljim izračunavanjima, inače odbaciti ga.
5. Ako nisu obrađeni svi vodeni žigovi pređi na korak 3, inače idi na korak 6.
6. Poboljšani video žig je novoformirani – usrednjeni video žig.

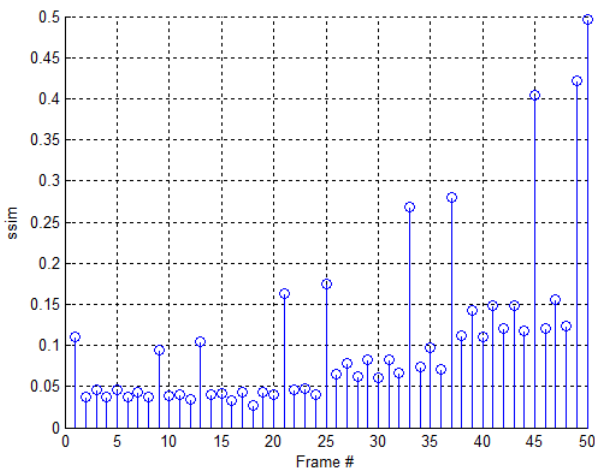
#### IV. PRIKAZ I ANALIZA REZULTATA

Kao vodeni žig u ovom radu korišćen je centralni deo slike „Lena“ u rezoluciji 352×288 piksela. U prikazanim eksperimentima analizirano je prvih 50 frejmova nekodovanog video strima „Foreman.cif“ takođe u rezoluciji 352×288 piksela. Za insertovanje vodenog žiga u sve frejmove korišćen je konstantan koeficijent utiskivanja  $\alpha=0.05$ . Kodovanje i dekodovanje video sekvenci obavljeno je JM referentnim softverom ITU-a (engl. *International Telecommunication Union*) u verziji 18.4 FRExt [10]. Kodovanje zaštićenog videa je obavljeno za dva skupa kodnih parametara kojima su definisani MAIN i HIGH kodni profili. Izabrani parametri H.264 koda ovih profila su dati u Tabeli I.

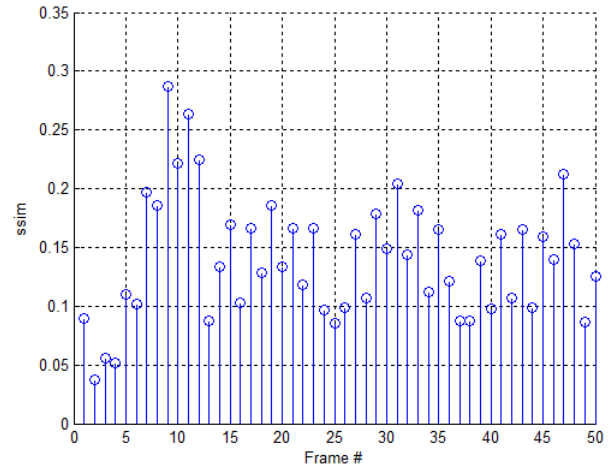


Slika 4. Prvi frejm zaštićenog videa kodovanog HIGH profilom (levo) i MAIN profilom (desno).

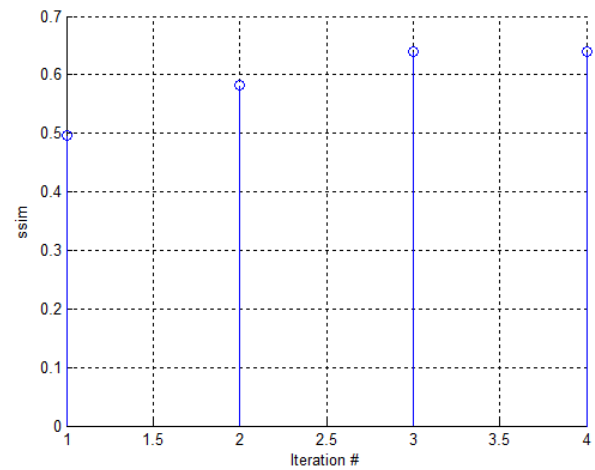
Prvi frejmovi zaštićenih videa kodovanih HIGH (levo) i MAIN (desno) profilima prikazani su na Sl. 4. Subjektivno se ne mogu uočiti značajne razlike u frejmovima kodovanim HIGH, odnosno MAIN profilom. Na Sl. 5 i Sl. 6 prikazani su izračunati SSIM parametri za svaki ekstrahovani vodeni žig iz prvih 50 frejmova kodovanog videa. Na Sl. 5 su prikazane vrednosti za vodene žigove ekstrahovane iz videa kodovanog HIGH profilom, dok su na Sl. 6 prikazane vrednosti SSIM parametra vodenih žigova za video kodovan MAIN profilom. Sa grafika na Sl. 5 i Sl. 6 se jasno može uočiti varijabilni kvalitet ekstrahovanih žigova, što je posledica različitih sadržaja frejmova. Vrednosti SSIM parametra za ekstrahovane vodene žigove iz videa kodovanog HIGH profilom su nešto veće od onih dobijenih iz videa kodovanog MAIN profilom. Maksimalna vrednost SSIM parametra za ekstrahovani žig iz videa kodovanog HIGH profilom iznosi oko 0.49, dok je maksimalna vrednost ekstrahovanog žiga iz videa kodovanog MAIN profilom 0.28. Sa Sl. 5 se može uočiti trend popravke kvaliteta žigova sa povećanjem rednog broja frejma za video kodovan HIGH profilom. Ovaj trend se ne uočava kod SSIM parametara vodenih žigova ekstrahovanih iz videa kodovanog MAIN profilom. Na Sl. 7 i Sl. 8 se može videti dinamika popravke kvaliteta ekstrahovanih vodenih žigova (povećanje SSIM parametra kroz nekoliko iteracija), primenom preporučenog iterativnog algoritma za video kodovan HIGH profilom, odnosno, MAIN profilom respektivno.



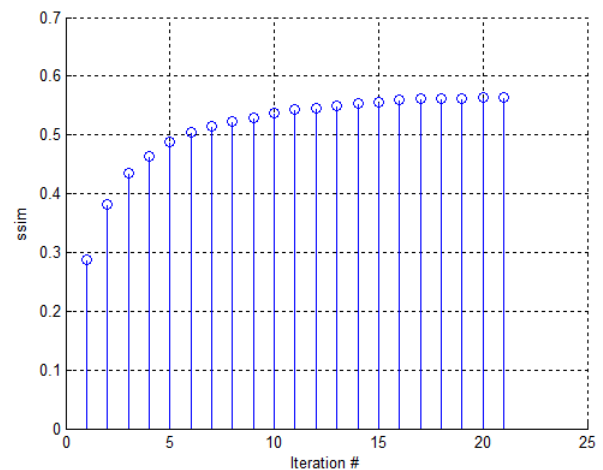
Slika 5. Vrednost SSIM parametra ekstrahovanih vodenih žigova za prvih 50 frejmova iz videa kodovanog HIGH profilom.



Slika 6. Vrednost SSIM parametra ekstrahovanih vodenih žigova za prvih 50 frejmova iz videa kodovanog MAIN profilom.



Slika 7. Iterativna popravka kvaliteta vodenog žiga iz HIGH profila.



Slika 8. Iterativna popravka kvaliteta vodenog žiga iz MAIN profila.



Prikazani iterativni algoritam popravke kvaliteta vodenog žiga je načinio 20, odnosno, samo 3 iteracije za žigove kodovane MAIN, odnosno, HIGH profilima. Na Sl. 9 i Sl. 10 su prikazani izgledi dobijenih vodenih žigova iterativnim algoritmom za popravku kvaliteta iz videa kodovanog HIGH, odnosno, MAIN profilima, respektivno. Vrednost SSIM parametra za vodeni žig ekstrahovan iz videa kodovanog HIGH profilom iznosi 0.64036, dok je vrednost SSIM parametra za vodeni žig ekstrahovan iz videa kodovanog MAIN profilom 0.56417. Evidentno je da su vrednosti SSIM parametara vodenih žigova dobijenih iterativnim algoritmom popravke najveće u odnosu na svaki pojedinačni vodeni žig. Ovaj zaključak se odnosi na oba analizirana kodna profila. Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da HIGH kodni profil H.264 koda daje bolji kvalitet ekstrahovanog vodenog žiga za 13.5% u odnosu na MAIN profil. Na osnovu dobijenih rezultata može se preporučiti kodiranje videa HIGH profilom kada je video sadržaj zaštićen vodenim žigom. Ovde treba napomenuti da je vreme potrebno za kodovanje videa HIGH profilom nekoliko puta duže od kodovanja MAIN profilom, tako da se ne preporučuje za real-time aplikacije.

Iteration #3, ssim =0.64036, DCT-SVD: Extr. watermark,  $\alpha=0.05$



Slika 9. Vodeni žig dobijen iterativnim algoritmom za popravku kvaliteta vodenog žiga iz videa kodovanog HIGH profilom.

Iteration #20, ssim =0.56417, DCT-SVD: Extr. watermark,  $\alpha=0.05$



Slika 10. Vodeni žig dobijen iterativnim algoritmom za popravku kvaliteta vodenog žiga iz videa kodovanog MAIN profilom.

## V. ZAKLJUČAK

U cilju sprečavanja nelegalnog kopiranja i distribucije video sadržaja koristi se tehnika insertovanja vodenog žiga u sam nekodovani video. U procesu kodovanja video sadržaja H.264/AVC koderom dolazi do degradacija videa, a samim tim i insertovanog vodenog žiga, što otežava njegovu ekstrakciju. U ovom radu su analizirani kodni profili koje nudi H.264/AVC koder i određene su performanse ekstrahovanih vodenih žigova u odnosu na njih. Oba analizirana kodna profila HIGH i MAIN su omogućila ekstrakciju vodenog žiga zadovoljavajućeg ali promenljivog kvaliteta. Uz pomoć iterativnog algoritma za poboljšanje kvaliteta, SSIM parametar dobijenih žigova je povećan, tako da je ostvarena objektivna popravka kvaliteta. Analizom dobijenih rezultata može se zaključiti da je HIGH profil H.264/AVC koda dao viši kvalitet ekstrahovanog vodenog žiga za oko 13.5% u odnosu na kodni profil MAIN. Cena upotrebe HIGH profila je u znatno dužem vremenu kodovanja što ga čini nepodesnim u video-komunikacijama u realnom vremenu, ali izuzetno pogodnim u video strimingu ili videu na zahtev.

## LITERATURA

- [1] Cai, Lin, Xuemin Shen, Jon W. Mark, Multimedia services in wireless internet: modeling and analysis, Vol. 15. John Wiley & Sons, 2009.
- [2] Z. Veličković, M. Jevtović, V. Pavlović, "Cross-layer Throughput Optimization in Slow Wireless Fading Channel", International Journal Elektronika Ir Electrotehnika, Vol. 19, No 6, pp. 131-137, 2013.
- [3] M. Jevtović, Z. Veličković, "Protokoli prepletenih slojeva", Akademska misao, Beograd, 2012.
- [4] ITU-T, Recommendation H.264, Advanced Video Coding for Generic Audiovisual Services. Technical report, ITU-T, 2011.
- [5] <http://www.go-gulf.com/blog/online-piracy/>
- [6] Z. Shahid, M. Chaumont, W. Puech, "Considering the reconstruction loop for data hiding of intra and inter frames of H.264/AVC", Signal, Image and Video Processing, Vol. 7, pp. 75-93, 2013.
- [7] C. Jain, S. Arora, P. Panigrahi, "A Reliable SVD based Watermarking Scheme", Journal CoRR, vol. abs/0808.0309, 2008.
- [8] Z. Veličković, Z. Milivojević, M. Jevtović, „Iterative Algorithm for improvements of the quality of the watermark in the H.264 encoded video“, Vol. 2, pp. 112-117, UNITECH, 2014.
- [9] Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh, E. P. Simoncelli, Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity, IEEE Trans. on Image. Proc., Vol. 13, No. 4, 2004.
- [10] JM reference software version 16.0, <http://iphome.hhi.de/suehring/tml/>, July 2009.

## ABSTRACT

In this work, the performance of a coding profiles that offers H.264/AVC encoder in relation to the quality of the extracted watermarks are analyzed. Both analyzed profiles HIGH and MAIN are enable the extraction of the watermark with satisfactory but variable quality. With the help of an iterative algorithm to improve the quality of marks obtained SSIM parameter is increased, so that there was an objective quality repair. The analysis of the obtained results it can be concluded that the HIGH profile H.264 / AVC encoder gave a higher quality of the extracted watermark by about 13.5% compared to the MAIN character profile.

## ANALYSIS PROFILES OF H.264/AVC CODER TO THE QUALITY OF THE EXTRACTED WATERMARK

Zoran Veličković, Miloško Jevtović

