

Zaštita video sadržaja vodenim žigom kriptovanim multistage Arnoldovom transformacijom

Zoran Veličković, Zoran Milivojević

Visoka tehnička škola strukovnih studija
Niš, Srbija

[zoran.velickovic, zoran.milivojevic]@vtsnis.edu.rs

Milojko Jevtović

Inženjerska akademija Srbije
Beograd, Srbija

vladmijev@ptt.rs

Sadržaj — Zaštita multimedijalnih sadržaja od kopiranja i nelegalne distribucije na Internetu postaje imperativ. U ovom radu je korišćena tehnika insertovanja šifrovanog vodenog žiga u nekodovani video sadržaj. Šifrovanje vodenog žiga je obavljeno primenom multistage Arnoldove transformacije, a njegovo insertovanje u video sadržaj pouzdanim SVD algoritmom u transformacionom domenu. Za unapređenje kvaliteta ekstrahovanog vodenog žiga primenjen je napredni algoritam čime je ostvaren SSIM indeks od 0.6765. Nedostatak primene multistage Arnoldove transformacije može se naći u dodatnom zahtevu za procesorskim vremenom neophodnim za obradu frejma. Rezultati dobijeni kroz prikazani primer opravdavaju primenu multistage Arnoldove transformacije za zaštitu videa od kopiranja i zaštitu autorskih prava.

Ključne riječi – *Multistage Arnold transformation; Watermark; H.264/AVC; SVD; SSIM.*

I. UVOD

Razmena multimedijalnih sadržaja na Internetu zahteva obezbeđivanje značajnih mrežnih resursa. Specifičnost razmene multimedijalnih sadržaja se ogleda u zauzimanju najvećeg dela raspoloživog mrežnog protoka, kao i obezbeđivanju minimalnog kašnjenja i minimalne varijacije kašnjenja paketa kroz mrežu. Pomenute mrežne resurse je često teško obezbediti i u žičnim mrežama, dok je njihovo obezbeđivanje u bežičnim mrežama skopčano sa nizom novih problema. Za obezbeđenje mrežnih resursa u bežičnim mrežama primenjuju se savremeni komunikacioni protokoli prepletenih slojeva (engl. *Cross-Layer*). Kada su savremene mrežne tehnologije uspele da obezbede zahtevne mrežne resurse, razmena digitalnih multimedijalnih sadržaja je postala dominantni oblik saobraćaja na Internetu [1]. Pored tehničkog aspekta, još neke karakteristike savremenih multimedijalnih komunikacija i aplikacija su uticale na ovu činjenicu. Jedna od osnovnih karakteristika savremenih digitalnih multimedijalnih sadržaja je njihova laka dostupnost. Druga značajna karakteristika je činjenica, da se za razliku od analognih, pri kopiranju digitalnog multimedijalnog sadržaja ne gubi na kvalitetu. Navedene karakteristike su imale za posledicu dramatično povećanje rizika od nelegalnog kopiranja i distribucije multimedijalnih sadržaja. Nelegalno kopiranje i distribucija multimedijalnih sadržaja su posebno izraženi u muzičkoj i filmskoj industriji. Na nelegalno filmsko tržište otpada oko 35.2% ukupno piratizovanih multimedijalnih sadržaja. Finansijski gubici kao posledica piraterije mere se

milijardama dolara [2]. U uslovima lake dostupnosti značaj zaštite autorskih prava nad multimedijalnim sadržajem se stavlja u prvi plan i postaje predmet interesovanja mnogobrojnih naučno-istraživačkih studija.

Za zaštitu od kopiranja digitalnih multimedijalnih sadržaja mogu se primeniti standardne kriptografske tehnike, ali su za praktičnu primenu mnogo efikasnije metode bazirane na insertovanju vodenog žiga u sam multimedijalni sadržaj [3]-[9]. Dobra osobina multimedijalnih aplikacija da su u izvesnoj meri tolerantne na gubitke paketa, predstavlja zapravo otežavajuću okolnost za primenu standardnih kriptografskih metoda. Kriptografske tehnologije zasnovane na infrastrukturi javnog ključa PKI (engl. *Public Key Infrastructure*) se zbog toga veoma retko koriste u real-time multimedijalnim Web aplikacijama.

U ovom radu je razmatrana ugradnja kriptovanog vodenog žiga u video u cilju zaštite od kopiranja i dokazivanja vlasništva nad multimedijalnim sadržajem [3]. Tehnike vodenog žiga podrazumevaju ugrađivanje nevidljivih digitalnih slika u digitalni multimedijalni video sadržaj. Ovaj koncept zaštite autorskih prava je omogućen zakonskom regulativom u borbi protiv piraterije koji podrazumeva efikasnu i pouzdanu ekstrakciju vodenog žiga iz samog multimedijalnog sadržaja. Ekstrahovani vodeni žig treba svojim sadržajem i izgledom da odgovara insertovanom vodenom žigu i da nedvosmisleno identifikuje autora, odnosno, vlasnika multimedijalnog sadržaja. Jačina utiskivanja vodenog žiga u video se može regulisati faktorom insertovanja čija vrednost treba da izazove neprimetne artefakte u videu.

Samo poznavanje sadržaja insertovanog vodenog žiga može imati negativni uticaj na bezbednost metoda insertovanja, odnosno, ekstrakcije vodenog žiga. U cilju zaštite sadržaja vodenog žiga koristi se tehnika bazirana na primeni invertibilnih haotičnih mapa (engl. *Chaotic Maps*) [3]-[7]. U ovom radu je predložena primena višestrukih (engl. *multistage*) dvodimenzionih invertibilnih haotičnih mapa (engl. *Chaotic Maps*), tako da se umesto direktnog insertovanja originalnog sadržaja vodenog žiga, u svaki frejm videa insertuje žig višestruko transformisan nekom od haotičnih mapa [3]. Za dobijanje originalnog vodenog žiga iz transformacionog domena korišćena je inverzna multistage Arnoldova transformacija za čiju primenu je neophodno poznavati transformacione parametre, kao i sve početne uslove na koje su haotične mape izuzetno osetljive. Proces kodovanja videa

spada u klasu kompresije sa gubicima, što ima negativne posledice kako na sam kvalitet videa, tako i na kvalitet insertovanog vodenog žiga. Algoritmi kompresije video sadržaja se baziraju na istraživanju sličnosti video frejmova u prostornom i vremenskom domenu, tako da može doći do zanemarivanja sadržaja slabo utisnutog vodenog žiga. Ova činjenica nameće potrebu za popravkom kvaliteta ekstrahovanog vodenog žiga iz videa [8]. U ovom radu je primenjen napredni algoritam za popravku kvaliteta ekstrahovanog vodenog žiga iz kodovanog videa [9].

U drugom poglavlju je razmatrana primena Arnoldove haotične 2D mape za šifrovanje sadržaja vodenog žiga. Predložena je originalna Arnoldova multistage transformacija u cilju zaštite sadržaja vodenog žiga. U trećem poglavlju su opisane metode za insertovanje, ekstrakciju i popravku kvaliteta vodenog žiga ekstrahovanog iz dekodovanog videa. U četvrtom poglavlju je prikazana primena predloženog algoritma za zaštitu videa kodovanog H.264 koderom i prikazani su dobijeni rezultati. U petom poglavlju su izvedeni odgovarajući zaključci na bazi sprovedenih ispitivanja.

II. ARNOLDOVA TRANSFORMACIJA

Kriptografske tehnike zasnovane na dvodimenzionalnim (2D) haotičnim mapama su deterministički sistemi slični nelinearnim sistemima čije ponašanje je veoma zavisno od početnih uslova. Posledica ovakvog ponašanja je da mala varijacija početnih uslova u transformacionoj mapi drastično menja ponašanje sistema. Ova karakteristika je izuzetno eksploatisana u sistemima kriptografske zaštite. Osnovna ideja haotičnih 2D mapa je da se izvrši relokacija piksela originalne slike u cilju prostorne dekorelacije susednih piksela. U kodovanju slike, pa i videa, Arnoldova transformacija ima nepovoljni uticaj na stepen kompresije jer se broj transformacionih koeficijenata uvećava, što ima za posledicu snižavanje efikasnosti kompresionog algoritma. Međutim, sa stanovišta insertovanja vodenog žiga u video frejmove, ova posledica ima svojih prednosti. Naime, povećani broj transformacionih koeficijenata vodenog žiga povećava broj modulisanih koeficijenata slike domaćina (engl. *Host image*) čime se „raspršivanje“ piksela vodenog žiga obavlja na veći broj piksela slike domaćina.

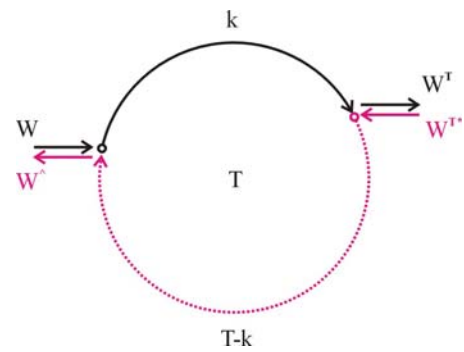
A. Arnoldova transformacija

U procesiranju slika najčešće se koristi invertibilna Arnoldova transformacija čiji je generalizovani oblik [4], [8], [9] dat jednačinama (1) i (2).

$$\begin{bmatrix} x_{n+1} \\ y_{n+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & b \\ a & ab+1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_n \\ y_n \end{bmatrix} \bmod N \quad (1)$$

$$x_n, y_n \in [0, 1, 2, \dots, N-1] \times [0, 1, 2, \dots, N-1] \quad (2)$$

Uređeni parovi (x_n, y_n) i (x_{n+1}, y_{n+1}) predstavljaju koordinate piksela slike (u našem slučaju vodenog žiga) pre i posle



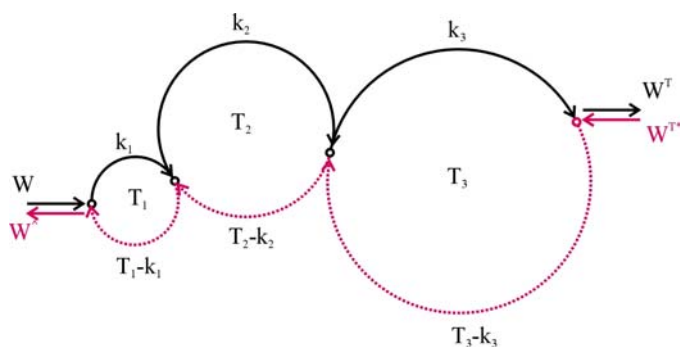
Slika 1. Arnoldova transformacija sa k uzastopnih transformacija (puna linija) i inverzna Arnoldova transformacija sa $T-k$ uzastopnih transformacija (isprekidana linija).

transformacije respektivno. Oznake a i b su pozitivni celi brojevi koji predstavljaju poznate (zadate) parametre Arnoldove transformacije. Treba primetiti da je prema definiciji determinanta transformacione matrice jednaka 1 čime je transformacioni prostor očuvan. Parametar N predstavlja dimenziju kvadratne slike (žiga) u pikselima. Osnovni benefit Arnoldove transformacije je praktično šifrovanje vodenog žiga tako da njegova sadržina oku posmatrača nije prepoznatljiva i smisljena. Druga važna osobina Arnoldove transformacije je da ona poseduje cikličnost, odnosno, da se posle T iteracija Arnoldove transformacije dobija početna slika, u našem slučaju originalni vodeni žig. Period T zavisi od parametara transformacije N , a i b ali ne postoji generalizovana analitička metoda za njegovo izračunavanje. Određivanje perioda T se obično obavlja praktično, uzastopnim primenama Arnoldove transformacije i analizom dobijenog rezultata. Ako je Arnoldova transformacija primenjena k puta, originalna slika se dobija inverznom Arnoldovom transformacijom (daljom primenom Arnoldove transformacije $T-k$ puta). Na sl. 1 su prikazane osnovne karakteristike generalizovane Arnoldove transformacije. Originalni vodeni žig je označen sa W , dok je transformisani vodeni žig označen sa W^T . Perioda Arnoldove transformacije je označena sa T , a broj uzastopnih Arnoldovih transformacija do dobijanja transformisanog žiga označen sa k (puna linija). Za dobijanje originalnog vodenog žiga od transformisanog, treba obaviti inverznu Arnoldovu transformaciju (još $T-k$ uzastopnih Arnoldovih transformacija), koja je prikazana isprekidanom linijom na sl. 1.

B. Multistage Arnoldova transformacija

Osnovna ideja multistage Arnoldove transformacije se zasniva na uzastopnoj primeni više Arnoldovih transformacija (etapa) sa različitim parametrima [3]. Transformacioni parametri i -te etape a_i, b_i , broj uzastopnih transformacija etape k_i kao i periode Arnoldove transformacija etape T_i zapravo predstavljaju ključeve za šifrovanje, odnosno, dešifrovanje vodenog žiga. Jasno je da sa povećanjem broja etapa kod multistage Arnoldove transformacije raste i broj parametara kojima se eksponencijalno povećava transformacioni prostor, a time i prostor pretraživanja.

Na sl. 2 je prikazana multistage Arnoldova transformacija od tri etape koja je primenjena u evaluacionoj sekciji ovog rada. Sa sl. 2 se može uočiti da su primenjene tri etape - različite Arnoldove transformacije u nizu. Prva etapa ima



Slika 2. Primer multistage Arnoldove transformacije od tri etape primenjene u radu sa sledećim parametrima: $k_1=8$, $T_1=24$, $k_2=31$, $T_2=48$, $k_3=12$, $T_3=96$.

periodu $T_1=24$, druga $T_2=48$ a treća $T_3=96$. Broj uzastopnih transformacija prve etape je $k_1=8$, druge etape $k_2=31$ i treće etape $k_3=12$. Na primeru sa sl. 2 izlaz iz treće etape dobija se transformisani vodeni žig koji će se kasnije insertovati u svaki frejm nekodovanog videa.

Na sl. 3 prikazan je pseudo-kod algoritma koji vrši šifrovanje originalnog vodenog žiga primenom multistage Arnoldove transformacije. Izlaz iz ovog algoritma je višestruko šifrovani vodeni žig. Poznavanje parametara svake etape multistage Arnoldove transformacije je neophodno za dešifrovanje ekstrahovanog vodenog žiga iz videa. Pseudo-kod inverznog algoritma za dešifrovanje vodenog žiga je prikazan na sl. 4. Treba primetiti da je za razliku od prethodnog algoritma sa sl. 3. potrebno poznavati dodatni parametar – T_i periodu svake etape multistage Arnoldove transformacije.

```

Set      W-Originalni vodeni žig (matrica  $N \times N$ )
         I-Broj etape multistage Arnold transformacije;
          $a_i, b_i$ -Parametri  $i$ -te etape  $1 \leq i \leq I$ ;
          $k_i$ -Broj iteracije  $i$ -te etape  $1 \leq i \leq I$ ;  $1 \leq k_i \leq T_i$ ;
for      i = 1 do I
  for    k = 1 do  $k_i$ 
    W=Arnold(W,  $a_i, b_i$ )
  end
end
end

```

Slika 3. Pseudo-kod za realizaciju multistage Arnoldove transformacije.

```

Set      W-Vodeni žig u transformacionom domenu (matrica  $N \times N$ )
         I-Broj etape multistage Arnold transformacije;
          $a_i, b_i$ -Parametri  $i$ -te etape  $1 < i < I$ ;
          $k_i$ -Broj iteracije  $i$ -te etape  $1 \leq i \leq I$ ;  $1 \leq k_i \leq T_i$ ;
          $T_i$ -Perioda  $i$ -te Arnold transformacije
for      i = I to 1
  for    k =  $T_i - k_i$  do 1
    W=Arnold(W,  $a_i, b_i$ )
  end
end
end

```

Slika 4. Pseudo-kod za realizaciju inverzne multistage Arnoldove transformacije.

III. ALGORITMI ZA INSERTOVANJE, EKSTRAKCIJU I POPRAVKU VODENOG ŽIGA

U primeni su dve velike klase algoritama za ugradnju vodenih žigova u video sadržaj. Prva klasa algoritama insertuje vodeni žig u nekodovanom domenu videa, dok druga klasa insertuje vodeni žig u kompresionom domenu videa. Jasno je da se druga klasa algoritama ne može univerzalno primeniti jer zahteva poznavanja primenjene kompresione tehnike. Drugi nedostatak koji se vezuje za ovu klasu algoritama je da se posle ekstrakcije vodenog žiga sam video ostaje nezaštićen. Kasnije se nezaštićeni video može prekodovati ili mu se može insertovati drugi vodeni žig. Ovo su samo neki od razloga zbog kojih je u ovom radu korišćen algoritam za insertovanje vodenog žiga u nekodovanom domenu.

U okviru klase algoritama koji insertuju vodeni žig u nekodovanom domenu mogu se identifikovati takođe dva bazična principa. Jedan bazični princip se zasniva na insertovanju vodenog žiga u prostornom domenu (engl. *spatial domain*), dok se drugi princip zasniva na modifikovanju koeficijenata u transformacionom domenu (engl. *transform domain*). U slučaju kada se prvi princip primenjuje na video, vodeni žig je sakriven u vrednostima lumentne komponente prostorno raspoređenih piksela slike. Drugi princip se bazira na modifikaciji (modulisanju) transformacionih koeficijenata video sadržaja na osnovu transformacionih koeficijenata vodenog žiga. Transformacioni koeficijenti se mogu odrediti 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 transformacionih koeficijenata mogu ekstrahovati insertovane informacije. Na osnovu ekstrahovanih informacija se formira insertovana slika čime se dokazuje vlasništvo nad multimedijalnim sadržajem [8], [9].

Posle insertovanja transformisanog vodenog u žiga svaki frejm nekompresovanog videa on se u ovom radu koduje H.264 koderom [10]. Insertovanje vodenog žiga u nekodovane frejmove je obavljeno pouzdanim SVD algoritmom koji je prikazan u nastavku. Insertovanje vodenog žiga u video se kontroliše putem faktora utiskivanja α (0,1), dok se kodni profil definiše skupom parametra H.264 koda.

A. Pouzdani SVD algoritam insertovanja vodenog žiga

Za insertovanje kriptovanog vodenog žiga u nekodovani video u ovom radu je korišćen algoritam baziran na SVD dekompoziciji koji otklanja problem lažne detekcije žiga [9]. Primenom ovog algoritma insertovanja 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 utiskivanja $0 < \alpha \leq 1$.

Izlaz:

- Niz matrica $A_{w_{m \times n}}$ koje predstavljaju zaštićeni video.

Detalji modifikovanog algoritma ugradnje i ekstrakcije vodenog žiga iz frejma su opisani u [8], [9].

B. Napredni algoritam poboljšanja vodenog žiga

Varijacije kvaliteta dekodovanog videa su posledice varijabilnog multimedijalnog sadržaja, numeričkih zaokruživanja u algoritmima ugradnje vodenog žiga kao i smetnji nastalih na prenosnom putu. Posledica varijabilnog kvaliteta videa je i varijabilni kvalitet ekstrahovanog vodenog žiga, tako da je u nekim situacijama neophodno primeniti algoritme za popravku kvaliteta ekstrahovanog vodenog žiga [8]. Algoritmima za poboljšanje kvaliteta vodenog žiga je na raspolaganju veliki broj žigova relativno lošeg kvaliteta. Osnovna ideja iterativnog algoritma za popravku kvaliteta ekstrahovanog žiga se sastoji u usrednjavanju luminiscentne komponente vodenih žigova na odabranom podskupu ekstrahovanih žigova. Kao kandidati za usrednjavanje koriste se žigovi sa najvećim SSIM (engl. *Structural SIMilarity Index*) indeksom kvaliteta. SSIM indeks se određuje na sledeći način:

$$SSIM = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1) \cdot (2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1) \cdot (\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)}, \quad (1)$$

gde su μ , σ srednja vrednost, odnosno, standardna devijacija luminiscencije originalnog (x), odnosno, ekstrahovanog žiga (y), dok su C_1 i C_2 pozitivne stabilizacione konstante (2):

$$C_1 = (0.01 \cdot L)^2, \quad C_2 = (0.03 \cdot L)^2, \quad L = 255. \quad (2)$$

Prvo usrednjavanje luminiscentne komponente vodenog žiga se obavlja između žigova sa najvećim faktorom kvaliteta SSIM. Ako je vrednost SSIM-a dobijenog žiga veća od vodenog žiga sa najvećim kvalitetom, tako dobijeni žig se prihvata kao najbolji, i on dalje učestvuje u procesu usrednjavanja. Pseudo algoritam poboljšanja kvaliteta video žiga je prikazan sledećom procedurom [9]:

1. Ekstrahovanje vodenih žigova iz svakog frejma kodovanog videa.
2. Određivanje SSIM indeksa svih ekstrahovanih žigova.
3. Formiranje opadajućeg niza žigova sa najvećim SSIM faktorima.
4. Kreiranje novog vodenog žiga od srednjih vrednosti luminiscentnih komponenti od dva vodena žiga sa najvećim SSIM indeksima.
5. Određivanje SSIM indeksa za novoformirani vodeni žig.
6. Ako je SSIM novoformiranog žiga veći od SSIM-ova žigova od kojih je nastao, koristiti ga u daljim izračunavanjima, inače odbaciti ga.
7. Ako nisu obrađeni svi vodeni žigovi pređi na korak 4, inače idi na korak 8.
8. Kreirani novoformirani vodeni žig je unapređenog kvaliteta.
9. Uklanjanje aditivnog šuma filtriranjem novoformiranog vodenog žiga *wiener2* filterom.

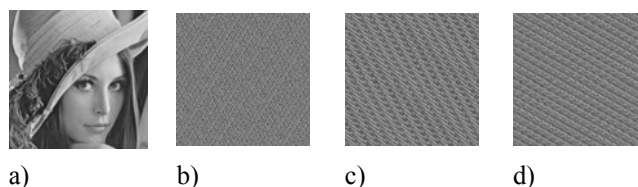
IV. PRIKAZ I ANALIZA REZULTATA

Kao vodeni žig u ovom radu korišćen je centralni deo poznate slike „Lena“ u rezoluciji 288×288 piksela. U prikazanim eksperimentima analizirano je prvih 50 frejmova nekodovanog video strima „Foreman.cif“ takođe u rezoluciji 288×288 piksela. Za insertovanje vodenog žiga u sve frejmove korišćen je konstantan faktor 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]. Kvalitet kodovanja zaštićenog videa je definisan MAIN kodnim profilom. Izabrani parametri H.264 koderu MAIN profila su:

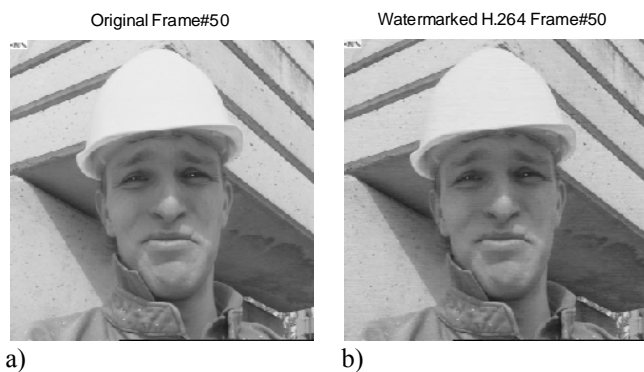
- *IntraPeriod*=12,
- *NumberReferenceFrames*=5,
- *ProfileIDC*=77,
- *NumberBFrames*=1 (*Sequence type*: IBPBP).

U cilju šifrovanja vodenog žiga, pre njegovog insertovanja u video, je primenjena multistage Arnoldova transformacija sa tri etape. Parametri primenjene multistage Arnoldove transformacije su $a_1=1$, $b_1=1$, $a_2=4$, $b_2=2$, $a_3=5$, $b_3=8$ respektivno. Detalji primenjene multistage Arnoldove transformacije i dodatni parametri za algoritam šifrovanja su prikazani na sl. 2. Izgled vodenog žiga pri prolasku kroz sve tri etape prikazan je na slici 5. Tako, na sl. 5a) je prikazan originalni vodeni žig primenjen u ovom radu. Na slici 5b) prikazan je izgled vodenog žiga posle primene Arnoldove transformacije prve etape. Na ovako dobijeni žig, shodno algoritmu prikazanom na sl. 2, primenjuje se Arnoldova transformacija druge etape. Izgled vodenog žiga posle druge etape prikazan je na slici 5c). Konačno, posle primene Arnoldove transformacije iz treće etape na vodeni žig dobijen iz druge etape, prikazan je izgled vodenog žiga na slici 5d). Upravo vodeni žig prikazan na slici 5d) se insetuje u svaki frejm nekodovane video sekvence „Foreman.cif“.

Insertovanje šifrovanog vodenog žiga u svaki frejm video sekvence obavljeno je adaptiranim pouzdanim SVD algoritmom opisanim u poglavlju III.A. Za insertovanje vodenog žiga u sve frejmove korišćen je konstantan faktor utiskivanja $\alpha=0.05$. Izabrani faktor insertovanja je kompromis između jačine insertovanog žiga i artefakata koji su njegova posledica. Izgled frejmova broj 50 iz nekodovanog videa „Foreman.cif“ a) pre i b) posle insertovanja kriptovanog vodenog žiga su prikazani na sl. 6. Sa sl. 6b) se može uočiti da ne postoje oku primetni artefakti u prikazanom frejmu posle insertovanja šifrovanog vodenog žiga multistage Arnoldovom transformacijom. Nekodovani video sa insertovanim šifrovanim vodenim žigom u ovom radu se smatra zaštićenim videom. Posle kodovanja videa pomenutim H.264 koderom u MAIN profilu dobijen je kodovani zaštićeni video.



Slika 5. Izgled vodenog žiga a) original b) posle prve etape b) posle druge etape i c) posle treće etape multistage Arnoldove transformacije.



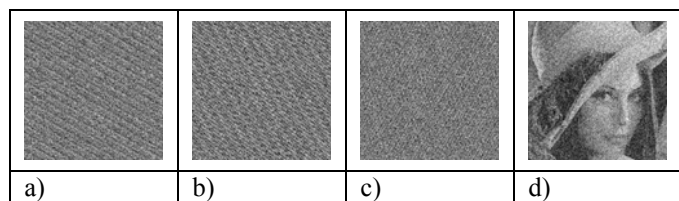
Slika 6. Izgled frejma sa rednim brojem 50 nekodovanog videa "Foreman"
 a) originalne video sekvence b) posle insertovanja vodenog žiga transformisanog multistage Arnoldovom transformacijom.

Kodovanje zaštićene video sekvence „Foreman.cif“ obavljeno je JM referentnim softverom ITU-a (engl. *International Telecommunication Union*) u verziji 18.4 FRExt, a kvalitet kodovanja zaštićenog videa je definisan MAIN kodnim profilom.

Proces ekstrakcije vodenog žiga posle dekodovanja video sekvence je opisan u poglavlju III.A, a detalji se mogu naći u [8], [9]. Dekodovanje videa je obavljeno takođe JM referentnim softverom ITU-a.

Ekstrahovani vodeni žig bi trebalo da odgovara onom koji je dobijen posle treće etape primenjene multistage Arnoldove transformacije (sl. 5d). Proces dobijanja originalnog vodenog žiga iz dekodovanog zaštićenog videa se bazira na inverznoj multistage Arnoldovoj transformaciji prikazanoj na slici 2, odnosno, algoritmu prikazanom na slici 4. Parametri potrebni za rad primenjene inverzne Arnoldove transformacije su dati u poglavlju II.B. Izgled vodenih žigova kroz sve etape inverzne Arnoldove transformacije su prikazani na sl. 7. Na sl. 7a) prikazan je ekstrahovani žig iz dekodovane zaštićene video sekvence. Na slikama 7b), 7c) i 7d) prikazani su izgledi vodenog žiga kroz treću, drugu i prvu etapu multistage Arnoldove transformacije respektivno.

Već je poznato da u procesu kodovanja dolazi do zanemarivanja nekih detalja slike u cilju povećanja stepena kompresije koderu. Sam H.264 koder je dizajniran tako da razmatra prostornu i vremensku sličnost frejmova i na osnovu toga formira efikasn kod. Dakle, H.264 koder nema saznanja da je došlo do neprimetnih promena u samom frejmu, tako da algoritmi H.264 koderu ne mogu voditi računa o insertovanom vodenom žigu. Zato istraživači ispituju sposobnost „preživljavanja“ vodenog žiga u procesu kodovanja i to

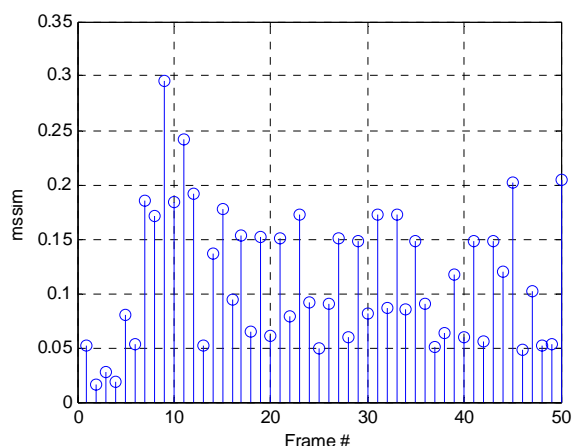


Slika 7. Izgled ekstrahovanog vodenog žiga iz dekodovane video sekvence za frejm sa rednim brojem 50: a) ekstrahovani originalni b) posle treće etape c) posle druge etape d) posle prve etape inverzne multistage Arnoldove transformacije.

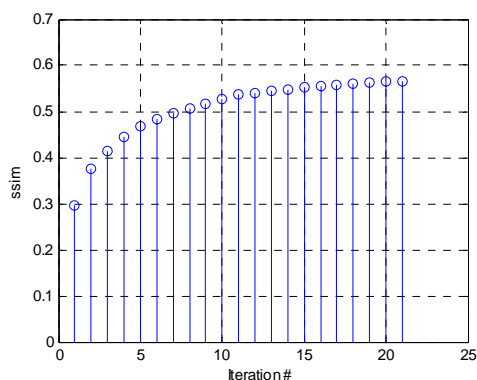


Slika 8. Varijabilni kvalitet ekstrahovanih vodenih žigova iz dekodovane video sekvence za odabrane frejmove

predstavlja veoma važnu karakteristiku algoritama za insertovanje vodenih žigova. SVD algoritmi za insertovanje poseduju dobre osobine preživljavanja obzirom da rasejavaju piksele vodenog žiga na sve piksele frejma. U zavisnosti od primenjenog profila može se do izvesne mere uticati na mogućnost preživljavanja vodenog žiga u kodovanom videu. Veliki stepen kompresije koji nudi H.264 koder ne ide na ruku preživljavanju vodenog žiga iz kodovanog videa. Za izabrane frejmove na sl. 8 su prikazani ekstrahovani vodeni žigovi. Promenljiv kvalitet ekstrahovanog vodenog žiga iz kodovanog videa se može uočiti na slici 8, vrednost SSIM indeksa za sve frejmove je prikazan na slici 9.



Slika 9. Vrednost SSIM parametra ekstrahovanih vodenih žigova za prvih 50 frejmova iz videa kodovanog MAIN profilom.



Slika 10. Iterativna popravka SSIM indeksa ekstrahovanog vodenog žiga.

Sa sl. 8 i sl. 9 se može uočiti značaj naprednog algoritam poboljšanja kvaliteta ekstrahovanog vodenog žiga. Na sl. 10 je prikazan progresivan napredak SSIM indeksa ostvaren naprednim algoritmom za poboljšanja kvaliteta ekstrahovanog vodenog žiga. Izgled posle 20 iteracija ovog algoritma je prikazan na sl. 11 sa ostvarenim SSIM indeksom od 0.56545. Na sl. 12 prikazan je izgled poboljšanog ekstrahovanog vodenog žiga posle 9. koraka. Filtriranje *Wiener*-ovim filtrom vodenog žiga podiglo je SSIM indeks na 0.6765.

Extr. Watermark, Iteration #20, ssim = 0.56545



Slika 11. Ekstrahovani vodeni žig dobijen posle 20. iteracija algoritma za popravku kvaliteta ima mssim indeks 0.5654.

Wiener filter, mssim=0.6765



Slika 12. Ekstrahovani vodeni žig posle primene wienerovog filtra ima mssim indeks 0.6765.

V. ZAKLJUČAK

U cilju sprečavanja nelegalnog kopiranja i distribucije video sadržaja u ovom radu je korišćena tehnika insertovanja

šifrovanog vodenog žiga u nekodovani video. Za šifrovanje vodenog žiga je primenjena multistage Arnoldova transformacija, a kodovanje/dekodovanje videa je obavljeno H.264/AVC koderom. Za dešifrovanje vodenog žiga je korišćena inverzna multistage Arnoldova transformacija od tri etape. Zbog toga što u procesu kodovanja dolazi do degradacija videa, a samim tim i insertovanog vodenog žiga, primenjen je napredni algoritam za popravku kvaliteta ekstrahovanog vodenog žiga. Najveći SSIM indeks ekstrahovanih vodenih žigova je bio oko 0.29588, ali je u procesu popravke on dostigao nivo od 0.6765. U radu je pokazano da se za šifrovanje/dešifrovanje vodenog žiga može uspešno primeniti multistage Arnoldova transformacija i uz primenu naprednog algoritma za popravku ekstrahovanog žiga mogu se dobiti vrlo visoki SSIM indeksi za ove primene. Cena primene multistage Arnoldove transformacije je u dodatnom procesorskom vremenu neophodnom za obradu frejma. Rezultati dobijeni kroz prikazani primer opravdavaju primenu multistage Arnoldove transformacije za zaštitu videa od kopiranja i zaštitu autorskih prava.

LITERATURA

- [1] M. Meeker, "Internet trends 2015 – code conference", 2015, <http://kpcb.com/InternetTrends>
- [2] <http://www.havocscope.com/tag/movie-piracy/>
- [3] Z. Veličković, Z. Milivojević, M. Jevtović, „Multi-stage Arnold transformation for 2D watermarking encryption“, Vol. 2, pp. 130-135, *UNITECH*, 2015.
- [4] L. Sun, J. Xu, X. Zhang, Y. Tian, "An Image Watermarking Scheme Using Arnold Transform and Fuzzy Smooth Support Vector Machine", *Math. Prob. in Engineering*, Vol. 2015.
- [5] E. Chrysochos, V. Fotopoulos, M. Xenos, A. N. Skodras, "Hybrid watermarking based on chaos and histogram modification", *Sig. Im. Video Proc.*, pp. 843-857, 2014.
- [6] C. Pradhan, V. Saxena, A. Bisoi, "Imperceptible Watermarking Technique using Arnold's Transform and Cross Chaos Map in DCT Domain", *Int. Jour. Comp. App.*, Vol. 55, No. 15, pp. 50 – 53, 2012.
- [7] M. Ibrahim, N. Kader, M. Zorkany, "Video Multiple Watermarking Technique Based on Image Interlacing Using DWT," *The Scientific World Journal*, Vol. 2014.
- [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. Veličković, Z. Milivojević, M. Jevtović, "The Improved Iterative Algorithm for the Enhancement of the Extracted Watermark from Video Streaming in a Wireless Environment", *ETF Jour. of Electrical Engineering*, Vol. 21, pp. 93-107, 2015.
- [10] ITU-T, Recommendation H.264, Advanced Video Coding for Generic Audiovisual Services. Technical report, ITU-T, 2011.

ABSTRACT

In this paper, we propose the multistage Arnold transformation for watermark encryption and SVD based algorithm for watermark insertion in video. The extracted watermark has 0.6765 SSIM index obtained from the encoded video using the advanced algorithm for its repair. These results justify the use of multistage Arnold transformation to protect video content against copying.

PROTECTING THE VIDEO CONTENT WITH MULTISTAGE ARNOLD TRANSFORMATION ENCRYPTED WATERMARK

Zoran Veličković, Zoran Milivojević, Miloško Jevtović

