

Color Blind SVD watermarking algoritam za zaštitu videa sa linearnom cikličnom šemom insertovanja

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

Marko Veličković
Visoka tehnička škola strukovnih studija
Niš, Srbija
marko.velickovic93@yahoo.com

Abstract—U ovom radu je u cilju zaštite videa od kopiranja prikazan CB-SVD watermarking algoritam. Pre insertovanja, monohromatski vodeni žig je dekomponovan na 8 bitskih ravni (binarnih slika) koje su potom insertovane u kanale boje. Primena linearne ciklične šeme insertovanja uklanja primetnu degradacije videa uz istovremenu ekstrakciju vodenog žiga visokog kvaliteta. Problem detekcije lažnog vodenog žiga kod standardnih SVD algoritama je rešen, a ugrađena redundantnost povećava otpornost na „frame-dropping“ atake i omogućava popravku ekstrahovanog vodenog žiga i u bežičnom mrežnom okruženju. Evaluacija predloženog algoritma je obavljena u programskom paketu Matlab sa referentnom multimedijalnim sadržajima. U odnosu na prethodno objavljene rezultate postignuta je popravka ekstrahovanog vodenog žiga za 1.9 % odnosno, 7.8%.

Key words – *Bit-plane dekompozicija; Color blind SVD; Watermarking; Ciklična šema insertovanja.*

I. UVOD

Savremena mrežna infrastruktura uz pomoć komunikacionih protokola nove generacije [1] omogućila je izuzetne mrežne performanse. Savremene komunikacione mreže obezbeđuju veliki mrežni protok uz istovremeno smanjenje paketske latencije što je doprinelo razvoju novih komunikacionih usluga. Razmena multimedijalnih sadržaja kao što su audio poruke, fotografije i video sadržaji postali su uobičajena aktivnost većine mrežnih korisnika. Smeštanje, a potom i deljenje multimedijalnih sadržaja na društvenim mrežama kao što su *Facebook*, *Twitter* ili *Instagram* se realizuje veoma jednostavnim procedurama. Međutim, deljenje privatnih multimedijalnih sadržaja na mreži je dovelo do povećanja bezbednosnih rizika i do pojave zloupotreba identiteta [2]. Personalne fotografije sa društvenih mreža se mogu neograničeno broj puta preuzeti bez gubitaka, potom modifikovati i nelegalno koristiti u komercijalne ili neke druge svrhe. Posebno značajni problemi zaštite autorskih prava u ovakvom mrežnom okruženju. Problem bezbedne razmene multimedijalnih sadržaja na mreži zahteva urgentno rešavanje. Jedan od načina za smanjenje bezbednosnih rizika, pre razmene multimedijalnih sadržaja, je obavljanje pouzdane autentifikacije korisnika [3].

Da bi se sprečilo nelegalno korišćenje i curenje privatnih multimedijalnih informacija razvijene su brojne tehnike za zaštitu ovih sadržaja. Problemi vezani za razmenu multimedijalnih sadržaja mogu biti rešeni na klasičan način, korišćenjem tehnika kriptovanja sadržaja. Međutim, klasični

informacioni bezbednosni sistemi bazirani na kriptovanju nisu adekvatni za primenu na multimedijalne sadržaje. Osnovni nedostaci standardnih kriptografskih tehnika se mogu opisati kroz sledeće činjenice:

- neefikasnost*, potrebno je dodatno preneti ogromnu količinu podataka prilikom razmene kriptovanih multimedijalnih sadržaja,
- nepotpuna zaštita*, multimedijalni sadržaj se štiti samo za vreme transfera,
- dekriptovanje prilikom reprodukcije*, na prijemu se multimedijalni sadržaj mora dekriptovati radi reprodukcovanja što ga potencijalno čini nebezbednim.

Insertovanje nevidljive - tajne informacije (vodenog žiga) u multimedijalni sadržaj (engl. *watermarking*) je vama često korišćena tehnika u cilju povećanja informacione bezbednosti na globalnoj računarskoj mreži - Internetu. Tehnike vodenog žiga se pored korišćenja za zaštitu multimedijalnog sadržaja od kopiranja mogu koristiti i za personalnu biometrijsku identifikaciju kao i za proveru integriteta multimedijalnog sadržaja [4]. Vodeni žig može imati formu slike u boji, monohromatske (engl. *grayscale*) slike ili binarne (engl. *binary*) slike. U ovom radu se u multimedijalni sadržaj – kolor video sekvencu insertuje više različitih binarnih slika koje su dobijene dekompozicijom monohromatskog vodenog žiga [5], [6]. Osnovni problem kod ovog koncepta zaštite je što insertovanje vodenog žiga dovodi do pojave smetnji u multimedijalnom sadržaju. Jače insertovan vodeni žig ima za posledicu smanjenje kvaliteta multimedijalnog sadržaja, ali obezbeđuje ekstrakciju kvalitetnijeg vodenog žiga. Sa druge strane, slabije insertovan vodeni žig manje degradira kvalitet multimedijalnog sadržaja, ali ne obezbeđuje ekstrakciju vodenog žiga visokog kvaliteta. Da bi se vodeni žig mogao koristiti u procesu dokazivanja vlasništva, neophodna je ekstrakcija što kvalitetnijeg vodenog žiga iz zaštićenog multimedijalnog sadržaja. Jasno je da su ovo dva suprotstavljena zahteva koje algoritam za zaštitu multimedijalnog sadržaja mora da pomiri.

U nastavku su prikazani osnovni color modeli videa, SVD i bit-plane dekompozicije bit mapiranih slika. Model insertovanja, odnosno ekstrakcije dekomponovanog vodenog žiga u više ramova (frejmova) (engl. *frame*) u kolor domenu videa je algoritam koji se preporučuje u ovom radu. Izvršena je evaluacija predloženog metoda i analizirani su dobijeni rezultati. U poslednjoj sekciji doneti su određeni zaključci i preporuke. U poslednjoj sekciji doneti su određeni zaključci i preporuke.

II. PREGLED KORIŠĆENIH INFORMACIONIH DOMENA

Tehnike insertovanja vodenog žiga se mogu realizovati u različitim informacionim domenima. Tako se tajna informacija – vodeni žig može insertovati u prostornom (engl. *spatial*) domenu, nekom od mnogobrojnih transformacionih domena ili u haos domenu [7], [8]. Da bi se unapredile karakteristike pojedinih watermarking algoritama, često se koriste *hibridni modeli* koji kombinuju dobre osobine dvaju ili više informacionih domena. Ako ekstrakcione metode vodenog žiga zahtevaju originalni video sadržaj ili originalni vodeni žig nazivaju se *nonblind* metode. Za razliku od *nonblind* metoda, *blind* metode ne zahtevaju posedovanje originalnih sadržaja. Kod prostornih metoda, vodeni žig se insertuje direktno u vrednostima odmeraka multimedijalnih sadržaja. Transformacione tehnike insertovanja vodenog žiga su znatno otpornije na zlonamerne atake u odnosu na prostorne metode, a naročito na pokušaje uklanjanja ili zamenu vodenog žiga u multimedijalnom sadržaju.

U ovom radu je prikazana zaštita video sadržaja insertovanjem binarnog vodenog žiga u nekompresovanom domenu kanala boje. Za insertovanje vodenog žiga koristi se hibridni model koji se sastoji od YUV i SVD transformacija. Zbog toga što poznavanje sadržaja vodenog žiga može biti kompromitujuće, vodeni žig se kriptuje pre ugradnje u multimedijalni sadržaj [9].

A. YUV format videa

Slike u boji se mogu modelovati različitim sistemima boja, a najčešći su to RGB, CMY ili YUV modeli [10]. Za ovaj rad je interesantan YUV model boja koji se sastoji od tri komponente: komponente osvetljaja (Y) i dve komponente boja (U i V). Veza između RGB i YUV komponenti modela boja je uspostavljena izrazima:

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (1)$$

$$U = 0.564(B - Y) \quad (2)$$

$$V = 0.713(R - Y). \quad (3)$$

U YUV modelu boja, Y komponenta predstavlja monohromatsku (crno-belu sliku), tako da se dodavanjem komponenti boja (U i V) može jednostavno transformisati u sliku u boji. U ovom radu, binarni vodeni žig se insertuje u jedan od kanala boja svakog frejma iz YUV modela. Ideja ubacivanja vodenog žiga u kanal boja je inspirisana HVS-om (engl. *Human Visual Sistem*) i očekuje se manje primetna degradacija zaštićenog videa za razliku od slučaja kada je vodeni žig insertovan u Y komponentu YUV modela [11].

S obzirom na to da se video sastoji od niza frejmova (engl. *frames*), insertovanje vodenog žiga se može obaviti u svakom od frejmova. U odnosu na zaštitu slika, ova osobina znatno proširuje mogućnosti primene zaštite video sadržaja. U prethodnim radovima, autori su u sve frejmove videa insertovali isti monohromatski vodeni žig čime se povećava redundantnost sistema i pruža mogućnost popravke ekstrahovanog vodenog žiga. Nedostatak ove ideje leži u činjenici da se insertovanjem istog vodenog žiga u sve frejmove snižava nivo bezbednosti, dok se istovremeno neki frejmovi nepotrebno degradiraju iako ne doprinose popravci ekstrahovanog vodenog žiga.

Da bi se podigao nivo bezbednosti u ovom radu se eksploatiše ideja insertovanja *različitih* binarnih vodenih žigova u *različite* frejmove videa. Ako se izvrši dekompozicija monohromatskog vodenog žiga na više bitskih-ravni [6], onda se svaka bitska ravan dekomponovanog vodenog žiga može insertovati u različite frejmove. S obzirom na to da svaka bitska ravan predstavlja jedan binarni vodeni žig, onda se na prijemu može formirati težinski zbir svih osam binarnih žigova koji zajedno čine monohromatski vodeni žig. Insertovanje bitskih ravni se ciklički ponavlja u narednim frejmovima videa što obezbeđuje redundantnost i mogućnost popravke ekstrahovanog vodenog žiga kao u prethodnim radovima.

Na prijemnoj strani se posle ekstrakcije svih bitskih-ravni može složiti originalni vodeni žig. Na ovaj način se povećava otpornost insertovanog crno-belog vodenog žiga posebno u mobilnom okruženju. Osnovna ideja je učiniti zaštićeni video otpornijim na gubitke paketa koji su uobičajena pojava u mobilnom okruženju [12]. Takođe, otpornost zaštićenog videa na „frame dropping“ atake je povećana.

B. SVD dekompozicija frejma

U linearnoj algebri SVD (engl. *Singular Value Decomposition*) [14] je algoritam za razlaganje pravougaone matrice A dimenzija $n \times m$ na tri matrice (U, S i V) sledeći način:

$$A = U \times S \times V^T \quad (4)$$

gde su $A \in R^{(n \times m)}$, $U \in R^{(n \times n)}$, $S \in R^{(n \times m)}$ a $V \in R^{(m \times m)}$. Matrice U i V su ortogonalne matrice koje zadovoljavaju relacije $UU^T = I$ i $VV^T = I$. Kolone matrice U se nazivaju *levi*, a kolone matrice V *desni* singularni vektori. Matrica, S je dijagonalna matrica, poznata pod nazivom matrica singularnih vrednosti. Ako je r rang matrice A, tada elementi matrice S zadovoljavaju sledeću relaciju:

$$s_1 \geq s_2 \geq \dots s_r \geq s_{r+1} = s_{r+2} = \dots = s_n = 0 \quad (5)$$

i u tom slučaju se matrica A može predstaviti na sledeći način:

$$A = \sum_{p=1}^r s_p u_p v_p^T \quad (6)$$

gde u_p i v_p predstavljaju p-tu sopstvenu vrednost matrice U i V, dok je s_p p-ta singularna vrednost. Singularni vektori određuju geometriju matrice A, dok singularne vrednosti specificiraju energiju (osvetljaj slike) matrice A. Ako se matricom A predstavi jedan video frejm, onda se nizom sličnih matrica može predstaviti video. Najvažnije karakteristike SVD transformacije su invarijantnost na transponovanje, skaliranje, rotaciju i zamenu kolona i vrsta matrice A. Ovaj način dekompozicije frejma je primenjen u prethodnim radovima [3], [6], [8], [9] prilikom insertovanja vodenog žiga u frejm.

Standardni SVD algoritam za insertovanje se zasniva na modulaciji singularnih vrednosti matrice S. Opis standardnog SVD protokola za zaštitu videa se može naći u [14]. Međutim, kod primene standardne SVD transformacije za zaštitu videa uočeni su sledeći nedostaci [15]:

- Pojavljaju se primetne smetnje u zaštićenom videu. Ovo je posledica raspršivanja vodenog žiga na sve piksele u frejmu. Lokalizacija smetnju u frejmu je različita, tako da su one znatno uočljivije nego kod slika. Nivo degradacije

kvaliteta frejma zavisi od faktora insertovanja. Iako se ovaj problem može rešiti snižavanjem faktora insertovanja, to često nije prihvatljivo jer se ne obezbeđuje pouzdana ekstrakcija vodenog žiga. Ako bi se vodeni žig insertovao u domene frejma na koje je ljudsko oko manje osetljivo, smetnje bi se učinile neprimetnim. U ovom radu je iskorišćena osobina ljudskog oka da je manje osetljivo na komponente boja u odnosu na komponentu osvetljaja. Vodeni žig se insertuje u kanalu boja videa čime se neminovna degradacija obavlja u kanalu boja što je manje primetno oku posmatrača.

- b) Problem detekcije lažnog žiga (engl. *False-positive detection problem*) je prisutan u većini SVD algoritama [1]. Ovo je ozbiljan problem klasičnih SVD algoritama jer omogućava ekstrakcije vodenog žiga koji nije insertovan! Ovaj nedostatak se može rešiti unapređenim SVD algoritmom koji koristi insertovanje "principal" komponente vodenog žiga u SVD domenu [6], [14]. Blind SVD algoritmi nemaju ovaj nedostatak, tako da je u ovom radu predložen CB-SVD algoritam koji pripada ovoj klasi.
- c) Za ekstrakciju insertovanog vodenog žiga je neophodno obezbediti originale i videa i vodenog žiga. Ovo često nije moguće u trenutku ekstrakcije, tako da se ova karakteristika standardnih SVD algoritama smatra nedostatkom. Ako su unapred poznate lokacije insertovanja bitova vodenog žiga u frejmu, može se koristeći specijalne osobine SVD transformacije bloka 4x4 piksela kreirati blind SVD algoritam.

C. Color Blind SVD algoritam - CB-SVD

Ako se SVD primeni na blok iz U matrice dimenzije 4x4 piksela, mogu se uočiti neke specifičnosti. *Prvo*, može se pretpostaviti da unutar ovog malog bloka ne postoji značajna promena boje susednih piksela. Ovo će imati za posledicu da singularne vrednosti matrice poseduju dobru stabilnost i prilikom manipulacije pikselima. Uobičajeno je da se elementima prve kolone matrice U SVD dekompoziciji dodeljuju isti znaci. Ovo je često bio izvor problema prilikom korišćenja SVD dekompozicije. Tako, na primer, u programskom paketu Matlab čak nije zadržana ista dodela znaka u svim verzijama. *Drugo*, važna osobina matrice U (iz SVD-a) je da pored toga što svi elementi prve kolone imaju isti znak, razlika između njih je veoma mala [16]. Analizom elemenata matrice U je utvrđena najmanja razlika između elemenata prve kolone U(2,1) i U(3,1). Ovaj zaključak je valjan kako za granične blokove tako i za blokove u uniformnim regionima. Ako se ova osobina matrice U iskoristi za insertovanje jednog bita vodenog žiga neće izazvati značajnu degradaciju sadržaja. Ovaj način insertovanja u SVD domenu se u ovom radu naziva *Color Blind SVD* algoritam. Pre insertovanja vodenog žiga u frejm, treba matricu podeliti na niz nepreklopljenih blokova dimenzije 4x4 piksela. Jasno je da ovaj način insertovanja vodenog žiga ima ograničenje u kapacitetu insertovanih bitova. Kod insertovanja vodenog žiga primenom standardne SVD dekompozicije na čitav frejm to nije bio slučaj. Insertovanje vodenog žiga u U matricu se zasniva na modifikovanju elemenata U(2,1) i U(3,1) kako bi se definisao njihov međusobni

odnos. Ako se kreira pozitivna razlika između ovih elemenata, insertuje se logička jedinica, odnosno, ako se kreira negativna razlika između ovih elemenata insertuje se logička nula. Detalji algoritma insertovanja i ekstrakcije vodenog žiga biće prikazani u posebnom odeljku "Color blind SVD algoritmom za zaštitu videa". Primenjujući ovaj koncept, u frejm se mogu insertovati svi bitovi koji pripadaju binarnom vodenom žigu.

D. Bit-plane dekompozicija vodenog žiga

U ovom radu je iskorišćen CB-SVD algoritam za insertovanje monohromatskih vodenih žigova. U prethodnom odeljku je pokazano da se u dimenziju matrice 4x4 piksela može insertovati samo jedan bit vodenog žiga. Zbog toga je neophodno izvršiti tzv. bit-plane dekompoziciju monohromatskog vodenog žiga. U narednom odeljku je prikazan koncept bit-plane dekompozicije [17].

Standardni način pamćenja nekodovanih monohromatskih slika je u formi matrice dimenzija mxn. Elementi ove matrice predstavljaju osvetljaj svakog pojedinačnog piksela vodenog žiga. Elementi matrice u ovom slučaju su ne-negativan celi brojevi d koji se u pozicionom binarnom sistemu mogu predstaviti sa k bitova:

$$d = \sum_{i=1}^k b_i 2^{i-1} \quad (7)$$

Za monohromatsku sliku vrednosti piksela se nalaze u opsegu $0 \leq d \leq 255$ tako da se svaka vrednost piksela može predstaviti 8-bitnom binarnim brojem (k=8). Izraz (7) omogućava dekompoziciju monohromatske slike na osam bit-ravni. Jedna bit-ravan se formira od odgovarajućih težinskih bitova svih piksela vodenog žiga. Tako se i-ta bit-ravan formira od i-tih bitova svih piksela žiga. Na ovaj način se može smanjiti zahtevani kapacitet metode insertovanja. Sa druge strane, dekompozicija vodenog žiga u više bitskih-ravni dozvoljava insertovanje pojedinačnih bit-ravni vodenog žiga u više video frejmova. Diseminacija vodenog žiga u osam video frejmova će povoljno uticati na prepoznavanje vodenog žiga u uslovima kada je neki od frejmova izgubljen ili degradiran. Moguće su i kombinacije više bit-ravni u jednu zajedničku bit-ravan, čime se kapacitet insertovanja može dodatno redukovati.

III. ZAŠTITA VIDEA CB- SVD ALGORITAM

U ovom poglavlju prikazana su dva osnovna algoritma zaštite videa: algoritam insertovanja i algoritam ekstrakcije vodenog žiga. Algoritam insertovanja je prikazan nizom I koraka, dok je algoritam ekstrakcije prikazan nizom E koraka [12]. Ova dva algoritma se u ovom radu nazivaju jednim imenom CB-SVD (engl. *Color Blind SVD*) algoritam. Deo CB-SVD algoritma za insertovanje vodenog žiga je prikazan u 7 I koraka.

Korak I₁: Izvršiti bit-plane dekompoziciju monohromatskog vodenog žiga $W_{m \times n}$. Da bi se izvršila dekompozicija vodenog žiga na osam bit-ravni, prvo treba predstaviti vrednosti svih piksela vodenog žiga w_i odgovarajućim binarnim vrednostima $b_{i,k}$ na sledeći način:

$$b_{i,k} = \left\lfloor \frac{w_i}{2^{k-1}} \right\rfloor \bmod 2, \quad k = 1, 2, \dots, 8; \quad (8)$$

$$i = 1, 2, \dots, m \times n$$

U izrazu (8) oznakom w_i predstavljen je i -ti piksel monohromatskog vodenog žiga. Oznakom $b_{i,k}$ je predstavljeno 8 bitova binarne vrednosti i -tog piksela. Bit plane k vodenog žiga W^k se formira od svih k bitova svih piksela vodenog žiga:

$$W^k = b_{i,k} \quad (9)$$

Korak I₂: Hromantnu komponentu frejma U iz YUV formata videa podeliti na nepreklopljene blokove $H_{i,j}$ dimenzije 4×4 piksela.

Korak I₃: Za svaki blok $H_{i,j}$ iz U komponente obaviti SVD dekompoziciju:

$$H_{i,j} = U_{i,j} \times S_{i,j} \times V_{i,j}^T \quad (10)$$

Korak I₄: Modifikovati elemente iz druge i treće vrste prve kolone svake $U_{i,j}$ matrice (elementi $u_{2,1}$ i $u_{3,1}$) na osnovu vrednosti svakog pojedinačnog bita w iz odgovarajuće bitske ravni na sledeći način:

$$\text{ako je } w = 1, \begin{cases} u_{2,1}^* = \text{sign}(u_{2,1}) \times \left(U_{avg} + \frac{T}{2} \right) \\ u_{3,1}^* = \text{sign}(u_{3,1}) \times \left(U_{avg} - \frac{T}{2} \right) \end{cases} \quad (11)$$

$$\text{ako je } w = 0, \begin{cases} u_{2,1}^* = \text{sign}(u_{2,1}) \times \left(U_{avg} - \frac{T}{2} \right) \\ u_{3,1}^* = \text{sign}(u_{3,1}) \times \left(U_{avg} + \frac{T}{2} \right) \end{cases} \quad (12)$$

$$U_{avg} = \frac{(|u_{2,1}| + |u_{3,1}|)}{2} \quad (13)$$

gde T predstavlja željeni prag u razlici između elemenata $u_{2,1}$ i $u_{3,1}$ matrice $U_{i,j}$. Izmenjena matrica je označena sa $U_{i,j}^*$.

Korak I₅: Obaviti inverznu SVD transformaciju da bi se dobio blok sa utisnutim bitom iz vodenog žiga.

$$H_{i,j}^* = U_{i,j}^* \times S_{i,j} \times V_{i,j}^T \quad (14)$$

Korak I₆: Ponoviti korake 4 i 5 za sve bitove iz odgovarajuće bit plane vodenog žiga.

Korak I₇: Ponoviti korake od 2-6 za sve bit plane vodenog žiga za svaki sledeći frejm. Na taj način se dobija video sa ugrađenim vodenim žigom. Za ekstrakciju ovako insertovanog vodenog žiga nije potrebno posedovati originale ni videa ni vodenog žiga, tako da ovaj algoritam pripada klasi blind algoritama.

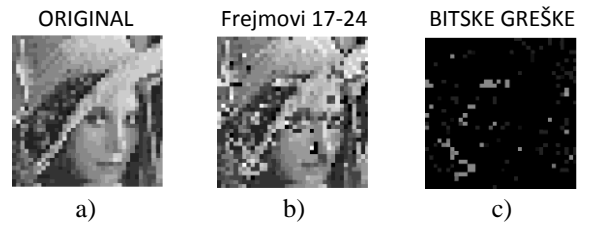
Deo CB-SVD algoritma za ekstrakciju vodenog žiga je prikazan u 8 E koraka.

Korak E₁: U komponentu zaštićenog frejma podeliti na nepreklopljene blokove $H'_{i,j}$ dimenzije 4×4 piksela.

Korak E₂: Obaviti SVD dekompoziciju svih blokova $H'_{i,j}$ iz frejma.

$$H'_{i,j} = U'_{i,j} \times S'_{i,j} \times V'_{i,j}{}^T \quad (15)$$

Korak E₃: Vrednost odgovarajućeg ekstrahovanog bita vodenog žiga w' se dobija primenom sledećih izraza:



Slika 1. Monohromatski vodenog žig a) Original b) rezultujući vodenog žig dobijen komponovanjem ekstrahovanih bitskih ravni iz zaštićenijih i kodovanih frejmova 17 do 24 c) lokacija i amplituda grešaka u ekstrahovanom monohromatskom vodenom žigu iz frejmova 17 do 24.

$$w' = 1, \begin{cases} 0, & \text{if } u'_{2,1} > u'_{3,1} \\ 1, & \text{if } u'_{2,1} \leq u'_{3,1} \end{cases} \quad (16)$$

Korak E₄: Ponoviti korake 2 i 3 za sve nepreklopljene blokove frejma.

Korak E₅: Kreirati binarnu sliku odgovarajućeg bit-plane vodenog žiga.

Korak E₆: Ponoviti korake 1-5 za osam frejmova iz videa.

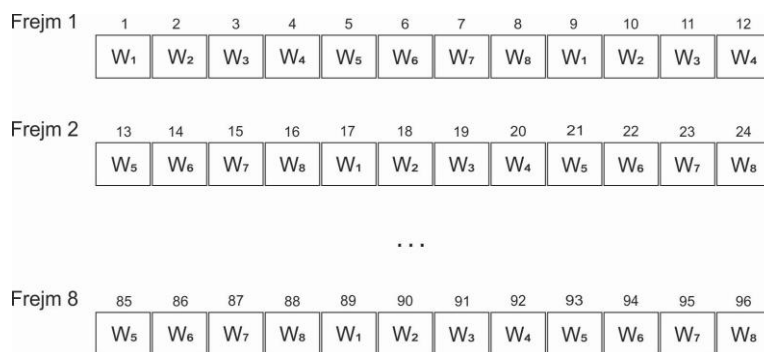
Korak E₇: Od 8 binarnih bit-plane formirati crno-beli vodenog žig.

Korak E₈: Ponoviti korake 1-7 za sve frejmova iz videa.

IV. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Na slici 1a) prikazan je monohromatski vodenog žig korišćen u eksperimentalnom delu ovog rada. Vodenog žig predstavlja adaptirani centralni deo poznate monohromatske slike *Lena.bmp* u rezoluciji 36×36 piksela. Pre insertovanja u frejmova nekodovanog videa u boji *Foreman.yuv* u rezoluciji 288×288 piksela, vodenog žig je dekomponovan na 8 bitskih ravni $W_1 - W_8$. Bitske ravni $W_1 - W_8$ su dobijene na način kako je to opisano u poglavlju "Bit-plane dekompozicija vodenog žiga". Na slici 3a) su prikazane dobijene bitske ravni ovog monohromatskog vodenog žiga. Sa slike 3a) se može primetiti da MSB-bitska ravan W_8 poseduje značajne informacije koje utiču na prepoznatljivost vodenog žiga. Ako se posmatraju ostale bitske ravni može se primetiti da kako se približavamo LSB bitskoj ravni W_1 , dekompozicije vodenog žiga poprimaju stohastički karakter. Ovo je razlog zbog koga se u ovom radu ne obavlja dodatna zaštita vodenog žiga, kako su autori to radili u prethodnim radovima. Radi povećanja nivoa bezbednosti mogu se zaštititi samo bitske ravni $W_8, W_7, i W_6$ GMSAT algoritmom [9] za skremblovanje slika.

Linearni ciklični niz dekomponovanih bitskih ravni vodenog žiga se ugrađuje u prvih 96 frejmova kolor videa *Foreman.yuv*. Ugrađivanje bitskih ravni dekomponovanog monohromatskog vodenog žiga je obavljeno prema linearnoj cikličnoj šemi insertovanja prikazanoj na slici 2. Tako se u prvi frejm insertuje bitska ravan W_1 , u drugi frejm bitska ravan W_2 i td. Kada su sve bitske ravni insertovane, kreće se ponovo sa bitskom ravni W_1 dok se ne iskoriste svi frejmova nekodovanog videa.



Slika 2. Linearna ciklična šema insertovanja bitskih ravni u frejmove nekodovanog videa.

Šema insertovanja korišćena u ovom radu je prikazana na Sl. 2. Primenom šeme insertovanja sa Sl. 2 dobija se određeni nivo redundantnosti komponenata vodenog žiga koji se kasnije može koristiti za popravku ekstrahovanog monohromatskog vodenog žiga. U ovom radu je primenjen algoritam za popravku ekstrahovanih vodenih žigova opisan u [13]. Ako se u 96 frejmova nekodovanog videa insertuju bitske ravni prema prikazanoj šemi, onda je na prijemu na raspolaganju 12 kompletnih ekstrahovanih monohromatskih vodenih žigova nad kojima se primenjuje popravka. Za insertovanje bitskih ravni (binarnih slika) korišćen je algoritam opisan u poglavlju “*Color blind SVD algoritam za zaštitu videa*”. Ugradnja komponenata vodenog žiga se prema razmatranom algoritmu obavlja u hrominantnim komponentama frejma sa pragom $T=0.04$. Ova vrednost praga se uobičajeno koristi kod algoritama ovog tipa [15], [16], [18] ali se i sa manjom vrednošću dobijaju odlični rezultati. Kada se u svaki frejm videa ugrade binarne komponente vodenog žiga, video se smatra zaštićenim. Pre nego se zaštićeni video izloži na mreži, neophodno je izvršiti njegovo kodovanje. U ovom radu je kodovanje zaštićenog videa obavljeno H.264/AV algoritmom. S obzirom da H.264/AV algoritam spada u klasu koder sa gubicima, mnogi detalji prisutni u videu se zanemaruju i zauvek su izgubljeni. Ovo će u procesu dekodovanja neminovno izazvati greške koje ljudsko oko neće primetiti. Međutim, greške koje se prilikom dekodovanja javljaju će imati uticaj i na ekstrakciju insertovanog vodenog žiga. Kodovanje zaštićenih video sekvenci je obavljeno JM referentnim softverom ITU-a u verziji 18.4 FRExt [19]. Kvalitet kodovanja je definisan skupom FRExt parametara: IntraPeriod=12, NumberReferenceFrames=5, NumberBFrames=1. Na slici 3b) prikazane su ekstrahovane bitske ravni $W_1 - W_8$ monohromatskog vodenog žiga iz frejmova 17 do 24. Na slici 1b) prikazan je vodeni žig koji se dobija komponovanjem ekstrahovanih bitskih ravni iz frejmova 17 do 24. Evidentne su greške prvo u ekstrahovanim bitskim ravnima (Sl. 3b), a potom i u komponovanom monohromatskom vodenom žigu dobijenim iz njih. Lokacije grešaka u ekstrahovanim bitskim ravnima su prikazane na slici 3c). Sa slika 3b) i 3c) može se uočiti pojava grešaka u ekstrahovanim bitskim ravnima koje su nastale kao posledica kodovanja koderom sa gubicima. Naravno, u nekodovanom videu ekstrakcija vodenog žiga je bez grešaka. Da li se nešto može učiniti da se popravi ekstrahovani monohromatski vodeni žig? Treba naglasiti da se ekstrakcijom vodenih žigova iz frejmova

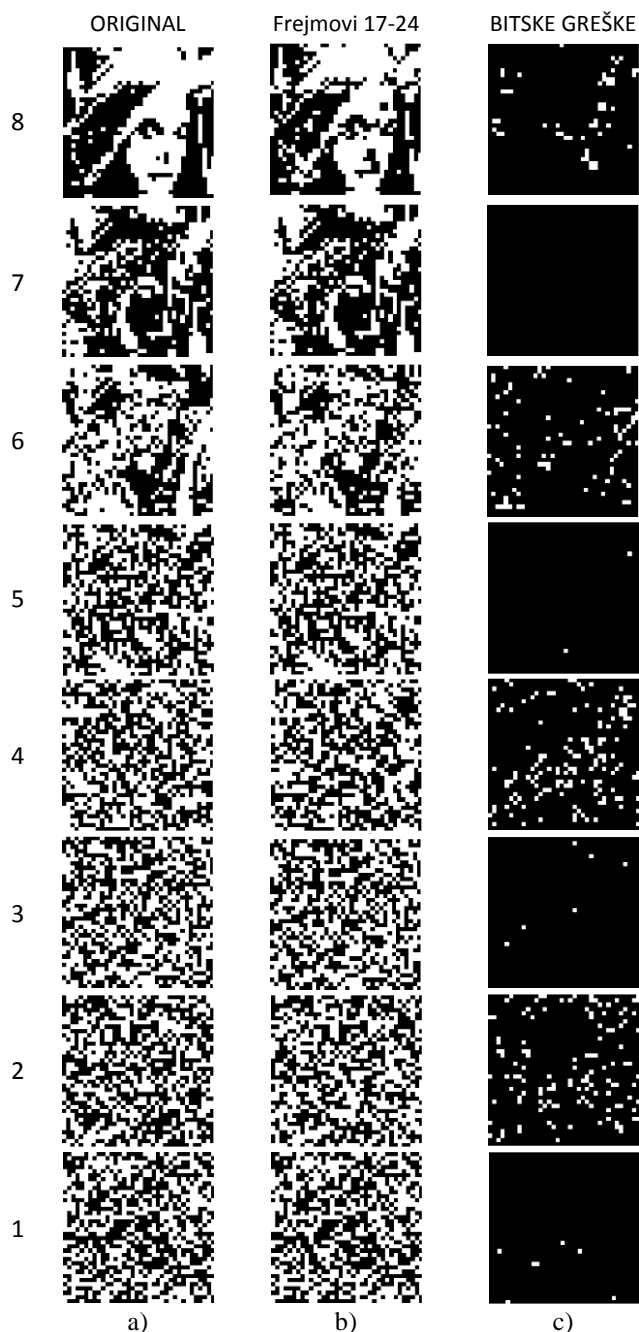


Slika 4. Ekstrahovan i popravljen vodeni žig iz dekodovanog videa primenom CB-SVD algoritma, SSIM = 0.9127.

1-8, 9-16, 17-24, 25-32, 33-40, 41-48, 49-56, 57-64, 65-72, 73-80, 81-88 i 89-96 dobija skup od 12 ekstrahovanih vodenih žigova nad kojima se može primeniti algoritam popravke vodenih žigova. Za primenu ovog algoritma popravke mora se poznavati original vodenog žiga. Objektivna ocena kvaliteta ekstrahovanog vodenog žiga je merena SSIM indeksom i za prikazani slučaj iznosi 0.8466. Primenom algoritma za popravku ekstrahovanog vodenog žiga je dobijena vrednost SSIM = 0.9127. Izgled popravljenog monohromatskog vodenog žiga je prikazan na Sl. 4. U odnosu na prikazane rezultate u [12], postignuta je popravka ekstrahovanog vodenog žiga za 7.8%, odnosno, 1.9% u odnosu na [11].

V. ZAKLJUČAK

Zaštita multimedijalnih sadržaja od kopiranja je postala sve značajnija aktivnost autora pre njihovog objavljivanja na Internetu. Insertovanje vodenog žiga u video je tehnologija koja pruža zaštitu od kopiranja za sve vreme postojanja sadržaja. U ovom radu je prezentovan CB-SVD algoritam za insertovanje monohromatskog vodenog žiga u frejmove. Pre insertovanja, monohromatski vodeni žig je dekomponovan 8 bitskih ravni (binarnih slika) koje se potom insertuju u kanale boje frejmova. Primenom linearne ciklične šeme insertovanja omogućava se ekstrakcija vodenog žiga visokog kvaliteta uz neprimetno degradiranje videa. Evaluacija predloženog algoritma je obavljena na poznatoj kolor video sekvenci *Foreman*, dok je kao vodeni žig korišćena adaptirana monohromatska slika *Lena* u rezoluciji 32×32 piksela. Predloženi model izaziva znatno manje smetnji u videu čime se nadmašuju performanse standardnih SVD algoritama. Problem ekstrakcije lažnog vodenog žiga ne postoji. Ugrađena redundantnost ovog algoritma povećava otpornost na frame-dropping atake dok se istovremeno omogućava popravku ekstrahovanog vodenog žiga. U odnosu na prethodno objavljene rezultate postignuta je popravka ekstrahovanog vodenog žiga za 1.9%, odnosno, 7.8%.



Slika 3. Bitske ravni a) originalnog vodenog žiga (W_1 do W_8) b) ekstrahovane bitske ravni iz kodovanog videa H.264 koderom iz frejmova 17 do 24 c) lokacija bitskih grešaka (beli kvadrat) u ekstrahovanim bitskim ravnima W_1 do W_8 .

LITERATURA

- [1] M. Jevtović, Z. Veličković, "Protokoli prepletenih slojeva", Akademska misao, Beograd, 2012.
- [2] <https://ico.org.uk/your-data-matters/online/social-networking/>
- [3] Veličković, Z., Milivojević, Z., Veličković, M. „The Watermark Applications in Multimodal Biometric Identification“, ICIST 2018 Proceedings Vol.1, pp.65-69, 2018.
- [4] I. Cox, M. Miller, J. Bloom, J. Fridrich, T. Kalker, Digital Watermarking and Steganography, Elsevier, 2008.

- [5] K. C. Choi, C. M. Pin, "Robust lossless digital watermarking using integer transform with Bit-plane manipulation", *Multimed Tools Appl*, 75: 21497, 2016, <https://doi.org/10.1007/s11042-015-2596-3>.
- [6] Z. Veličković, Z. Milivojević, M. Veličković, „Video Watermarking using Bit-plane Decomposition in Chaos domain“, *INFOTEH*, pp. 365-371, Jahorina 2018.
- [7] N. Nikolaidis, A. Tefas, I. Pitas, „Chaotic sequence for digital watermarking“, *Adv. in Nonlinear Signal and Image Processing*, Ed. S. Marshall and G. L. Sicuranza, Hindawi, 2006, pp. 205-23.
- [8] Z. Veličković, M. Veličković, Z. Milivojević, Improved Gray-Scale Watermark Encryption Based on Chaotic Maps, *UNITECH 2016*, pp. II-145-150, Gabrovo, 2016.
- [9] Z. Veličković, Z. Milivojević, M. Veličković, "Digital video protection in the DWT-SVD domain using scrambled watermark by GMSAT algorithm", *ETF Jour. of Electrical Engineering*, Vol. 23, pp.36-46, Podgorica, 2017.
- [10] S. Stanković, I. Orović, E. Sejdić, *Multimedia Signals and Systems*, Springer, 2012.
- [11] Z. Veličković, Z. Milivojević, M. Veličković, „A secured digital video watermarking in chrominance channel“, *INFORMACIONE TEHNOLOGIJE*, pp. 1-4, Žabljak 2018, DOI: 10.1109/SPIT.2018.8350858,
- [12] Z. Veličković, Z. Milivojević, M. Veličković, „Blind watermarking scheme in chrominance channel based on SVD and bit-plane decompositions“, *UNITECH 2018*, pp. II 67-72, Gabrovo, 2018.
- [13] 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.
- [14] C. Jain, S. Arora, P. Panigrahi, "A Reliable SVD based Watermarking Scheme", *Journal CoRR*, vol. abs/0808.0309, 2008.
- [15] Shao-li Jia, "A novel blind color images watermarking based on SVD", *Optik-International Journal for Light nad Electron Optics*, Vol. 125, No. 12, pp. 2868-2874, June 2014.
- [16] Q. Su, Y. Niu, H. Zhou, X. Liu, "A blind color images watermarking based on singular value decomposition", *Applied Mathematics and Computation*, Vol. 219, pp. 9455-8466, June 2013.
- [17] Z. Tang, J. Song, X. Zhang, R. Sun, "Multiple-image Encryption with Bit-plane Decomposition and Chaotic Maps", *Optics and Lasers Eng. vol. 80*, 2016, pp. 1-11, <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2015.12.00>.
- [18] Bojan Prlinčević, Zoran Milivojević, Stefan Panić and Zoran Veličković, „Performance of the SVDU Watermarking Algorithm“, *ICIST 2017, Proceedings Vol.1*, pp. 266-270, Kopaonik, 2017.
- [19] "JM reference software version 19.0," iphome.hhi.de, [Online]. Available: <http://iphome.hhi.de/suehring/tml/>.

ABSTRACT

In this paper, the CB-SVD watermarking algorithm is shown in order to protect the video from copying. Before inserting, the monochromatic watermark is decomposed into 8 bit levels that are then inserted into the color channels. The application of linear cyclic insertion scheme removes noticeable video degradation while simultaneously extracting a high quality watermark. The problem of fake watermark detection in standard SVD algorithms has been resolved, and built-in redundancy increases resistance to frame-dropping attacks and enables the extraction of the watermark in the wireless network environment. Compared to the previously published results, repair of the extracted watermark was achieved by 1.9% and 7.8% respectively.

COLOR BLIND SVD WATERMARKING ALGORITHM FOR VIDEO PROTECTION WITH LINEAR CYCLIC INSERTION SCHEME

Zoran Veličković, Zoran Milivojević, Marko Veličković