

DIGITALNI VODENI ŽIG SAR SLIKA KORIŠĆENJEM BPSK MODULACIJE I PROŠIRENOG SPEKTRA

Andreja Samčović¹, Ana Gavrovska², Aleksandar Luković³

¹Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, andrej@sf.bg.ac.rs

²Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet, anaga777@etf.rs

³a.lukovic26@gmail.com

Rezime: Tehnika digitalnog vodenog žiga (*watermarking*) za sliku našla je svoje mesto kao bitan element savremenih multimedijalnih komunikacionih sistema, prvenstveno zbog uloge u zaštiti autorskih prava nad originalnim sadržajem. Cilj ovog rada je razvoj softverskog rešenja za kreiranje digitalnog vodenog žiga pomoću metoda BPSK modulacije i FHSS proširenog spektra upotrebom programskog jezika JavaScript. Korisnik odabira proizvoljnu sliku sa računara i dobija osnovne informacije o njoj. Pri tome su uključeni: izdvajanje prvih 512 piksela ulazne slike, pretvaranje u niz sa povratkom na nulu (RZ) i niz bez povratka na nulu (NRZ), kao i formiranje signala nosilaca (kao pripreme za BPSK modulaciju), respektivno. Nad datim (BPSK) moduliranim signalom je obavljeno proširenje spektra FHSS metodom. Dobijeni rezultati su verifikovani na SAR slikama proračunom objektivnih parametara za procenu kvaliteta slike, kao što su PSNR i SSIM.

Ključne reči: BPSK modulacija, FHSS prošireni spektar, JavaScript, multimedija, vodeni žig

1. Uvod

Digitalizacija signala izazvala je revoluciju u telekomunikacijama, omogućivši između ostalog prenos signala koji je otporniji u odnosu na analogni. Na taj način ostvarena je znatno efikasnija komunikacija između predajne i prijemne strane. Međutim, time se došlo i do izvesnih poteškoća. Multimedijalni sadržaji se mogu preuzimati i neovlašćeno kopirati bez ikakvih gubitaka skoro neograničeni broj puta. Da bi se to svelo na što je moguće manju moguću meru pribegava se kriptografskim metodama kojima se originalan sadržaj šifrira tako da bude nerazumljiv bez korišćenja odgovarajućeg ključa, kao i, generalno, metodama skrivanja podataka. Skrivanje podataka, sa druge strane, može biti u vidu steganografije ili u vidu vodenog žiga.

Tehnike digitalnog vodenog žiga (*watermarking* tehnike) su danas sve zastupljenije u obradi signala, razmeni slika, videa i uopšteno multimedije. Osnovni cilj tehnike vodenog žiga je da osigura bezbednost uz očuvanje autorskih prava nad

originalnim slikama [1]. Vodeni žig u stvari predstavlja signal koji je utisnut u original prilikom prenosa određenog multimedijalnog sadržaja. Na taj način, korisnik ili kreator vodenog žiga koristeći odgovarajuće softversko rešenje (program sa korisničkim interfejsom, veb/desktop aplikaciju) može primeniti opcije dodavanja i izdvajanja žiga. Krajnji korisnik će videti sliku sa dodatim žigom bez znanja da je on dodat na originalnu sliku. Slika će vizuelno izgledati vrlo slično krajnjem korisniku kao i original, iako je žig dodat na samu sliku [2]. Po uzoru na telekomunikacioni model, ovaj algoritam se takođe sastoji iz tri dela: predajnika (može biti softver koji vrši dodavanje žiga), kanala (koji bi se koristio za prenos i napade) i prijemnika (detektora, koji takođe može biti softver) za izdvajanje vodenog žiga [3].

U ovom radu je fokus istraživanja na specifičnoj klasi slika, tzv. SAR slikama [4]. SAR (*Synthetic Aperture Radar*) predstavlja radar koji se koristi na satelitima za kreiranje slike Zemljine površine. SAR sistem koristi kretanje radarske antene preko ciljanog regiona kako bi se obezbedila što je moguće finija rezolucija slike u poređenju sa konvencionalnim radarskim sistemima. Moderni satelitski radarski sistemi imaju rezoluciju od oko 1m.

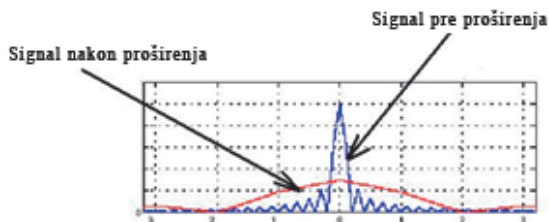
Intenziteti rasejanih radarskih impulsa se reflektuju od Zemljine površine i podaci se memorišu u SAR slikama u vidu piksela. Vrednosti piksela su relativno niske ukoliko je u pitanju ravno tlo. Međutim, njihov intenzitet se povećava zbog povratnog rasejanja od metala i kamenih objekata. Zbog toga pikseli slike imaju visok dinamički opseg nivoa osvetljenosti, koji se kreće od 0 do 65.535. Može se reći da SAR slike pripadaju široj klasi slika sa visokim dinamičkim opsegom HDR (*High Dynamic Range*). Nedostatak SAR slika je što ne mogu da budu prikazane bez odgovarajućeg kontrasta svih detalja, što je nemoguće ostvariti na još uvek tradicionalnim monitorima niskog dinamičkog opsega.

Imajući u vidu da se SAR slike primenjuju, pre svega, u vojnim aplikacijama, neophodno je omogućiti skrivanje podataka iz tih, veoma zahtevnih slika. U ovom radu je predstavljeno jedno moguće rešenje za skrivanje tih podataka u SAR slici koristeći metodu digitalnog vodenog žiga. Prema nama dostupnim informacijama iz literature, postoji malo istraživanja na tu temu.

Rad je organizovan na sledeći način. Nakon uvodnog dela, u drugom delu rada opisane su kako teorijske osnove, tako i algoritam predloženog rešenja. U nastavku je prikazano to rešenje koristeći odgovarajuću platformu i postupke modulacije. Zatim su analizirani rezultati procene kvaliteta dobijenih slika primenom objektivnih mera. U poslednjem delu rada sumirani su rezultati istraživanja i dati pravci budućeg rada.

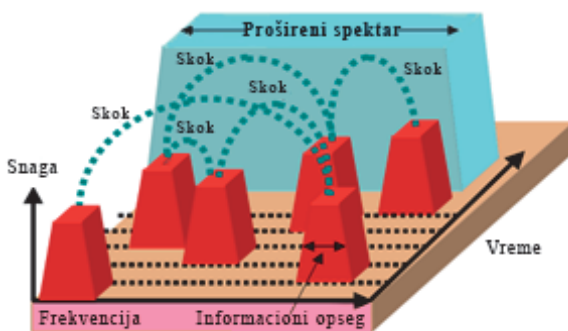
2. Teorijske osnove i algoritam predloženog softverskog rešenja

U radu smo se opredelili za primenu tehnike proširenog spektra SS (*Spread Spectrum*). Prošireni spektar je zasnovan na proširenju propusnog opsega kako bi se obavio prenos signala. Neke od prednosti ove tehnike se odnose na otpornost na uskopojasnu interferenciju, zatim na otežano radio-izviđanje i prislušivanje, kao i to što je omogućen višestruki pristup na bazi kodnog multipleksa. Imajući to u vidu, signal proširenog spektra se može prenositi u opsezima na kojima je već aktivan neki drugi sistem tako što je interferencija između dva signala minimalna. Izgled signala pre i posle proširenja opsega dat je na Slici 1.



Slika 1. Signal pre i posle proširenja

Jedan od nekoliko načina proširenja spektra jeste frekvencijsko skakanje FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*) [5]. FHSS predstavlja modulacionu tehniku kod koje se frekvencijski skokovi definišu na određenom frekvencijskom opsegu. Predajnik u definisanom vremenskom intervalu šalje podatke na određenoj frekvenciji, a zatim nastavlja slanje podataka na drugoj frekvenciji. Ovaj postupak se ponavlja sve dok predajnik ne završi sa emitovanjem signala, što je prikazano na Slici 2.



Slika 2. FHSS postupak proširenja spektra signala

Predajnik i prijemnik moraju da budu sinhronizovani. Sinhronizacija omogućava održavanje logičkog kanala. Tokom sesije ako se prekine logički kanal poslani podaci se gube. Pojavljivanje interferencije na određenoj frekvenciji uzrokuje da predajnik napusti posmatranu frekvenciju pre predviđenog vremena. Prijemnik šalje iste podatke na drugoj frekvenciji. Prednost FHSS tehnike je da je otporna na preslušavanje, čime se postiže zadovoljavajući nivo bezbednosti prenosa signala. FHSS omogućava rad više različitih bežičnih mreža na istom frekvencijskom području, bez pojave interferencije. FHSS najčešće koristi BPSK (*Binary Phase-shift Keying*) modulaciju signala, zahvaljujući kojoj se ostvaruje smanjenje uskopojasnih smetnji i povećanje kapaciteta kanala [6].

Centralni motiv ovog rada je razvoj softverskog rešenja sa grafičkim korisničkim interfejsom (*Graphical User Interface*, GUI) za primenu *watermarking* tehnike/a (upotrebom programskog jezika *JavaScript*). Pri tome je algoritam testiran na SAR slikama primenom tehnike proširenog spektra FHSS i BPSK modulacije.

Softversko rešenje je moguće pokrenuti na računaru ili mobilnom uređaju, preko veba, i dostupno je na platformi otvorenog koda *GitHub*, pod nazivom *proJS-w* [7]. Pre prikaza samog softverskog rešenja, opisać se odgovarajući algoritam, koji se sastoji od 11 koraka:

1. korisnik odabira proizvoljnu SAR sliku sa računara;
2. učitavaju se vrednosti svih piksela slike i izdvajaju prvih 512;
3. dati pikseli se pretvaraju u niz sa povratkom na nulu (*Return-to-Zero*, RZ) pri čemu se vrednosti piksela koje su veće od nule pretvaraju u jedinicu (1), a vrednosti sa nulom (0) zadržavaju datu vrednost (0);
4. sada se dati RZ niz pretvara u niz bez povratka na nulu (*Non-Return-to-Zero*, NRZ), tj. NRZ niz kod koga se vrednosti sa jedinicom (1) zadržavaju, a vrednosti sa nulom dobijaju vrednost minus jedinice (-1);
5. sledi proces generisanja signala nosioca sa zadatim parametrima (vreme, period, frekvencija) u vidu kosinusnog signala (gledano iz ugla definisanja programskog koda, signal nosilac je trigonometrijska/kosinusna funkcija i zavisi od navedenih parametara);
6. množenjem NRZ signala (iz koraka 4) i signala nosioca (iz koraka 5) nastaje signal modulisan digitalnom binarnom faznom modulacijom, tj. BPSK modulisani signal;
7. generisanje signala za širenje FHSS sa četiri različita frekvencijska opsega u određenim intervalima;
8. nastanak proširenog BPSK signala uz FHSS kôd, gde dati kôd (signal) nastaje množenjem BPSK signala (iz koraka 6) sa FHSS signalom (iz koraka 7);
9. signal nastao u koraku 8 sadrži 512 vrednosti i svaka njegova vrednost se oduzima od vrednosti prvih 512 piksela originalne slike (iz koraka 2), gde se ove vrednosti piksela dodaju novoj slici, zaokružuju na ceo broj i tako nastaje vodeni žig;
10. proces izdvajanja vodenog žiga;
11. proračun parametara vršni odnos signal-šum (*Peak Signal-to-Noise Ratio*, PSNR) i indeksa strukturalne sličnosti (*Structural Similarity Index Measure*, SSIM).

3. Grafički korisnički interfejs i modulacioni postupci kod softverskog rešenja

U okviru testiranja tehnike vodenog žiga, u ovom radu korišćene su četiri SAR slike različitih rezolucija [8], prikazane na Slici 3.

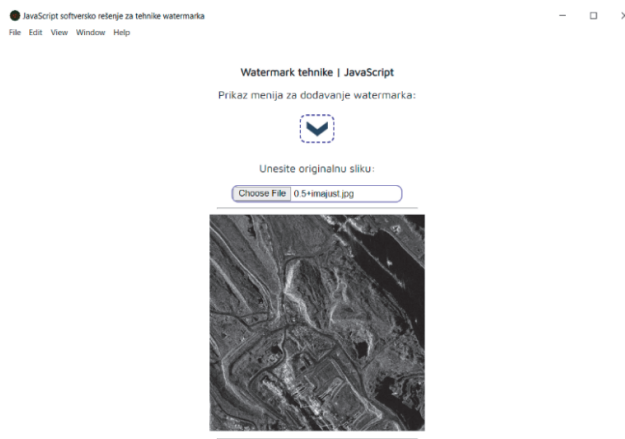


Slika 3. Primer četiri SAR slike

Rezultati objektivne procene kvaliteta datih ulaznih slika dobijeni su pomoću metrika PSNR i SSIM. Ove metrike, odnosno parametri se koriste za određivanje

kvaliteta procesa ugrađivanja vodenog žiga i uopšteno obrade slike. PSNR predstavlja logaritamski odnos signala sa maksimalnom snagom (u ovom slučaju piksela sa najvišom vrednošću od 255) i šuma koji degradira kvalitet signala (slike) [9]. Za proračun šuma se koristi vrednost srednje kvadratne geške (*Mean Square Error*, MSE). PSNR se izražava u decibelima [dB]. SSIM parametar određuje koliko je slika sa vodenim žigom slična originalnoj slici. Vrednosti ovog parametra se kreću u opsegu od 0 (potpuno različita) do 1 (potpuno slična).

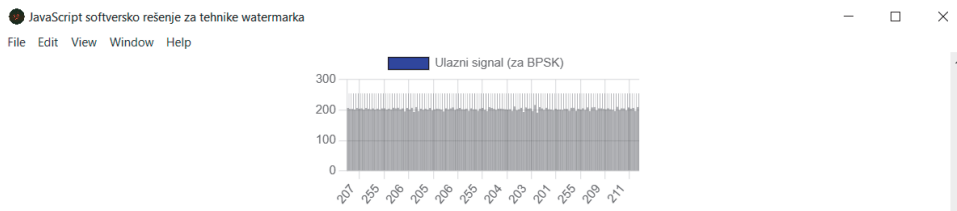
Početni korisnički interfejs softverskog rešenja je vidljiv na Slici 4. Korisnik ima mogućnost odabira proizvoljne slike sa računara. U primeru ovog rada je uzeta prva SAR slika sa Slike 3.



Slika 4. Odabir proizvoljne slike i prikaz u okviru softverskog rešenja

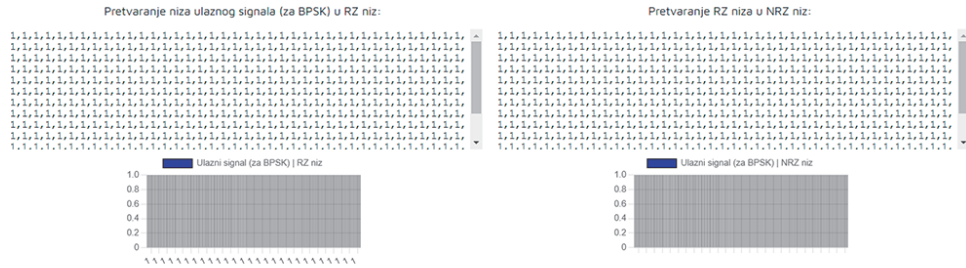
Nakon odabira slike, prikazuju se njeni osnovni podaci, koji se odnose na rezoluciju slike, ukupni broj piksela i njihove vrednosti. Primena tehnike proširenog spektra uslovlila je korelaciju između definisane originalne slike i vodenog žiga. Frekvencije originalne slike posmatrane su kao kanali na kojima se izvršava prenos FHSS signala. Inače, signal predstavlja binarnu sekvencu koju definiše vodeni žig.

Za realizaciju tehnike vodenog žiga u okviru ovog rada biće potrebno prvih 512 piksela ulazne slike. Date vrednosti su ulaz za proces BPSK modulacije, a grafički prikaz vrednosti (ovih piksela) se može videti na Slici 5.



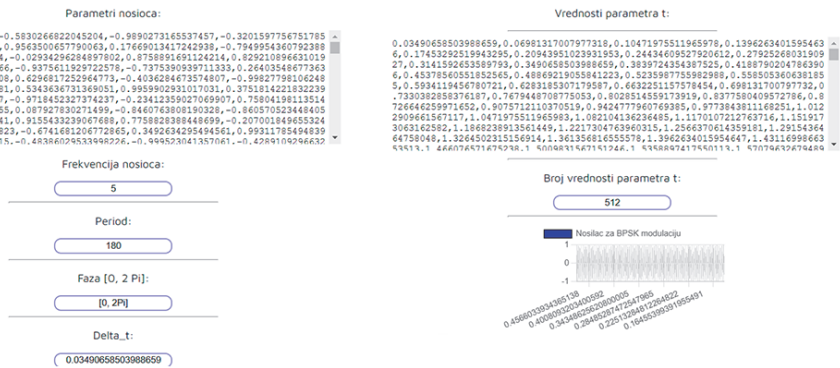
Slika 1. Grafički prikaz vrednosti signala za BPSK modulaciju

Sada sledi proces pretvaranja ulaznog signala za BPSK u niz sa povratkom na nulu, (RZ niz). Naredni korak je pretvaranje RZ niza u NRZ niz, uz prikaz numeričkih i grafičkih vrednosti, kao na Slici 6.



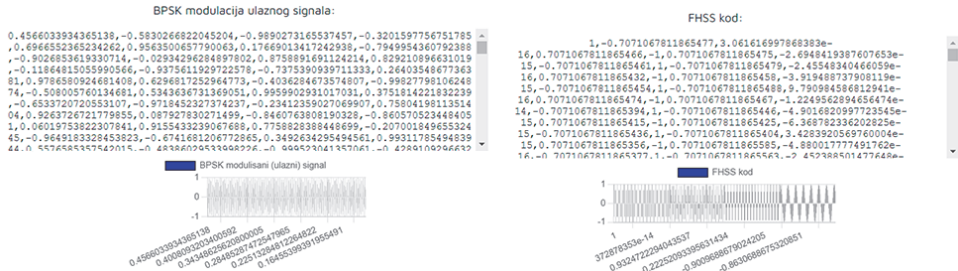
Slika 2. (a) Pretvaranje vrednosti piksela slike u RZ niz; (b) pretvaranje RZ niza u NRZ niz

Sledeći korak je generisanje signala nosioca. Generisane vrednosti signala nosioca, uz prapratne parametare (frekvencija nosioca, period, faza i vrednosti Δt), kao i prikaz talasnog oblika signala vidljivi su na Slici 7. Može se primetiti da je signal nosilac zadobio oblik sinusoidalne funkcije slučajne promenjive.



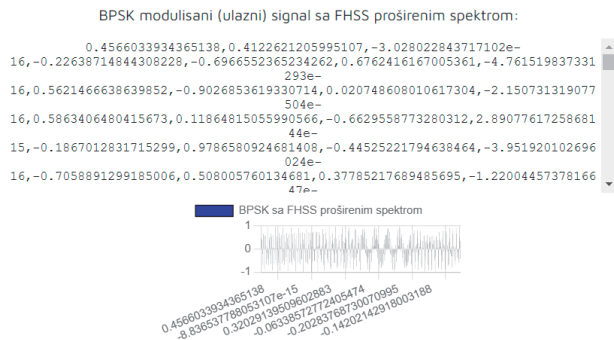
Slika 3. (a) Generisanje signala nosioca uz definisane parametre; (b) grafički prikaz vrednosti signala nosioca

Nakon generisanog signala nosioca sledi proces BPSK modulacije. Numeričke i talasne vrednosti BPSK modulisanog, ulaznog signala su vidljive na Slici 8(a). Numeričke i talasne vrednosti FHSS koda širenja su vidljive na Slici 8(b). U novonastalom signalu se mogu uočiti četiri (pomenuta) različita frekvencijska opsega.



Slika 4 (a) Numeričke i grafičke vrednosti BPSK modulisanog signala; (b) numeričke i grafičke vrednosti FHSS koda širenja

Kao završni rezultat svih prethodno pomenutih metoda nastaje BPSK modulisani signal sa FHSS proširenim spektrom, čije se numeričke i talasne vrednosti mogu videti na Slici 9.



Slika 5. Numeričke i grafičke vrednosti BPSK modulisanog signala sa FHSS kodom

Ove vrednosti se oduzimaju od svake pojedinačne vrednosti ulazne sekvence 512 piksela originalne slike. Tako nastaje niz od 512 piksela koji su dodati novoj slici, (uz prethodno zaokruživanje na ceo broj) i to predstavlja vodeni žig. Nakon njegovog kreiranja, nova slika sa vodenim žigom se prikazuje u okviru interfejsa programa, kao na Slici 10.



Slika 6. Slika sa dodatim vodenim žigom

Dodati vodeni žig se može izdvojiti iz dobijene slike, uz prikazivanje njegovih numeričkih vrednosti. Kako bi se procenili efekti predloženog algoritma, na kraju se vrši poređenje dobijenih rezultata i proračun parametara PSNR i SSIM. Da bi se to obavilo, potrebni su propratni, pomoćni izrazi koje je potrebno primeniti pre dobijanja samih parametara. Neki od tih izraza se odnose na srednju kvadratnu grešku, proračun osvetljenja i kontrasta slike uz procenu standardne devijacije. Na Slici 11 su uočljive krajnje vrednosti PSNR i SSIM parametara.



Slika 71. Krajnje vrednosti PSNR i SSIM parametara

4. Evaluacija dobijenih rezultata

U prethodna dva poglavlja je dat prikaz unosa SAR slika, dodavanja/izdvajanja vodenog žiga, dobijanja informacija o samoj slici, uz proračun parametara PSNR i SSIM. Prilikom ponavljanja datog postupka na veći broj slika, dobijaju se ohrabrujući rezultati. U ovom poglavlju su tabelarno predstavljene vrednosti parametara PSNR i SSIM nad uzorkom od četiri SAR slike različitih rezolucija. Slike su *.jpeg i *.png tipa. Treća i četvrta vrednost u Tabeli 1 se odnose na jednu sliku, koja je iz *.jpg formata pretvorena u *.png format. Može se uočiti da su rezolucija (izražena u pikselima - px), kao i vrednosti parametara PSNR i SSIM ostale iste.

Tabela 1. Tabelarni prikaz rezultata obrade nekoliko ulaznih SAR slika

Format slike	Rezolucija (px)	Tip slike	PSNR [dB]	SSIM
*.jpg	832x837	SAR	85,48	0.999999998326913
*.jpg	835x831	SAR	85,47	0.999999998331689
*.jpg	1221x820	SAR	87,06	0.999999998863758
*.png	1221x820	SAR	87,06	0.999999998862067
*.jpg	2739x1779	SAR	93,93	0.999999999741797
Σ/n	1370x1017		87,80	0,99999999883

Iz navedene tabele se može zaključiti da se sa povećanjem rezolucije slike povećava vrednost PSNR parametra, kao i SSIM. Dobijene vrednosti ovih parametara, na osnovu testiranih (ulaznih) slika su iznad 85 dB za PSNR, i 0,999999 za SSIM gde je broj piksela svake slike veći od 10^5 piksela dobijen jednostavnim množenjem širine i visine slike (npr. $832 \times 837 \text{ px} = 696384 \text{ px}$). Originalna slika će se razlikovati od novonastale slike sa vodenim žigom za 512 piksela, o čemu i govore visoke vrednosti vršnog odnosa-signal šum (mala srednja kvadratna greška), kao i visok indeks strukturalne sličnosti slike (SSIM – približno jednak jedinici).

5. Zaključak

Na osnovu rezultata ovog rada, zaključak bi bio da je moguće razviti funkcionalno softversko rešenje za tehnike ugrađivanja vodenog žiga sa GUI interfejsom uz pomoć programskog jezika *JavaScript*. Program bi odlikovao korisnički interfejs koji nije komplikovan za korišćenje, uz izvršavanje svih operacija i zadataka, bez prevelike aktivnosti krajnjeg korisnika. Trenutno program dobro funkcioniše sa *.jpg i *.png slikama, dok je za rad sa npr. *.tif/*.tiff formatom slika potrebna prethodna konverzija što se odnosilo i na slučaj u testiranju ovog algoritma u neki od dva navedena formata (upotrebom drugih metoda, npr. na vebu).

Brzina obrade i učitavanja slike zavisi od performansi uređaja (računara/telefona) na kome se obavlja, ali je svakako izazov u optimizaciji softverskog rešenja i postizanju još boljih rezultata, koji su trenutno dobri za testirane rezolucije slike.

Kreirani vodeni žig u ovom radu sadrži 512 piksela i daje visoke vrednosti parametara PSNR i SSIM. Takođe jedan od bitnijih izazova bi bio kreiranje žiga većeg kapaciteta uz postizanje brze obrade i visokih performansi parametara PSNR i SSIM. Za budući rad je značajno testiranje i kombinacija nekih drugih modulacionih tehnika sa tehnikama proširenog spektra, uz definisanje pogodnog programskog koda.

Literatura

- [1] A. Rashid, "Digital Watermarking Application and Techniques: A Brief Review", *International Journal of Computer Applications Technology and Research*, vol. 5, issue 3, pp. 147-150, 2016.
- [2] B.K. Singh, T. Dua, "Image Authentication Using Digital Watermarking", *International Journal of Computational Engineering Research (IJCER)*, vol. 5, issue 4, pp. 2250-3005, April 2015.
- [3] T. Nguyen-Thanh, T. Le-Tien, "Study on Improved Cooperative Spread Spectrum Based on Robust Blind Image Watermarking", *Journal of Advances in Information Tehnology*, Vol. 11, No. 3, August 2020.
- [4] A. Gavrovska, I. Reljin, A. Samčović, M. Miliwojević, G. Zajić, V. Starovoitov, "On luminance reduction in high dynamic range synthetic aperture radar images", 25. Telecommunication Forum TELFOR 2017, Belgrade, Serbia, pp. 605-608, 21-22 November 2017.
- [5] G. Boquet, et al., "LR-FHSS: Overview and performance analysis", *IEEE Communications Magazine*, vol. 59, no. 3, pp. 30-36, 2021.
- [6] I. Cox, J. Kilian, T. Leighton, T. Shamoan, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia", *IEEE Transactions on Image Processing*, December 1997.
- [7] JavaScript softversko rešenje za tehnike watermark-a – proJS-w, dostupno na: <https://github.com/alukovic/proJS-w>
- [8] R.A. Alagu Raja, K. Vaiyammal, "Change Detection on SAR Images", *International Journal of Engineering & Technology (IJERT)*, vol. 5, issue 17, 2017.
- [9] U. Sara, M. Akter, M. S. Uddin, "Image Quality Assessment through FSIM, SSIM, MSE and PSNR - A Comparative Study", *Journal of Computer and Communications*, pp. 8-18, March 2019. doi:10.4236/jcc.2019.73002

Abstract: *Digital image watermarking technique has found its place as an essential element of modern multimedia communication systems, primarily due to the protection of the copyright of the original image. The idea of this paper is to create a software solution for the application of digital watermarking technique with BPSK modulation and FHSS spread-spectrum methods, using the JavaScript programming language. A user selects an arbitrary image from the computer and receives basic information about the image. The corresponding steps include: extracting the first 512 pixels of the input image, converting them into a return-to-zero (RZ) sequence and a non-return-to-zero (NRZ) sequence, and forming five carrier signals (as preparation for BPSK modulation), respectively. The given (BPSK) modulated signal is now spread by the FHSS method. Final results are verified on SAR images by PSNR and SSIM, as important objective parameters for image quality assessment.*

Keywords: *BPSK modulation, FHSS spread-spectrum, JavaScript, multimedia, watermarking*

**DIGITAL WATERMARKING OF SAR IMAGES USING
BPSK MODULATION AND SPREAD SPECTRUM**

Andreja Samčović, Ana Gavrovska, Aleksandar Luković