

Implementacija algoritma za procenu šuma u slici u realnom vremenu, zasnovano na programabilnim sekvencijalnim mrežama

Srđan Radulović, Vladimir Zlokolica, *Member IEEE*, Mihajlo Katona, *Member IEEE*, Dušan Majstorović, Dragan Kukolj, *Member IEEE*

Sadržaj — U ovom radu je opisan algoritam koji se koristi za procenu nivoa šuma u slici kao i njegova implementacija na programabilnoj sekvencijalnoj mreži (Field Programmable Gate Array - FPGA). Algoritam za procenu nivoa šuma u slici je predložen i detaljno opisan u [1]. Svrha rada je verifikacija implementacije algoritma za sisteme u realnom vremenu i njegova implementacija za namensku fizičku arhitekturu (hardware), koja se može integrisati u modernim video sistemima. Dati su rezultati ispitivanja, opisani blokovi od kojih se algoritam sastoji u fizičkoj realizaciji. Takođe je opisana i funkcionalnost blokova. Algoritam je realizovan pomoću jezika za opis fizičke arhitekture *Verilog*.

Gljučne reči — Noise estimation, wavelet, FPGA, RTL

I. UVOD

U multimedijalnom svetu primena digitalnih slika je postala uobičajena. Prelaskom sa analognog na digitalni domen otvorene su nove mogućnosti u obradi slika i video sekvenci. Dve najčešće operacije koje se izvode su kompresija i smanjenje šuma. Za smeštanje (čuvanje) velikih slika i njihov prenos potrebni su efikasni mehanizmi za kompresiju. S druge strane, smanjenje šuma se koristi za poboljšanje vizualnog kvaliteta slike nakon prenosa kroz sredinu sa šumom.

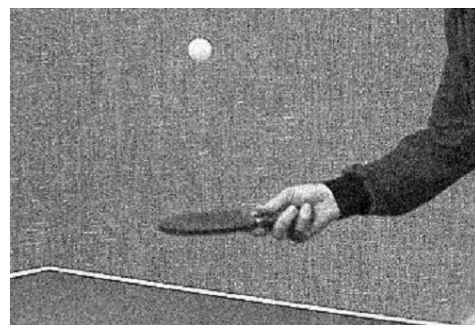
Video je postao deo naše svakidašnjice, npr. emitovanje televizijske slike. Mnoge druge video aplikacije uključuju: video poziv, telekonferenciju, satelitsko izviđanje, autonomnu navigaciju, astronomsku i medicinsku obradu slike. Video, kao sekvenca slika, se često naziva sekvenca. U mnogim video aplikacijama se nalazi određena količina šuma koju je potrebno otkriti i što bolje ukloniti ili bar smanjiti njegovu prisutnost u slici.

U mnogim video obradama, kao što je poboljšanje video kavaliteta, kompresija, promena formata slike, otkrivanje pokreta u slici itd., poznavanje veličine šuma u ulaznoj

slici je od krucijalne važnosti. Precizna informacija o veličini šuma u sekvenci slika može da ima značajan uticaj na efikasnost algoritama za obradu video signala i može da se koristi za optimizaciju ovih algoritama za obradu slike.

U algoritmu za procenu veličine šuma, razmatramo u ovom radu, se podrazumeva da se vrši otkrivanje belog Gausovog šuma, koji se smatra kao dobar model za realan šum. Izvori šuma su razni: šum se može pojaviti prilikom snimanja kamere, jer se on pojačava prilikom lošeg osvetljenja, npr. kamere koje se koriste za noćno snimanje. Drugi izvori šuma mogu da se pojave prilikom prenosa preko analognih kanala, npr. satelitski ili zemaljski prenos. Iako digitalni prenos video signala može da izbegne pojavu šuma, postoji ekonomski razlog zbog kojeg treba ograničiti širinu protoka kanala do te mere da su degradacije moguće i neizbežne što dovodi do pojave šuma i u digitalnom prenosu video signala. Digitalni TV ulaz (kamera) i izlaz (ekran) su uglavnom analogni uređaji, pa je moguće da se šum pojavi prilikom snimanja i pre nego što dođe do analogno-digitalnog pretvarača, a kod izlaza (ekran) se može pojaviti šum prilikom pretvaranja iz digitalnog u analogni signal.

Kao ulazna slika u algoritam, se koristi crno-bela slika (gray scale) tj. koristimo luminatni deo ulazne slike koja sadrži sve komponente boje. Razlog za ovo je opšte poznata činjenica da se većina vizuelnih informacija prenosi putem osvetljaja u slici, dok šum prisutan u komponentama boje je vizuelno slabo uočljiv. Primer jedne takve slike, zašumljene belim Gausovim šumom, koji je dodat na luminatni deo slike, na svaki piksel nezavisno, je dat na Sl. 1.



Sl. 1 Crno-bela (gray scale) slika zašumljena belim Gausovim šumom ($\sigma_n = 20$) [1]

Ovaj rad je delimično finansiran od Ministarstva za nauku Republike Srbije, projekat 161003, od 2008. god.

Srđan Radulović, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Srbija, odsek Računarstvo i automatika, Trg Dositeja Obradovića 6 Novi Sad (telefon: 381-21-4801-119; e-mail: srdjan.radulovic@rt-rk.com).

Vladimir Zlokolica, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Srbija, odsek Računarstvo i automatika, Trg Dositeja Obradovića 6 Novi Sad; (telefon: 381-21-4801-113; e-mail: vladimir.zlokolica@rt-rk.com).

Mihajlo Katona, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Srbija, odsek Računarstvo i automatika, Trg Dositeja Obradovića 6 Novi Sad; (telefon: 381-21-4801-121; e-mail: mihajlo.katona@rt-rk.com).

II. OPIS ALGORITMA ZA PROCENU VELIČINE ŠUMA U SLICI

U ovom poglavlju će biti objašnjen algoritam koji se koristi za procenu nivoa šuma u slici. Princip na kome se zasniva računanje njegove vrednosti, matematičke formule i aparati koje treba primeniti da bi se došlo do željene procene vrednosti šuma, se zasniva na računanju prostorne raspodela intenziteta gradijenta. Koriste se gradijenti sačinjeni pomoću operatora malih dimenzija (Sobelov operator), iz razloga što operatori velikih dimenzija povećavaju složenost algoritma. Računa se histogram na osnovu intenziteta gradijenta i traži se podudarnost sa gradijentom, koji se najčešće pojavljuje u histogramu, i procenjenim šumom standardne devijacije [1].

Ideja metode za računanje šuma je sledeća: pošto je Gausov šum uniformno raspoređen preko svih piksela slike, može da se pretpostavi da je većina amplituda učestalijih gradijenata uzrokovana šumom i da se može povezati sa ulaznim nivoom šuma [1].

Gradijenti se računaju koristeći Sobelov operator koji se računa kao kvadratni koren od izvoda horizontalnog (g_x) i vertikalnog (g_y) pravca. Odgovarajući operator koji se koristi, sastoji se od 3x3 konvolucione matrice kao što je prikazano na Sl. 2.

$$(a) \Delta_x \quad (b) \Delta_y$$

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

1	2	1
0	0	0
-1	-2	-1

Sl. 2 Matrica za horizontalno i vertikalno otkrivanje ivica u Sobelovom operatoru [1]

Izlaz Sobelovog operatora tj. vrednost gradijenta, za diskretnu prostornu poziciju (x,y) , je data:

$$G(x, y, t) = \sqrt{g_x^2(x, y, t) + g_y^2(x, y, t)} \quad (1)$$

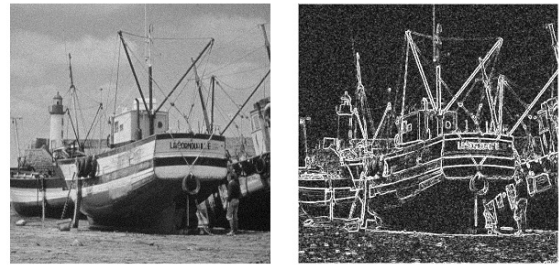
Neka $h(t) = h(i;t)$ označava histogram od $G(x,y,t)$ za okvir t (frame) preko cele prostorne pozicije (x,y) . Drugim rečima $h(i;t)$ predstavlja broj piksela sa gradijentom i u okviru t . Traži se najučestaliji gradijent za ulaznu sliku tj. vrednost apscise γ kod koje vrednost amplitude gradijenta u histogramu h dostiže maksimum:

$$\gamma(t) = \arg \max_{i \in Q} (h(i;t)) \quad (2)$$

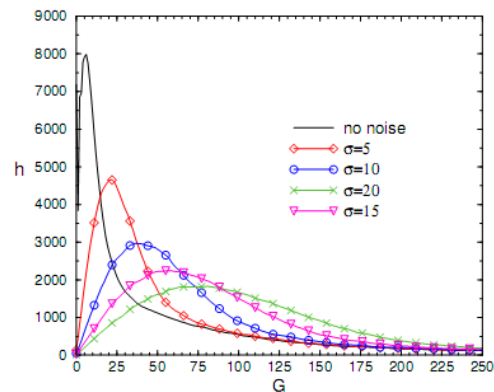
Na Sl. 3 (a) je prikazana zašumljena slika (Gausovim šumom $\sigma_n = 10$), a na Sl. 3 (b) ta ista slika obrađena Sobelovim operatorom, respektivno [1].

Histogram gradijenata slike Sl. 3 za različite nivoe šuma (Gausov šum, $\sigma_n = 0,5,10,15,20$) je prikazan na Sl. 4. Kao što se može videti sa Sl. 4 kriva se pomera u desno kako se povećava nivo šuma, tj. intenzitet najučestalijih gradijenata γ se pomera u desno za veće nivoe šuma.

(a) Noisy "Boat" image ($\sigma_n = 10$) (b) Gradient image



Sl. 3 Prikaz zašumljene slike i njegove obrađene slike



Sl. 4 Prikaz vrednosti histograma za različite vrednosti nivoa šuma [1]

Histogrami različitih slika, izmenjenih istom količinom Gausovog šuma, su u globalu veoma različiti. Kao što je prikazano na Sl. 5 (a), koja prikazuje tri različita histograma intenziteta piksela za tri slike zašumljene istim nivoom šuma, dok je na Sl. 5 (b) prikazan histogram intenziteta gradijenata nakon primene Sobelovog operatora [1].

U mnogim slikama je pozicija najučestalijeg gradijenta γ direktno povezana sa nivoom šuma. Ovaj odnos između procenjene standardne devijacije $\sigma_e(t)$ dodatog Gausovog šuma za okvir iz sekvence slika t i $\gamma(t)$ se može aproksimirati razvojem u Tejlorov red:

$$\sigma_e(t) = 0.2661\gamma(t) - 0.7827 \quad (3)$$

Sledeće što će biti navedeno je metoda prostornog gradijenta za procenu šuma zasnovana na wavelet transformaciji. Ovde se koristi direktna wavelet transformacija bez decimacije sa jednim stepenom transformacije, tj. bez rekurzivnog pozivanja wavelet operatora. Osnovne informacije o wavelet transformaciji se mogu pronaći u [5] i [6].

Kod waveleta se gradijenti ustanovljujaju kao koeficijenti waveleta iz najviše skale, horizontalno i vertikalno orijentisanih opsega. Gradien $G(r,t)$ iz ulazne zašumljene sekvence $I_n(r,t)$ se definiše sledećom jednačinom:

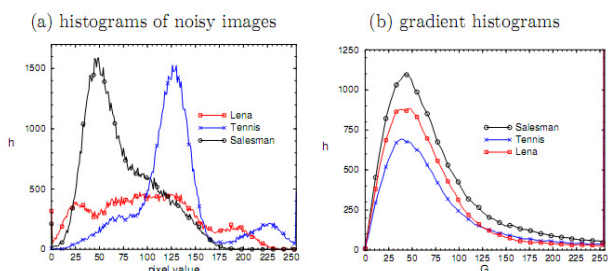
$$G(r, t) = \sqrt{(HL(r, t))^2 + (LH(r, t))^2} \quad (4)$$

gde su $HL(r,t)$ i $LH(r,t)$ vrednosti koeficijenata iz horizontalno i vertikalno orijentisanih wavelet opsega. Uz pomoć metode najmanjih kvadrata se može aproksimirati zavisnost između $\gamma(t)$ i procenjene standardne devijacije

šuma $\sigma_c(t)$ za sliku iz sekvence t sa polinomom drugog stepena:

$$\sigma_c(t) = k_1\gamma^2(t) + k_2\gamma(t) + k_3, \quad (5)$$

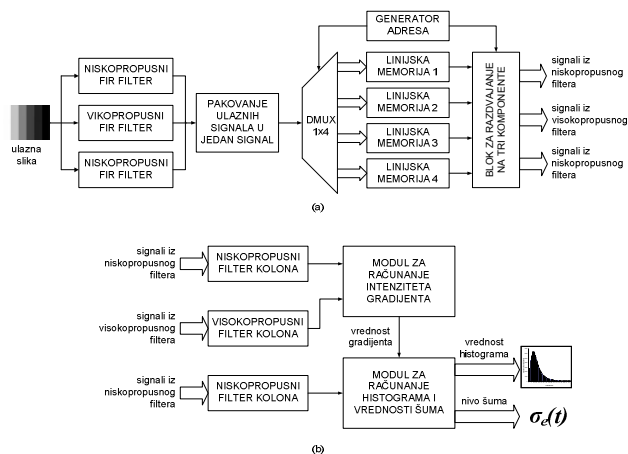
pri čemu koeficijenti imaju sledeće vrednosti $k_1 = -0.001$, $k_2 = 1.069$, $k_3 = -2.213$. Pošto je koeficijent k_1 veoma mali, može se reći da je model linearan i on daje približno iste vrednosti procene šuma kao i model iz formule (3). Drugim rečima, način na koji se izvode gradijenti za procenu šuma ne igra značajnu ulogu [1].



Sl. 5 Prikaz histograma intenziteta piksela (a) i histogram intenziteta gradijenata (b) [1]

III. IMPLEMENTACIJA ALGORITMA ZA PROCENU ŠUMA U FIZIČKU ARHITEKTURU

Algoritam koji je opisan u predhodnom poglavlju II je implementiran u fizičkoj arhitekturi kako bi se primenio i ispitao u realnom sistemu. U tu svrhu je korišten jezik za opis fizičke arhitekture Verilog [4], kao i simulator pomoću kojeg je moguće ispitati opisani sistem, njegove komponente i pratiti kako se obrađuju ulazni podaci. Blok šema realizovanog sistema je data na Sl. 6. Blok šema je razdvojena na dva dela (a i b) kako bi lakše mogao da se prikaže i objasni celukupni sistem.



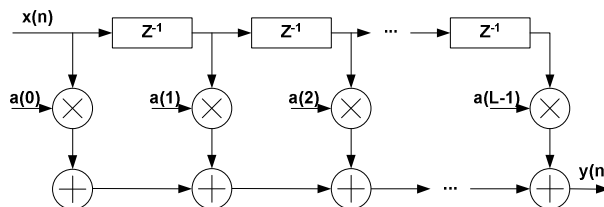
Sl. 6 Blok šema algoritma za procenu šuma u fizičkoj arhitekturi

Ulazni podaci u sistem predstavljaju slike video sekvence ili samo jedna slika, u crno-belom formatu. Ukoliko se obrađuju slike u boji (RGB), potrebno je iz nje izdvojiti luminantni deo iz razloga što algoritam za procenu šuma koristi samo nivo osvetljaja u slici. Osnovni razlog za ovakav način obrade je želja da namenska arhitektura za redukciju šuma iz slike bude što jednostavnija za implementaciju u smislu zauzetih fizičkih resursa.

Svaki odbirak u crno-belom formatu slike (eng. sample) je potrebno obraditi nedecimiranom wavelet transformacijom. Ova tehnika daje veoma dobre rezultate prilikom obrade signala sa veoma ostrim vrhovima, što predstavlja prednost wavelet transformacije nad Furijeovom transformacijom kada je potrebno izolovati diskontinualitete signala. Ova karakteristika je vrlo korisna za otkrivanje ivica u oblasti digitalne obrade signala slike.

Wavelet transformacija (wavelet dekompozicija) pretvara signal iz vremenskog domena u vremensko-frekventni domen. Ova transformacija signala zasniva se na razdvajanju niskofrekventne od visokofrekventne komponente signala. Niskofrekventna komponenta predstavlja aproksimaciju signala koja je izražena koeficijentima skaliranja (scaling coefficients), dok visokofrekventna komponenta zadržava detalje (oštre ivice) i izražena je wavelet koeficijentima (wavelet coefficients). Korisna informacija sadržana u niskofrekventnoj komponenti signala se i dalje može raščlanjivati kao original [3].

Dekompozicija signala na nisko i visokofrekventnu komponentu obavlja se pomoću FIR filtara (Sl. 7).



Sl. 7 Blok dijagram FIR filtara [3]

Kao što je rečeno, za wavelet transformaciju je potrebno filtrirati ulazne slike. U ovom algoritmu se koristi 2D wavelet transformacija čija je implementacija opisana u [2] za potrebe nedecimirane transformacije, dok [3] opisuje njenu primenu za decimiranu wavelet transformaciju.

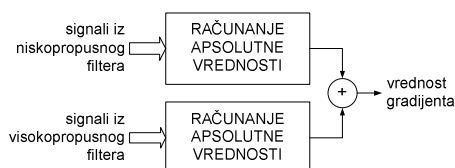
Prvo se izvodi horizontalno filtriranje uz pomoć tri FIR filtara, kao što se može videti na Sl. 6. Dva filtra su niskopropusna, a jedan je visokopropusni. Tri izlazna signala se nakon toga pakuju u jedan podatak, tj. signal koji zatim dolazi na ulaz demultipleksera 1x4.

Demultiplekserom se određuje koja će se od četiri linijske memorije puniti sa podacima. Linijske memorije služe za smeštanje po jedne vrste (drugim rečima linije) ulazne filtrirane slike i realizuju se uz pomoć namenskih memorijskih blokova unutar programabilne sekvencijalne mreže. Sadržaj memorije se menja kružno, pri čemu memorija koja ima najstarije podatke se puni novim podacima. Da bi se ova radnja obavila potreban je brojač (generator adrese) koji je ujedno i adresna linija za izbor izlaza iz demultipleksera. Veličina linijske memorije je dovoljna da primi jednu liniju slike u HD rezoluciji (1920x1080), tj. 1920 piksela.

Na blok šemi Sl. 6 (a) se nakon linijskih memorija nalazi blok za razdvajanje na tri komponente, koji se sastoji od multipleksera za razdvajanje izlaznih podataka iz linijskih memorija na tri komponente, koje su ranije u obradi bile zapakovane u jedan podatak. Tako razdvojene tri komponente se dovode na ulaze tri FIR filtara, kao što se može videti na Sl. 6 (b), koji služe za vertikalno filtriranje

ulazne slike. Ovo filtriranje, po kolonama, je potrebno da bi se izvršila 2D wavelet transformacija.

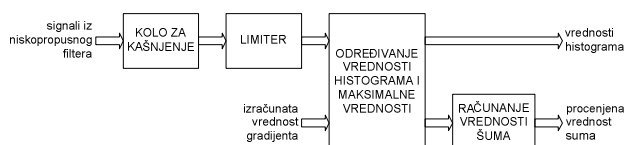
Izlazi iz dva FIR filtra, za filtriranje po kolonama (niskofrekventna i visokofrekventna komponenta), dolaze na ulaz modula za računanje intenziteta gradijenta. Detaljan prikaz ovog modula je dat na Sl. 8.



Sl. 8 Izgled modula za računanje gradijenta

Računanje intenziteta se svodi na računanje apsolutne vrednosti ulaznih podataka (niskofrekventna i visokofrekventna komponenta) i njihovog zbira što daje intenzitet gradijenta.

Poslednji blok na šemi algoritma Sl. 6 (b), je modul za računanje histograma i vrednosti šuma. Detaljan prikaz ovog modula je dat na Sl. 9. Na ulaz modula se dovodi niskofrekventna komponenta iz filtra kolona i intenzitet gradijenta. Niskofrekventna komponenta prvo dolazi na kolo za kašnjenje, a zatim i na ulaz limitera, koji ograničava ulaznu komponentu unutar zadatog opsega. Komponenta iz limitera se dovodi na ulaz bloka koji računana histogram i maksimalne vrednosti na osnovu intenziteta gradijenta, takođe privedenog na ulaz u blok. Gradijent predstavlja indeks niza koji predstavlja histogram. Kada se pronađe maksimalna vrednost, indeks te pozicije u nizu tj. vrednost gradijenta, se dovodi na ulaz bloka koji računa vrednost šuma. Vrednost šuma se računa na osnovu polinoma iz jednačine (5), a realizacija potrebnih matematičkih operacije je izvedena uz pomoć kola za množenje i sabiranje.



Sl. 9 Modul za računanje vrednosti šuma i histograma

IV. REZULTATI SINTEZE ZA CILJNU PROGRAMABILNU SEKVENCIJALNU MREŽU

Fizička realizacija, sinteza, ovog algoritma je izvedena za programabilnu sekvencijalnu mrežu (FPGA) *Virtex4* proizvođača *Xilinx* sa oznakom *XC4VLX100-FF1513-10*. Detaljan opis ove programabilne sekvencijalne mreže se nalazi u [7]. Za sintezu RTL (Register Transfer Language) opisa algoritma u programabilnu sekvencijalnu mrežu korišćen je programski paket *Xilinx ISE* [8].

Ciljna radna učestanost od 150MHz je postignuta proširenjem protočne strukture realizacije algoritma bez narušavanja funkcionalnosti u odnosu na referentni algoritam.

Zauzeće resursa u odabranoj programabilnoj sekvencijalnoj mreži je sledeće:

- Broj zauzetih logičkih ćelija (slices) 5162 (10%)
- Broj zauzetih BLOK RAM-ova 52 (21%)

- Broj zauzetih DSP blokova 28 (29%)

Iz ovih podataka se vidi da je broj logičkih ćelija za realizaciju algoritma relativno mali. Takođe, broj iskorišćenih množača raspoloživih u *Xilinx* DSP blokovima kao i internih memorijskih resursa unutar programabilne sekvencijalne mreže je isto prihvatljiv za integraciju u kompleksniji sistem radi procene nivoa šuma u ulaznoj slici u HD formatu sa maksimalnom rezolucijom 1920x1080 tačaka.

V. ZAKLJUČAK

Algoritam za procenu vrednosti šuma u slici, koji je opisan u ovom radu, može da se primenjuje na slike različitih rezolucija, kao i na video sekvence. Opisani algoritam je prvo korišten u svrhu obrade crno-bele (gray-scale) sekvence u punom formatu (*progressiv*), ali je proširivanjem moguće vršiti obradu i sekvenci u boji, kao i na isprepletenuj (*interlaced*) video sekvenci.

LITERATURA

- [1] Vladimir Zlokolica. PhD Thesis – Advanced Nonlinear Methods for Video Denoising, Gent University, Belgium, 2006
- [2] Mihajlo Katona, Aleksandra Pizurica, Nikola Teslic, Vladimir Kovacevic, and Wilfried Philips, *A Real-Time Wavelet-Domain Video Denoising Implementation in FPGA*, Hindawi Publishing Corporation, EURASIP Journal on Embedded Systems, Volume 2006, Article ID 16035, 12 pages, 2006
- [3] Đorđe Cvejanović, Mihajlo Katona, Žarko Radovanović "Jedno rešenje implementacije 2D decimirane Wavelet transformacije pogodno za obradu signala" 50. Konferencija ETRAN, Beograd 2006.
- [4] Mark Gordon Arnold University of Wyoming: "Verilog Digital Computer Design: Algorithms into Hardware", Prentice Hall PTR, 1999.
- [5] I. Daubechies, *Ten Lectures on Wavelets*, SIAM, Philadelphia, Pa, USA, 1992.
- [6] S.Mallat and S. Zhong, "Characterization of signals from multiscale edges," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 14, no. 7, pp. 710-732, 1992.
- [7] Virtex IV User Guide, Xilinx 2007 (ug070.pdf available: www.xilinx.com)
- [8] Xilinx ISE Foundation Software, available http://www.xilinx.com/ise/logic_design_prod/foundation.htm

ABSTRACT

In this paper, we present an algorithm for noise estimation in video sequences and its implementation on FPGA (Field programmable gate array - FPGA). Algorithm for noise estimation is proposed and described in [1]. Purpose of this paper is the implementation verifying of algorithm for real-time systems and his implementation in hardware. There are given the test results, described the blocks of witch the algorithm is made in physical implementation. Algorithm is described in Verilog HDL (Hardware Description Language).

REAL-TIME IMPLEMENTATION OF NOISE ESTIMATION ALGORITHM IN VIDEO SEQUENCE BASED ON THE FPGA

Srđan Radulović, Vladimir Zlokolica, Mihajlo Katona, Dušan Majstorović, Dragan Kukolj