

Ratko Ivković^{1*}, Lazar Kopanja²

¹Univerzitet u Prištini, Fakultet tehničkih nauka, Departman za elektrotehničko i računarsko inženjerstvo, Kosovska Mitrovica, Srbija, ²Alfa BK Univerzitet, Fakultet informacionih tehnologija, Beograd, Srbija

Naučni rad

ISSN 0351-9465, E-ISSN 2466-2585

UDC:620.183.4(n)

doi: 10.5937/ZasMat1801021I



Zastita Materijala 59 (1)
21 - 30 (2018)

Hibridni metod za detekciju ivica na TEM slikama nanočestica

IZVOD

Opšta primena fundamentalnih delova digitalne obrade slike nalazi sve širu primenu u različitim oblastima nauke. Sa ubrzanim razvojem tehnologije mikroskopskih slikanja, potreba za robusnom segmentacijom nanočestica značajno se povećava. Zbog velike različitosti u broju i obliku nanočestica na TEM slikama većina postojećih metoda samo je sposobna da segmentira određene vrste nanočestica. Uzimajući u obzir karakteristike nanočestičnih materijala, ovaj rad daje predlog novog algoritma detekcije ivica. Kao ocena podobnosti predloženog algoritma u radu, analiza je izvršena kako kroz prostornu, tako i kroz amplitudsku rezoluciju digitalne slike. U cilju dodatne preciznosti rezultata, analiza je vršena kroz slike nanočestica različitog stepena uvećanja. Slike tog tipa daju i različit stepen šumova u digitalnoj slici, pa je krajnja analiza dala ocenu stepena otpornosti na predloženi algoritmi detekcije ivica na šumove koji se javljaju u slikama nanočestica. Svi dobijeni rezultati ukazuju na visok stepen korisnosti obrađenih TEM slika, kako u prostornom tako i u amplitudskom domenu.

Cljučne reči: digitalna obrada slike, detekcija ivica, hibridni metod, TEM slike, nanočestice.

1. UVOD

Poslednjih godina brzi razvoj mikroskopskih slika donosi mnoge nove naučne i industrijske primene. Sve je veći broj studija koje se bave proučavanjem i analizom nanočestica u fizici, hemiji, medicini, farmaciji i biologiji. Istraživači se često bave pronalaženjem različitih načina za izdvajanje nanočestica sa TEM slika kako bi ih pripremili za dalju kvantifikaciju [1-4]. Otežavajući faktor u procesu segmentacije nanočestica je taj što se oblici i veličina nanočestica, kao i njihove raspodele na sivoskaliranim slikama razlikuju u velikoj meri. Osim toga, probleme prilikom segmentacije pravi i činjenica da su nanočestice često veoma blizu jedna drugoj ili se međusobno preklapaju.

Segmentacija slike zasnovana na procedurama detekcije ivica, predstavlja relativno mladu istraživačku oblast. Iako je od skoro u naučnim radovima ovakav vid obrade digitalne slike (DOS) se pozicionirao kao jedan od značajnih područja istraživanja. Algoritmi detekcije ivica su našli primenu u robotici, savremenim kompresijama u kreiranju video for

mata, industriji, uređajima za noćno osmatranje, algoritmima za prepoznavanje objekata i mnogim drugim [5-10]. Iako ne postoji univerzalno rešenje, gotovo sve idejne realizacije definisane su u okviru prostornog domena. Govoreći o algoritmima u prostornom domenu treba posebno istaći da su pretežno svi zasnovani na 2D gradijentu sa različito definisanim podmatricama, bilo da su one veličine 2x2 ili 3x3 piksela.

Iz svega navedenog se može steći utisak da se najbolji rezultati se dobijaju u prostornom domenu. Međutim, za određene potrebe medicinskih slika kvalitetniji rezultati se dobiju sa Piramidnim algoritmom detekcije ivica zasnovanog na amplitudskoj rezoluciji, kao što je prikazano u radu [11], a ukoliko je potrebna veća brzina obrade i rad sa analognim signalima, koristi se Fuzzy algoritam baziran na frekvencijskoj obradi slike. Osim navedenih specifičnih situacija, svi algoritmi se porede sa Sobelovim operatorom za detekciju ivica kao referentnim operatorom. Sobelov operator se odlikuje podmatricom 3x3 i zbirnim gradijentom za x i y pravac. Kao takav daje kvalitetne rezultate prilikom obrade slika svih dimenzija i različitih nivoa detalja [12].

Na bazi ovakve osnove razvili su se filtri za potrebe multi-channel images, kao što je Frei-Chen algoritam za detekciju ivica sa devet konvolucionih maski 3x3 [13] ili Prewitt na bazi 5x5 [14]. Sa druge

*Autor za korespondenciju: Ratko Ivković

E-mail: ratko.ivkovic@pr.ac.rs

Rad primljen: 26.07.2017.

Rad prihvacen: 03.10.2017.

Rad je dostupan na sajtu: www.idk.org.rs/casopis

strane, u koliko je potreban viši stepen osetljivosti algoritma, a često su to u pitanju slike sa niskim nivoom detalja, koristi se Robertova funkcija za detekciju ivica koja se bazira na 2x2 konvoluciskoj matrici [15]. Slično se može reći za Gauss-Laplace operator detekcije ivica, koji poseduje najmanji prag osetljivosti [16]. Kada su u pitanju slike umerenog nivoa detalja može se koristiti proširena verzija Robertove funkcije sa tri konvolucione matrice 3x3, definiše kao Robinsonov operator detekcije ivica [17]. Kirsch operator za detekciju ivica se definiše i preporučuje se za detekciju ivica na slikama visoke rezolucije [18,19]. Međutim, algoritmi koji kao osnovu koriste rezultate Sobelove detekcije - Saar i Canny operatori detekcije ivica, definišu se kao algoritmi najveće kompleksnosti [20, 21]. Canny se upravo preporučuje za detekciju kod slika niže i srednje vrednosti nivoa detalja.

Na bazi svega navedenog, može se primetiti da svi primenjeni operatori fiksirani što znači da se primenjuju u određenim uslovima obrade digitalne slike. Velika mana je što uglavnom na osnovu lične procene i radova koji opisuju specifične situacije korisnik određuje podobnost operatora za obradu, a da pri tom ne može da definiše parametre samog algoritma.

Druga mana svih algoritama se sastoji u tome da ne uzimaju u obzir šumove koji nastaju u slici, a u zavisnosti od tipa optičkog senzora oni mogu biti do 12% u odnosu na količinu piksela definisanih konverzijom svetlosti u digitalni signal [22, 23].

Treći nedostatak se može smatrati osvetljenje, odnosno slike koje nastaju u uslovima nižeg ili većeg stepena osvetljenja, pa je tada nivo detalja jako nizak [24], a samim tim i potencijali algoritama za detekciju ivica ne mogu da dođu do izražaja [25]. U ovom delu se možemo pozvati na radove koji opisuju ovu problematiku koji govore da čovečije oko detektuje i do 11 puta manje detalja pri uslovima povećanog/smanjenog osvetljenja. Ove tri mane su bile osnov za realizaciju algoritamsko /programskog rešenja detekcije ivica koja će sadržati:

1. Definisane praga osetljivosti detekcije u zavisnosti od potreba korisnika.
2. Priprema digitalne slike za detekciju kroz filtriranje, pri čemu ta „priprema“ je redukovanje stepena šuma koji postoji u originalnoj slici.
3. Razmatranje stepena osvetljenja u datoj slici, da bi se na osnovu toga definisala detekcija ivica.

2. TEORIJSKI OKVIR

2.1. Weighted filter

Postoje različite modifikacije median filtra [26] zasnovane na matričnom ujednačavanju piksela [27]. Najpopularniji među njima su filter srednje

vrednosti i filter opterećenja, a zasnivaju se na modifikaciji marica koje uz pomoć već definisane funkcije daju propisane vrednosti za matricu [28]. Razlika između pomenutih filtera se sastoji u različitoj definisanoj podmatrici, kao i predmnožaču podmatrice.

Za filter srednje vrednosti važi maska:

$$avg = \frac{1}{8} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

a za filter opterećenja:

$$wt = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Za ovaj rad veoma važna karakteristika ovog filtra je da se koristi za šumove u slici do 5%, kao što je prikazano u publikaciji [29].

2.2. Ujednačavanje histograma

Ideja o ovom načinu zapisa nastala je iz ideje o kumulativnom histogramu. Jedna od najviše korišćenih modifikacija je izjednačavanje broja piksela po nijansi sive boje. Ovo znači da u paleti od 0 do 255 (ako je u pitanju 8-bitni zapis slike), svaka nijansa sive mora imati jednak broj ili približno jednak broj piksela [30]. Ideja realizacije izjednačavanja broja piksela po nijansi sive, zasniva se na nekoliko koraka. Prvo se izračunava histogram slike, zatim se određuje funkcija kumulativne distribucije (*fkD*), pa prema osnovnoj formuli za izračunavanje histograma se dobijaju nove vrednosti [31]. Funkcija kumulativne distribucije (*fkD*) za svaki ton sive boje se računa po sledećoj formuli:

$$fkD(x) = \sum_{j=1}^x h(j) \quad (3)$$

Osnovna formula za izračunavanje histograma je data sledećim izrazom:

$$ih(i) = round \left(\frac{fkD(1) - kdf_{min}(L-1)}{MxN - kdf_{min}} \right) \quad (4)$$

gde je kdf_{min} minimalna vrednost funkcije kumulativne distribucije, MxN broj kolona i redova u slici, a L broj sivih nivoa (u najčešćem slučaju je to 256) [32].

2.3. Negativ

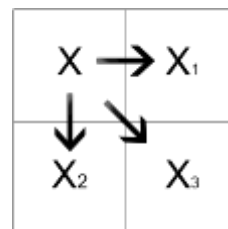
Implementacija filtera i ujednačavanje histograma slike jasno ukazuje da je cilj redukcija šuma u slici na čitavom 8-bitnom opsegu u kom se predstavlja slika. Međutim, kada je u pitanju viši stepen

tačnosti detekcije potrebno je uvrstiti analizu 8-bitnog opsega u suprotnom smeru [30]. U digitalnom smislu negativ predstavlja inverznu vrednost boje piksela u posmatranoj paleti boja. Negativ, termin koji je bio veoma popularan kod starih foto aparata, međutim danas ovaj pojam u digitalnoj obradi slike nema toliko značenje.

3. METODOLOGIJA RADA HIBRIDNOG METODA DETEKCIJE IVICA

U procesu kreiranja digitalne slike najpre treba uzeti u razmatranje optički senzor i konvertovanje vidnog spektra u električni signal. Taj, za sada još uvek nesavršeni proces početka kreiranja digitalne slike stvara određene vrste šumova, koji se različito definišu u zavisnosti od tipa primenjenog optičkog senzora. Dobro su poznate razlike CCD (Charge Coupled Device) i CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) senzora, kao i primena algoritama za detekciju ivica pri samom kreiranju slike, kao što je opisano u radu [33]. Samim tim i prilikom primene bilo kog algoritma u proces detekcije ulaze i šumovi, pa algoritmi sa niskim pragom detekcije i šumove predstavljaju kao ivice. Upravo svi pomenuti razlozi su bili osnov za upotrebu filtera koji će imati ulogu „pripreme“ slike za detekciju. Drugim rečima, taj filter ima „zadatak“ da eliminiše do 5% šuma u digitalnoj slici, a da pri tom ima visok stepen sličnosti sa originalnom slikom po metodi merenja strukturalne sličnosti SSIM (The Structural SIMilarity) [34-37]. Na osnovu rada [29], koji je sublimirao različite metode eliminacije šumova iz slike može se zaključiti da metod rada Weighted algoritma najviše odgovara pretpostavljenim početnim uslovima „pripreme“ slike za detekciju ivica.

Sledeći korak treba da predstavlja definisanje praga detekcije, koje će zadati korisnik. Samim tim korisnik će imati na raspolaganju kompletnu 8-bitnu skalu. Ovakav postupak daje veoma širok opseg detekcije, odnosno definiše osetljivost detekcije pa pruža izuzetno velike mogućnosti. Prag detekcije se definiše kao razlika u vrednosti između dva susedna piksela, a tako nešto u slučaju Hibridnog modela detekcije ivica se izvodi kroz poređenje u tri pravca vrednosti susednih piksela kao što je prikazano na slici 1.

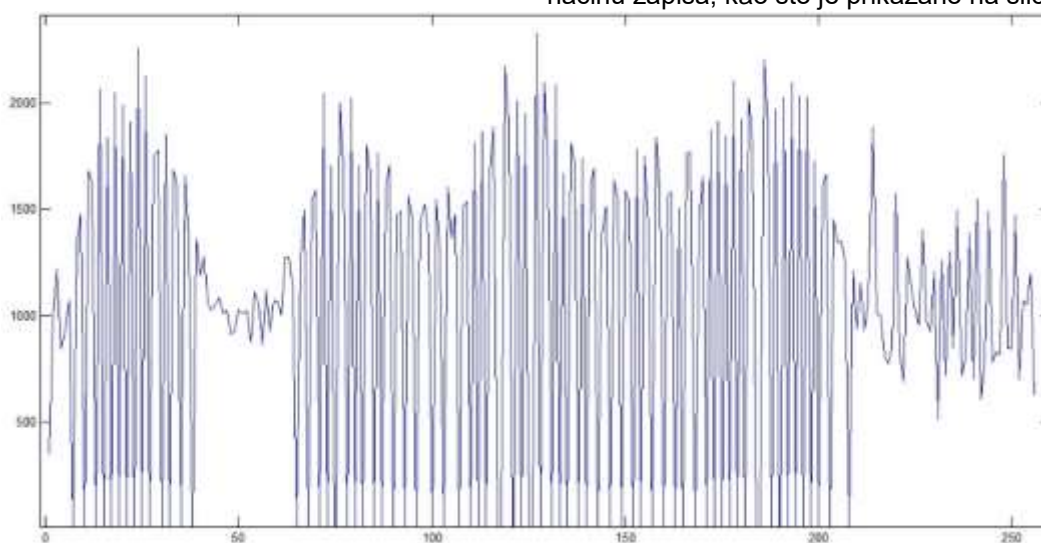


Slika 1. Sistem poređenja vrednosti piksela u odnosu na definisani prag detekcije

Figure 1. Comparison of pixel value

Poređenje ovog tipa je bitno odraditi i za negativ i sabrati sa dobijenim vrednostima iz prvog algoritma. Ovim postupkom se eliminišu greške koje nastaju pri graničnim uslovim detekcije, a isto tako i vrši detekciju u suprotnom smeru, odnosno sada se detekcija vrši u smeru od 180° u odnosu na početnu detekciju.

Treći uslov je da se umanje uticaji različitog stepena osvetljenja. U ostvarivanju tog cilja kao suplementarni algoritam će se koristiti ujednačavanje histograma. Nakon primene suplementarnog algoritma dobiće se slika čije vrednosti luminace će biti skoro izjednačeni u 8-bitnom načinu zapisa, kao što je prikazano na slici 2.



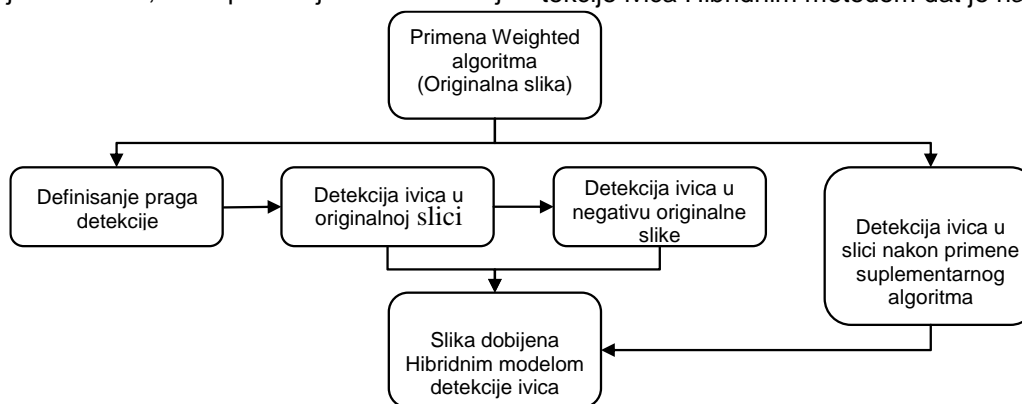
Slika 2. Histogram slike nakon primene suplementarnog algoritma

Figure 2. Histogram of the image after the application of the supplementary algorithm

Digitalna slika u ovom obliku pravi još veću razliku u vrednosti između susednih piksela, i zbog toga je pogodna za dodatnu obradu. Primena kumulativnog histograma u ovom slučaju daje najkorisnije rezultate, što potvrđuje i veliki broj

radova zasnovan na izvlačenju korisne informacije iz slika kojima je gotovo kompletan spektar u jednom uzanom delu skale osvetljenja [38].

Blok dijagram rada kompletnog algoritma detekcije ivica Hibridnim metodom dat je na slici 3.



Slika 3. Blok dijagram algoritma Hibridne metode detekcije ivica

Figure 3. Block diagram algorithm of hybrid edge detection method

Nakon primene Weighted algoritma u kome se eliminiše nepotrebni šum, dobija se slika koja se koristi kao osnova za detekciju (originalna slika). Sledeći korak je definisanje praga detekcije koje vrši korisnik i predstavlja osnov za detekciju. Detekcija se vrši u tri potpuno odvojena koraka:

1. nad originalnom slikom,
2. nad negativom originalne slike i
3. nad originalnom slikom nakon primene suplementarnog algoritma.

Sva tri dobijena signala se čuvaju kao međurezultati, a konačni rezultat je slika predstavljena kumulativnim zbirom rezultata nakon tri definisane detekcije. Primenom algoritama iz oblasti digitalne slike koji za osnovu ima filtriranje, zatim algoritma koji manipuliše sa spektrom osvetljenja u slici, i uzevši u obzir da se konačni rezultat predstavlja kao zbir tri signala, sa pravom kompletan postupak se može nazvati Hibridnom metodom za detekciju ivica.

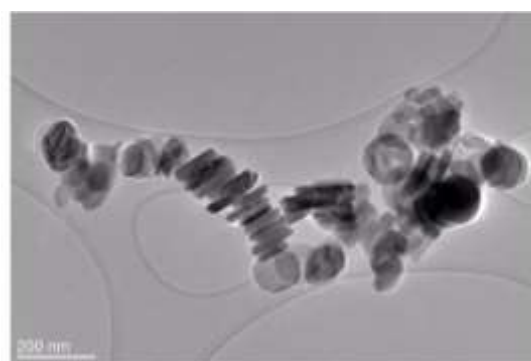
4. REZULTATI

Pošto se radi o novodefinisanom metodu detekcije, dobijeni rezultati će se meriti sa rezultatima dobijenim nakon primene ostalih metoda detekcije, a naročito će se uzeti u obzir poređenje sa Sobelovim operatorom kao referentnim u ovoj oblasti. Ovako merenje rezultata daće detaljan uvid u pozicioniranje nove metode detekcije u odnosu na postojeće. Takođe, merenje treba uspostaviti i na tri različita nivoa:

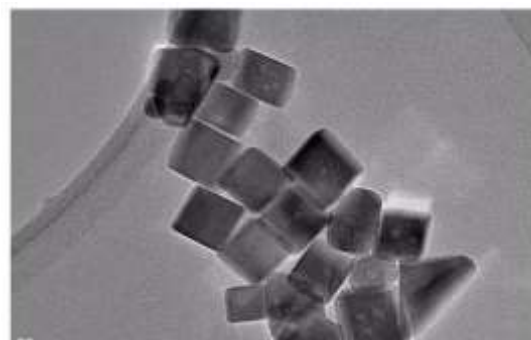
1. Kroz prostornu rezoluciju sa posebnim osvrtom na slike niskim, srednjim i visokim nivoom detalja,
2. Kroz amplitudsku rezoluciju i

3. Kroz DSSIM model kao razliku dodatog signala i originala.

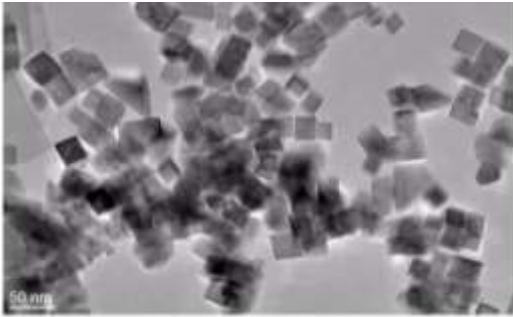
Istraživanje je sprovedeno nad digitalnim slikama nanočestice različitih rezolucija, različitog stepena uvećanja, različitih nivoa detalja, pravougaonih rezolucija, u TIFF formatu slike. Rad sa TIFF formatom je upravo iz razloga da bi se eliminisao uticaj kompresije na konačne rezultate. Odbrane digitalne slike su klasifikovane po karakteristikama nivoa detalja definisanih u radu [39], i obrađene kroz 10 različitih algoritama za detekciju ivica, što predstavlja kvantitativnu analizu rezultata.



4a)



4b)

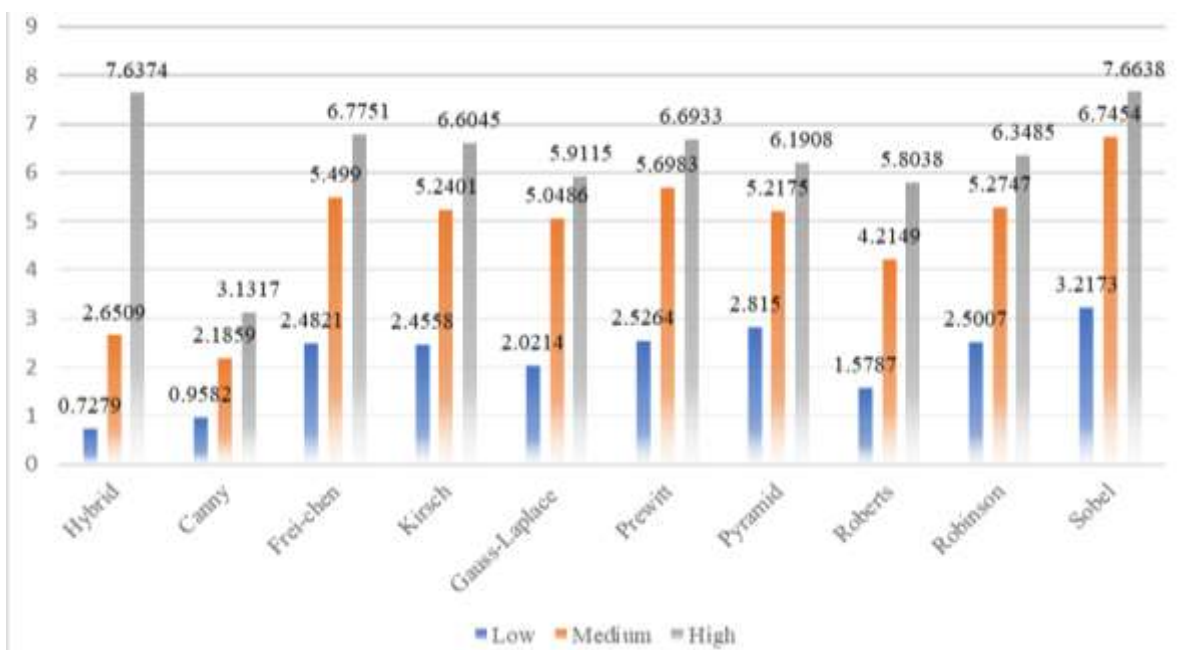


4c)

Slika 4. TEM slike nanočestica a) Nizak nivo detalja, b) Srednji nivo detalja, c) Visok nivo detalja
Figure 4. Nanoparticles a) Low level, b) Intermediate level c) High level

Na slici 4 su prikazani tipični predstavnici slika niskog, srednjeg i visokog nivoa detalja karakterističnih za oblast digitalne obrade slike.

Analiza dobijenih rezultata nije mogla da se meri u odnosu na originalne slike, iz razloga što su dobijene slike na kojima su detektovane ivice strukturalno različite. Shodno tome, parametri kao što su PSNR, SNR, MSE, SSIM nisu mogli biti uvršteni, već se analiza sproveda kroz LoD, entropiju i DSSIM, tako da je pored kvantitativne u radu je korišćena i kvalitativna metoda obrade rezultata. Slika 5 daje uvid u srednje vrednosti entropije dobijenih rezultata nakon primene posmatranih algoritama.



Slika 5. Vrednosti entropije nakon obrade sa različitim operatorima detekcije ivica pri različitim stepenima nivoa detalja

Figure 5. Entropy values after treatment with various operators for edge detections in different stages of the level of detail

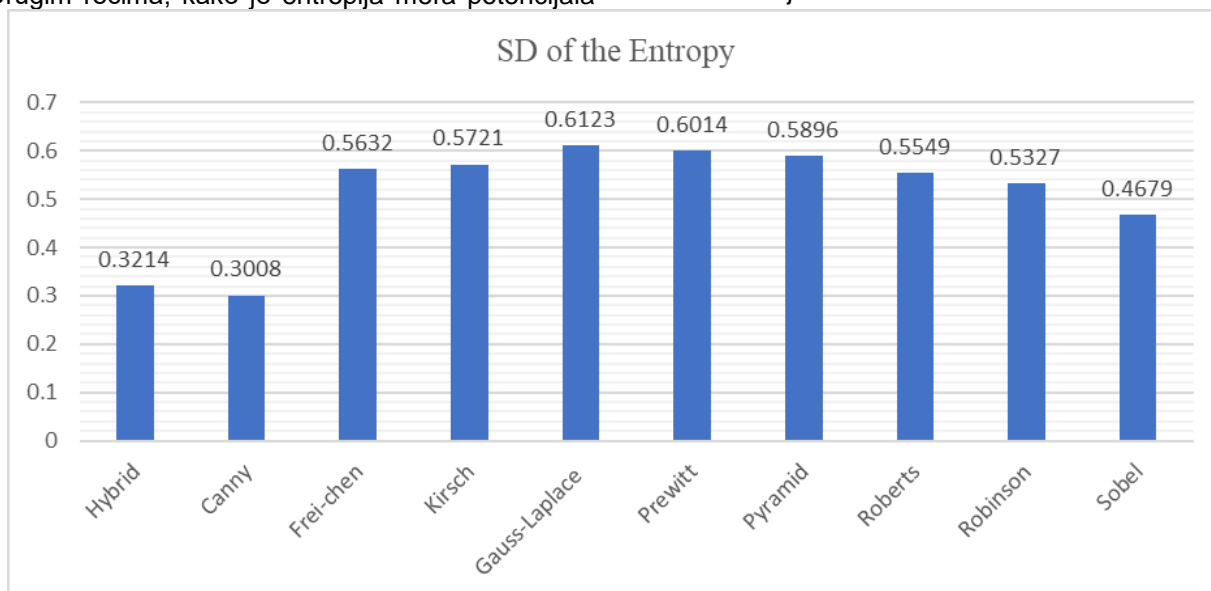
Slike koje poseduju male vrednosti entropije praktično nemaju veliki potencijal kod nekih eventualnih budućih obrada, dok se slike kao što su one na kojima se izdvajaju ivice definišu na drugačiji način [40,41]. Slike ove vrste treba da imaju kao rezultat samo ono zbog čega se i procesiraju kroz različite algoritme, a to su ivice. Tako da na nižim vrednostima nivoa detalja detektovane ivice nemaju veliki udeo na posmatranoj slici, kao što se to definisalo u određenim slučajevima od 5-7% [42]. Zbog toga se sa pravom može reći da slike sa nižom i srednjom vrednošću nivoa detalja ne trebaju da poseduju visok stepen entropije. Kada su u pitanju slike sa visokim nivoom detalja,

tu se govori o stepenu detalja koji je 5 i više puta veći od prethodne dve kategorije slike. Shodno tome, logično bi bilo da se na taj način posmatraju i rezultati. Kao što se može videti sa slike 5, pri niskom i srednjem nivou detalja Hibridni model pri definisanom pragu detekcije od 13 (što iznosi 5% od 8-bitne skale) se ponaša kao Canny operator detekcije ivica. Canny operator se upravo preporučuje za detekciju ivica u tim slučajevima jer Sobelova detekcija daje izrazito veliku vrednost za nizak nivo detalja. Hibridni model detekcije ivica je upravo ispunio opisana očekivanja, tj. pri nižim i srednjim vrednostima nivoa detalja dao je rezultate u rangu sa trenutno najkompleksnijim operatorom detekcije ivica kakav je Canny, a na visokim

nivoima detalja dao je rezultate kao referentni Sobelov model.

Slika 6 prikazuje vrednost standardne devijacije u odnosu na merene slike za svaki algoritam ponaosob. Ovakav odnos daje uvid u stabilnost algoritma pri sličnim vrednostima nivoa entropije. Drugim rečima, kako je entropija mera potencijala

digitalne slike, najmanja vrednost standardne devijacije će govoriti koji algoritam daje najveću pouzdanost u radu. Kao što se može uočiti, najveću stabilnost pokazuje Canny operator, zatim slede Hybrid operator i Sobelov algoritam detekcije ivica, kao i Sobelov algoritam. Prikaz dobijenih rezultata dat je na slici 7.



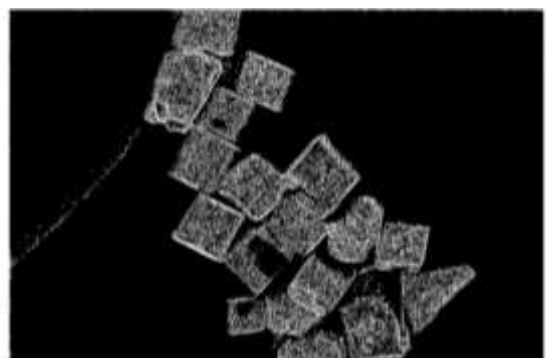
Slika 6. Vrednosti standardne devijacije za vrednosti entropije za posmatrane slike

Fig. 6. Values of standard deviation

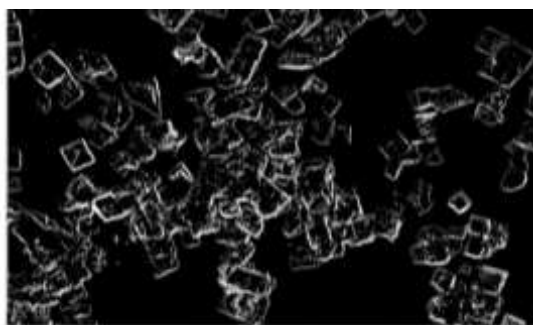
Po pitanju amplitudske rezolucije za ocenjivanje kvaliteta Hibridnog modela korišćen je 16-bitni zapis.



7a)



7b)



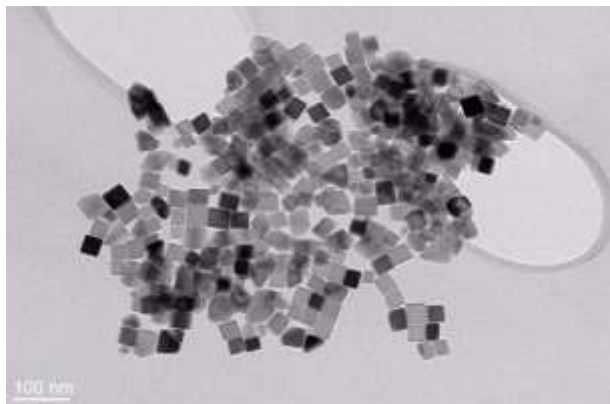
7c)

Slika 7. Slike dobijene nakon obrade a) Hibridnom metodom, b) Canny operatorom c) Gauss-Laplacian operatorom, d) Sobelovim operatorom

Figure 7. Images obtained after processing a) Hybrid method, b) Canny operator c) Gauss-Laplacian operator, d) Sobelov operator

Slika 8 predstavlja TEM sliku nanočestica zapisanu amplitudskom rezolucijom prema bitskim ravnima. Posmatranje slike kroz bitske ravni, u 16-bitnom zapisu, daje drugačiji prikaz slike za razliku od npr. RGB načina zapisa slike, pa tumačenje parametra ocene kvaliteta slike treba posmatrati drugačije u odnosu na prostornu rezoluciju. Osetljivost optičkog senzora pri kreiranju digitalne

slike kod ovog načina zapisa govori da svaka bitska ravan se vezuje za određeni deo osetljivosti senzora (njih 16), pa i maksimalna vrednost entropije u ovom slučaju 16 bita.

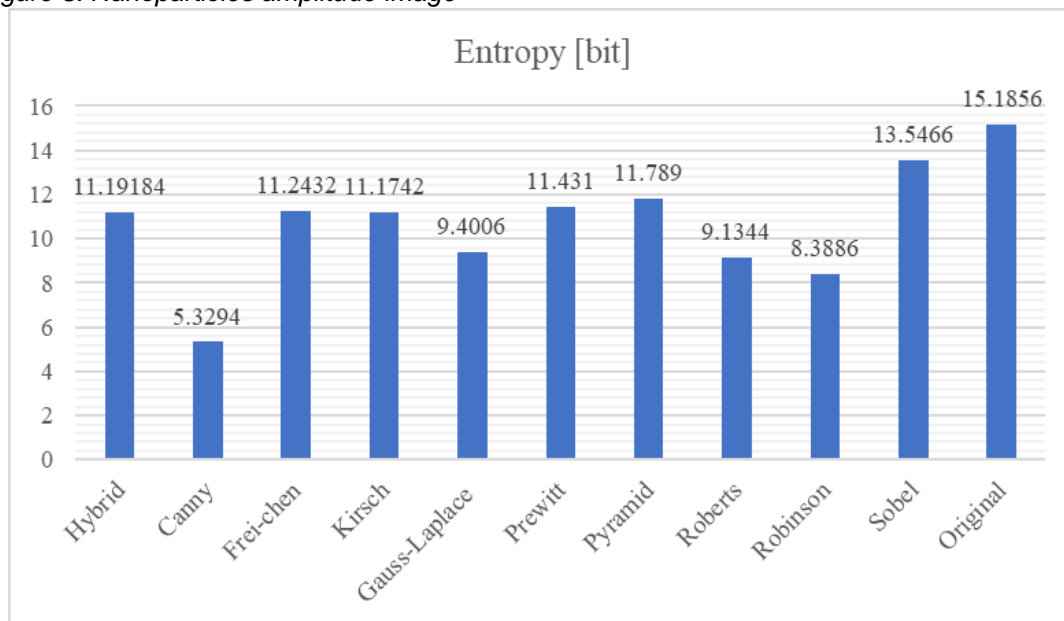


Slika 8. Slika nanočestica zapisana amplitudskom rezolucijom

Figure 8. Nanoparticles amplitude image

Ukratko, poželjno je da svaka od originalnih slika ima vrednost entropije preko 7 bita. Odnosno u slučaju amplitudske rezolucije preko 15 bita, što praktično znači, da svaka bitska ravan sadrži gotovo maksimum potencijala u okviru te bitske ravni. Primenom algoritma za detekciju ivica se određuje koliko će svaka ravan sadržati ivica u sebi, a konačni rezultat će biti kumulativni prikaz svih detektovanih ivica iz svake ravni. Samim tim, kroz ovaj parametar se može oceniti sposobnost algoritma da detektuje ivice. U ovim slučajevima veći stepen entropije pokazuje sposobnost algoritma da detektuje više ivica po svakoj bitskoj ravni.

Slika 9 daje uvid u srednje vrednosti posmatranih slika procesiranih sa različitim operatorima detekcije ivica. Kao što se može uočiti Sobelov operator daje izuzetno visoku vrednost nakon rekonstrukcije originalne slike. Nakon njega za potrebe TEM slika u amplitudskoj rezoluciji u 16-bitnom načinu zapisa daju Piramidalni i Prewitt operator detekcije ivica.



Slika 9. Vrednost entropije za posmatrane slike pri obradi u amplitudskoj rezoluciji

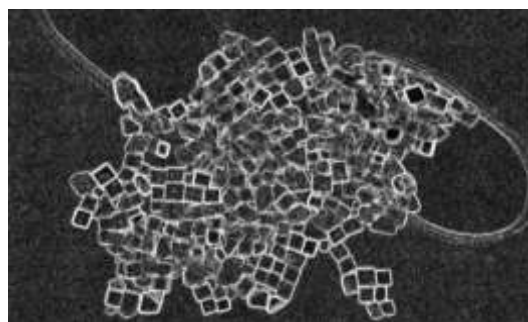
Figure 9. The value of Entropy for the observed images in processing in amplitude resolution

Odmah iza Sobelovog, Piramidalnog i Prewit algoritma se nalazi Hibridni model, sa malim procentom gubitaka u odnosu na prva tri algoritma. Primeri obrade u amplitudskoj rezoluciji su prikazani na slici 10. Kao što se može uočiti sa priloženih slika, poredeći sa ostalim algoritmima detekcije ivica, najviši stepen otpornosti na „šumove“ daje upravo predložena Hibridna metoda, kao i najviši stepen preciznosti detekcije željenih objekata (nanočestica). Termin „šum“ koji je inicijalno vezan za oblast obrade signala (iz koje je proistekla

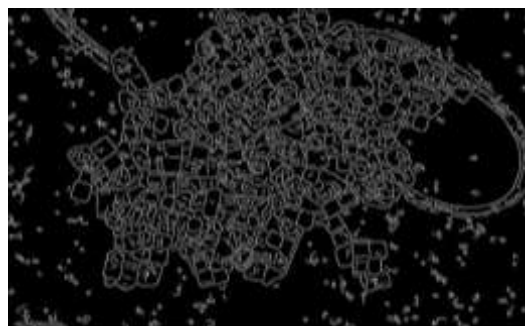
digitalna obrada slike), je veoma teško definisati kada se radi o obradi slike u prostornom domenu. U slučaju opisanom u ovom radu, „šum“ možemo definisati kao neželjene elemente u slici. Najviši stepen otpornosti na „šumove“, direktno implicira da ti neželjeni elementi se ne tretiraju kao delovi slike koji figuriraju u daljoj analizi. Samim tim, Hibridni metod sa najvišim stepenom otpornosti na „šumove“ (pri poređenju sa ostalim metodama) daje najpreciznije detekcije nanočestica jer „šum“ minimalno učestvuje u detekciji.



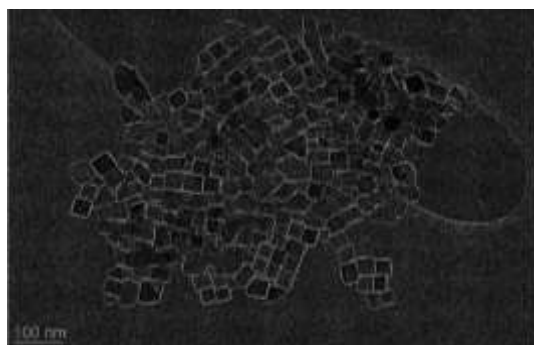
10a)



10d)



10b)

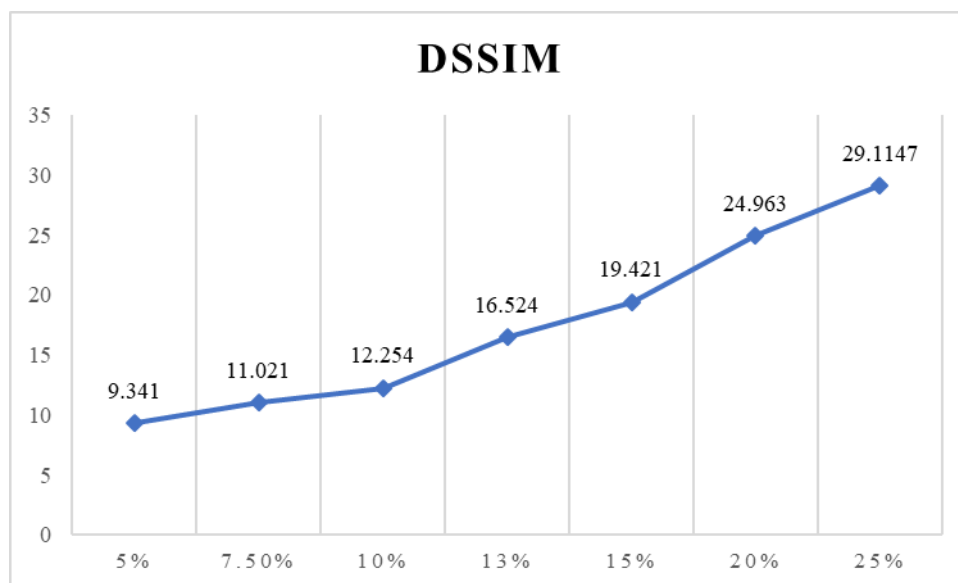


10c)

Slika 10. Slike dobijene nakon filtriranja a) Hibridnom metodom, b) Canny operatorom, c) Laplasijan operatorom, i d) Sobelovim operatorom

Figure 10. Images obtained after processing a) Hybrid method, b) Canny operator, c) Pyramid operator, and d) Sobel operator

Metod utvrđivanja različitosti dve slike najkvalitetnije je utvrditi metodom razlike strukture digitalne slike (DSSIM). Ukoliko sliku u kojoj su definisane ivice saberemo sa originalnom slikom, a taj rezultat prikazemo kao što je opisano u radu [25], i oduzmemo od originalne slike, dobijena vrednost predstavljena kroz DSSIM parametar predstavlja razliku između dve slike. Rezultat prikazan na slici 11 se odnosi na povećanje stepena detekcije Hibridnog filtera. Dok je kod svih ostalih algoritama i metoda fiksiran, korisnik u ovom slučaju može da definiše stepen detekcije, koji za 25% skale dostiže vrednost od skoro 30 prema modelu DSSIM. Tako se može uzeti za primer i slika 7 na kojoj su prikazane slike dobijene nakon primene, a) Hibridnog modela detekcije, b) Canny operatora, c) Gauss-Laplacian operatora i d) Sobelovog operatora za detekciju ivica.



Slika 11. DSSIM za povećanje stepena praga detekcije

Figure 11. DSSIM for increasing the detection threshold

Pri stepenu detekcije 7% od 8-bitne skale, Hibridni filter se skoro po svim parametrima ponaša kao i Sobelov operator. Samim tim, jedna od glavnih prednosti predloženog algoritma detekcije ivica nad TEM slikama je njegova osobina da se ponaša isto ili slično kao ostali algoritmi u zavisnosti od praga detekcije koje zadaje korisnik.

5. ZAKLJUČAK

Ovaj rad je kroz analizu u prostornoj i amplitudskoj rezoluciji pri različito definisanim uslovima dao opis nove metode u detekciji ivica kroz za to relevantne parametre za ocenu kvaliteta slike. Opisani algoritam je primenjen na TEM slikama nanočestica hematita. Veoma bitna razlika u odnosu na ostale algoritme je što se Hibridni metod ne bazira na 2D gradijentu kao osnovi svih ostalih algoritama. U prostornoj rezoluciji Hibridni model detekcije je dao najbolje rezultate, gotovo odmah iza Canny i Sobelovog operatora. Posebno je bitno istaći da Hibridni operator zajedno sa Canny operatorom daje najveću pouzdanost u radu, što se pokazuje kroz standardnu devijaciju entropije za različite vrednosti nivoa detalja. Sa druge strane, govoreći o amplitudskoj rezoluciji, Hibridni metod detekcije ivica se može svrstati u gornju srednju klasu u odnosu na ostale algoritme. Takođe, algoritam je pokazao zavidne rezultate u definisanju ivica prilikom procesiranja slika sa različitim stepenom osvetljenja, što je još jedna bitna razlika u odnosu na ostale algoritme. Sve opisane karakteristike upućuju na smer da Hibridni metod treba koristiti u situacijama kada je potrebno dobiti stabilnost detekcije ivica kod slika koje nastaju u različitim uslovima. Mogućnosti da se definiše prag detekcije daje priliku korisniku da u zavisnosti od potreba poveća prag detekcije duž kompletne skale zapisa. Dakle, predloženi pristup je potvrđen eksperimentalnim rezultatima i ima potencijal da se koristi u mnogim primenama TEM slika.

6. LITERATURA

- [1] L.Kopanja, S.Kralj, D.Zunic, B.Loncar, M.Tadic (2016) Core-shell superparamagnetic iron oxide nanoparticle (SPION) clusters: TEM micrograph analysis, particle design and shape analysis, *Ceramics International*, 42(9), 10976-10984.
- [2] C.Park, J.Z.Huang, J.X.Ji, Y.Ding (2013) Segmentation, inference and classification of partially overlapping nanoparticles, *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 35(3), 1-1.
- [3] T.Roelandts, K.J.Batenburg, E.Biermans, C.Kübel, S.Bals, J.Sijbers (2012) Accurate segmentation of dense nanoparticles by partially discrete electron tomography, *Ultramicroscopy*, 114, 96-105.
- [4] L.Kopanja, D.Žunić, B.Lončar, S.Gyergyek, M.Tadić (2016) Quantifying shapes of nanoparticles using modified circularity and ellipticity measures, *Measurement*, 92, 252-263.
- [5] N.Cai, P.Xiao, Q.Ye, H.Wang, Xi.Chen, B.W.K.Ling (2017) Improving the measurement accuracy of an absolute imaging position encoder via a new edge detection method, *IET Science, Measurement & Technology*, 11(4), 406-413.
- [6] D.Katsoulas, C.C.Bastidas, D.Kosmopoulos (2008) Superquadric Segmentation in Range Images via Fusion of Region and Boundary Information, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 30(5), 781-795.
- [7] W.Fu, M.Johnston, M.Zhang (2013) Low-Level Feature Extraction for Edge Detection Using Genetic Programming, *IEEE Transactions on Cybernetics*, 44(8), 1459-1472.
- [8] Z.Li, G.Zhao, S.Li, H.Sun, R.Tao, X.Huang, Y.J.Guo (2016) Rotation Feature Extraction for Moving Targets Based on Temporal Differencing and Image Edge Detection, *Geoscience and Remote Sensing Letters*, 13(10), 1512-1516.
- [9] R.Jin, J.Yin, W.Zhou, J.Yang (2016) Improved Multiscale Edge Detection Method for Polarimetric SAR Images, *Geoscience and Remote Sensing Letters*, 13(8), 1104-1108.
- [10] M.A.Abeed, A.K.Biswas, M.AI-Rashid, J.Atulasimha, S.Bandyopadhyay (2017) Image Processing with Dipole-Coupled Nanomagnets: Noise Suppression and Edge Enhancement Detection, *Transactions on Electron Devices*, 64(5), 2417-2424.
- [11] R.Ivkovic, M.Petrovic, B.Gara, M.Milosevic (2014) Dental Image Analysis with Different Edge Detection Operators, *Journal of Communications Technology and Electronics*, Pleiades Publishing, Inc. 59(11), 1289-1297.
- [12] P.P.Acharjya, R.Das, D.Ghoshal (2012) A study on image edge detection using the gradients, *International Journal of Scientific and Research Publications*, 2(12), 1-5.
- [13] L.J.Latecki (2002) *Computer Graphics and Image Processing Computer Vision CIS*, p.581.
- [14] J.Canny (2009) A computational Approach to Edge detection, *Pattern Analysis and Machine*, IEEE Computer Society, 8(6), 679-698.
- [15] P.P.Acharjya, R.Das, D.Ghoshal (2012) A study on image edge detection using the gradients, *Int. J. Sci. Res. Publ.*, 2-12.
- [16] W.P.Y.Shanlin (2003) Gray Image's Edge Detection Based on Gauss-Laplace, *Computer Engineering and Applications*, Institute of Computer Network System, 2-26.
- [17] J.Lee, R.M.Haralick, L.G.Shapiro (2003) Morphologic edge detection, *IEEE Journal of Robotics and Automation*, 3(2), 142-156.
- [18] R.A.Kirsch (1957) Experiments in processing lifemotion with a digital computer, *Proc. Eastern Joint Computer Conf.*, p.221-229.
- [19] R.A.Kirsch (1971) Computer determination of the constituent structure of biological images, *Comput. Biomed., Res.*, 4, 315-328.
- [20] S.Vijayarani, M.Vinupriya (2013) Performance analysis of canny and sobel edge detection algorithms in Image Mining, *Int. J. Innovative Res. Comp. Commun. Eng.*, p.1-8.
- [21] L.Zhang, D.Zhang, X.Mou (2011) FSIM: A Feature Similarity Index for Image Quality Assessment, *IEEE Transactions on Image Processing*, 20(8), 2378-2386.
- [22] T.Le, R.Chartrand, T.J.Asaki (2007) A variational approach to reconstructing images corrupted by Poisson noise, *Journal Math. Imaging Vision*, 27(3), 257-263.
- [23] F.Luisier, T.Blu, M.Unser (2011) Image Denoising in Mixed Poisson-Gaussian Noise, *IEEE Transactions on Image Processing*, 20(3), 696-708.

- [24] R. Ivkovic, B.Jaksic, P.Spalevic, Lj.Lazic, M. Petrovic (2013) Experimental Images Analysis with Linear Change Positive and Negative Degree of Brightness, WSEAS International Conference on Image Processing and Pattern Recognition (IPPR '13), p.116-120.
- [25] B.Jaksic, R.Ivkovic, B.Gara, M.Petrovic, P.Spalevic (2013) Analysis of different influence of compression algorithm on the image filtered Laplacian, Prewitt and Sobel operator, International Journal of Darshan Institute on Engineering Research and Emerging Technology, 2(1), 59-67.
- [26] R.Ivkovic, I.Milosevic, M.Petrovic, B.Gvozdic (2015) Timeline of Median filter, International Scientific Conference of IT and Business-Related Research, Synthesis 2015 - Advanced engineering systems, Belgrade, Serbia, p.268-273.
- [27] D.R.K.Brownrigg (1984) The weighted median filter, Communications of the ACM, University of London Goldsmiths Colledge.
- [28] J.Astola, J.P.Haavisto, Y.Neuvo (1990) Vector median filters, Proceedings of the IEEE, 78(4), 231-242.
- [29] R.Ivkovic, D.Miljkovic, B.Gara, M.Petrovic, I.Milosevic (2014) Analysis of quality of nonlinear filters by removing salt & pepper noises. YU INFO 2014, p.330-333.
- [30] R.C.Gonzales, R.E.Woods (2002) Digital Image Processing, 2nd Edition, Prentice Hall.
- [31] E.R.Dougherty (1998) Random Processes for Image and Signal Processing, New York: Wiley-IEEE Press.
- [32] E.R.Dougherty (2000) Random Processes for Image and Signal Processing, 2nd Edition, IEEE Press.
- [33] G.C.Holst, T.S.Lomheim (2007) CMOS/CCD Sensors and Camera Systems, SPIE PRESS BOOK, p.172.
- [34] L.Xuelong, T.Dacheng, G.Xinbo, L.Wen (2009) A natural image quality evaluation metric, Signal Processing, 89, 548-555.
- [35] Z.Wang, A.C.Bovik, L.Lu (2002) Why is Image Quality Assessment So Difficult, Proceedings of ICASSP.
- [36] A.Shnayderman, A.Gusev, A.M.Eskicioglu (2006) An SVD-Based Gray-Scale Image Quality Measure for Local and Global Assessment, IEEE Trans. on Image Processing, 15(2), 422-429.
- [37] ITU-T (2004) TUTORIAL: Objective perceptual assessment of video quality - Full reference television.
- [38] R. Ivkovic, I. Milošević, B. Gara, S. Minic, D. Miljkovic (2014) Rekonstrukcija slika vidljivog spektra snimljenih sa malim procentom osvetljenja, XIII međunarodni naučno-stručni simpozijum INFOTEH 2014, Jahorina, BiH, p.648-651.
- [39] S.Ilic, M.Petrovic, B.Jaksic, P.Spalevic, Lj.Lazic, M.Milosevic (2013) Experimental analysis of picture quality after compression by different methods, Przeglad elektrotechniczny, 89(11), 190-194.
- [40] J.Beirlant, E.J.Dudewicz, L.Gyorfi, E. van der Meulen (2013) Nonparametric entropy estimation: an overview, Intern. J. Math. Stat. Sci., 6(1), 17-39.
- [41] S.R.Cloude, E.Pottier (1997) An entropy based classification scheme for land applications of polarimetric SAR, IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, 75, 68-78.
- [42] R.Ivkovic, I.Milosevic, B.Gara, S.Minic, V.Dakovic (2014) Algoritam za detekciju ivica slike sa postfiltriranjem, XIII međunarodni naučno-stručni simpozijum INFOTEH 2014, Jahorina, Bosna i Hercegovina, p.652-656.

ABSTRACT

HYBRID EDGE DETECTION METHOD ON TEM IMAGES OF NANOPARTICLES

General application of the fundamental part of digital image processing is widely used in various fields of science. With the rapid development of microscopic imaging technology, the need for the robust segmentation of nanoparticles increased significantly. Due to large differences in the number and form of nanoparticles in TEM images, most of the existing methods are only capable of segmenting certain types of nanoparticles. Taking into account the characteristics of nanoparticle materials, this paper gives some suggestions for a new edge detection algorithm. As an assessment of similarity of the proposed algorithm in the paper, the analysis was carried out both through the spatial and through the amplitude resolution of the digital image. With the aim of obtaining additional accurate results, the analysis was conducted through images of nanoparticles of different degrees of magnification. Images of this type provide different levels of noise in digital image, therefore the final analysis gave an assessment of the degree of resistance to the proposed edge detection algorithm for noise occurring in nanoparticle images. All the obtained results indicate a high degree of utility of the processed TEM images, both in spatial and amplitude domain.

Keywords: digital image processing, edge detection, hybrid method, TEM images, nanoparticles.

Scientific paper

Paper received: 26. 07. 2017.

Paper accepted: 03. 10. 2017.

Paper is available on the website: www.idk.org.rs/journal