

# Performanse Gravitacionog algoritma za detekciju ivica u slici

**Aleksandar Stevanović**

Mašinska tehnička škola "15 Maj"  
Beogradska 22,  
18000 Niš, Srbija.  
e-mail: [tsk15maj@gmail.com](mailto:tsk15maj@gmail.com)

**Zoran Milivojević**

Visoka tehnička škola  
Aleksandra Medvedeva 20,  
18000 Niš, Srbija  
e-mail: [zoran.milivojevic@vtsnis.edu.rs](mailto:zoran.milivojevic@vtsnis.edu.rs)

**Darko Brodić**

Tehnički fakultet  
Vojske Jugoslavije br. 20  
19210 Bor  
e-mail: [dbrodic@tf.bor.ac.rs](mailto:dbrodic@tf.bor.ac.rs)

*Sadržaj*—U ovom radu analizirana je efikasnost Gravitacionog algoritma (GA) za detekciju ivica u slici. U prvom delu rada opisan je GA koji je realizovan prema analogiji sa Univerzalnim zakonom gravitacije. U drugom delu rada prikazani su rezultati primene GA i nekih klasičnih algoritama za detektovanje ivica. Rezultati su prikazani u obliku slika sa ivicama i tabelarno. Komparativnom analizom rezultata određena je efikasnost GA.

*Ključne riječi* - digitalno procesiranje slike; detekcija ivice; Gravitacioni algoritam;

## I. UVOD

Detekcija ivica je osnovni zadatak kod procesiranja slike. Ivica u slici su značajne za određivanje kontura objekata kao i granica između objekata [1]. Proces detekcije ivica predstavlja prvu etapu kod procesiranja slike radi prepoznavanja objekata, prepoznavanje likova u slici, teksta, popravke kvaliteta slike i dr. Zadnjih nekoliko decenija razvijen je veliki broj algoritama za detektovanje ivica koji se baziraju na minimizaciji greške [2], primeni fazi logike [3], genetičkih algoritama [4], neuronskim mrežama [5] i Bajesovom kriterijumu [6]. Najpopularniji algoritmi su zasnovani na gradijentnom filtriranju kao što je Sobelov algoritam [7] i Kenijev algoritam [8]. Sobelov algoritam se zasniva na primeni dva konvoluciona prozora za horizontalni i vertikalni pravac, izračunavanje gradijenta i donošenja odluke o pripadnosti piksela ivici. U radu [9] je opisan algoritam koji se zasniva na logaritmovanju LIP (*engl. Logarithmic Image Processing*). Ovaj algoritam je manje zavistan od intenziteta lumenanse (sjajnosti) piksela i posebno je robustan pri malim nivoima lumenanse. U [10] je prikazan LIP koji je zasnovan na Sobelovom operatoru. Zadržao je sve dobre osobine Sobelovog operatora uz uvođenje LIP aritmetike.

U [11] prikazan je novi algoritam za detektovanje ivica koji je idejno baziran na Zakonu univerzalne gravitacije. Uvedena je analogija između gravitacije mase i sile privlačenja sa jedne strane i lumenanse piksela i njihovog rastojanja sa druge strane. Izračunavanjem međusobnog dejstva susednih elemenata sa

analiziranim elementom u smislu uvedene analogije donosi se odluka o pripadnosti analiziranog piksela ivici između dve površine. Autori [11] su predloženi algoritam, saglasno uvedenoj analogiji nazvali gravitacioni algoritam (*engl. Gravity Algorithm*, GA). U [11] je izvršeno upoređivanje efikasnosti detektovanja kod prirodnih slika kao i sintetičkih, odnosno namenski kreiranih za potrebe eksperimenta. Od sintetičkih slika analizirana je samo slika sa pravougaonom površinom.

U ovom radu prikazani su rezultati primene GA i nekih standardnih algoritama kod sintetičkih slika, kreiranih od strane autora, koje obuhvataju pravougaone, zakrivljene i objekte sa izraženim vrhovima. Sprovedena je objektivna analiza koja obuhvata određivanje numeričke vrednosti efikasnosti detektovanih ivica pojedinih algoritama. Kao mera efikasnosti iskorišćen je algoritam za određivanje podudarnosti ivica definisan u [12]. Rezultati efikasnosti algoritama prikazani su tabelarno i izveden je zaključak efikasnosti.

Dalja organizacija ovog rada je sledeća. U Sekciji II opisan je Gravitacioni algoritam. U Sekciji III prikazani su eksperimentalni rezultati i analizu rezultata. Sekcija IV je zaključak. Na kraju je dat spisak korišćene literature.

## II. GRAVITACIONI ALGORITAM

U radu [11] prikazan je algoritam za detektovanje ivica u slici koji je idejno baziran na Zakonu univerzalne gravitacije. Saglasno Zakonu univerzalne gravitacije između svaka dva tela masa  $m_1$  i  $m_2$  deluju mehanička sila. Pravac sile poklapa se sa linijom koja spaja težišne tačke, dok su smerovi sile orijentisani tako da se tela privlače. Sila koja deluje na masu  $m_1$  a posledica je delovanja mase  $m_2$  je:

$$\vec{F}_{1,2} = G \frac{m_1 \cdot m_2}{\|\vec{r}_{2,1}\|^2} \hat{r}_{2,1}, \quad (1)$$

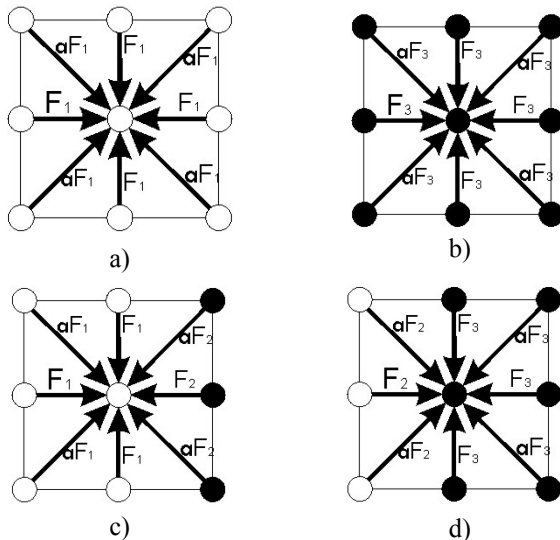
### III. EKSPERIMENTALNI REZULTATI I ANALIZA

gde su  $\vec{F}_{1,2}$  vektor sile kojom telo 1 deluje na telo 2,  $G$  gravitaciona konstanta,  $m_1, m_2$  mase tela 1 i 2, respektivno.  $\vec{r}_1$  i  $\vec{r}_2$  su vektori pozicije tela, odnosno,  $r_{2,1} = \|\vec{r}_2 - \vec{r}_1\|$  je rastojanje između tela 1 i 2, dok je  $\hat{r}_{2,1} = \frac{\vec{r}_2 - \vec{r}_1}{\|\vec{r}_2 - \vec{r}_1\|}$  jedinični vektor rastojanja tela 2 od tela 1. Vektori sile  $\vec{F}_{1,2}$  i  $\vec{F}_{2,1}$  su jednaki po intenzitetu i suprotni po smeru, to jest  $\vec{F}_{1,2} = -\vec{F}_{2,1}$ .

Autori [11] su ideju međusobnog delovanja masa  $m_1$  i  $m_2$  mehaničkom silom  $F$  primenili na piksele slike u cilju određivanja ivice. Analogija se sastoji u sledećem: mase su zamenjene intenzitetima sjajnosti, odnosno vrednostima piksela a rastojanja  $r$  predstavljaju *distance* između analiziranih piksela. Radi se sa prozorima dimenzija  $(2N+1) \times (2N+1)$ . Računa se ekvivalentna sila na element slike koji se nalazi u sredini prozora. Ideja je grafički prikazana na sl.1. Na sl.1.a piksel bele boje u sredini prozora okružen je drugim pikselima bele boje. Rezultujuća sila je jednaka nuli. Samim tim analizirani piksel ne pripada liniji razgraničenja površina, odnosno ivici. Istovetna je situacija sa crnim pikselima sa sl. 1.b. Generalno, kada se piksel nalazi u okruženju drugih piksela sa istom ili približno istim intenzitetima sjajnosti rezultujuća sila je jednaka nuli ili je malih vrednosti. Samim tim piksel ne pripada ivici. Na sl. 1.c kao i sl.1.d na piksele u sredini deluje rezultujuća sila značajnog intenziteta tako da se svrstavaju u ivične elemente, odnosno pripada ivici. Generalno, donošenje odluke o pripadnosti piksela ivici realizuje se upoređivanjem sa pragom  $S_g$ :

$$p(i, j) = \begin{cases} F \geq S_g, & p \in I \\ F < S_g, & p \notin I \end{cases} \quad (2)$$

gde je  $I$  skup piksela koji pripadaju ivici.



Slika 1. Šematski prikaz blokova u slici.

U daljem delu rada analizirana je efikasnost Gravitacionog algoritma za detektovanje ivica kod sintetičkih slika. Efikasnost će biti određena na osnovu komparativne analize sa rezultatima detektovanja ivica nekih standardnih algoritama (Sobelov, Previtov, Log i Kenijev). Sintetičke slike kreirane su od strane autora ovog rada i to tako da su poznate pozicije (lokacije) ivičnih elemenata. Kao takve, pogodne su za korišćenje kod komparativne analize za ispitivanje efikasnosti algoritma za detektovanje ivica.

Kao meru efikasnosti algoritma za detekciju ivica koristi se vrednost  $M$  prema [12]:

$$M = \frac{1}{\max(N_I, N_{ref})} \sum_{i=1}^{N_{ref}} \frac{1}{1 + \xi d_i^2}, \quad (3)$$

gde je  $N_I$  – broj piksela koji pripadaju ivicama (detektovanih od strane testiranog algoritma),  $N_{ref}$  – broj piksela koji pripadaju ivicama na referentnoj slici,  $d_i$  rastojanje između  $i$ -tog piksela analizirane slike koji pripada skupu ivičnih piksela  $I$  i najbližeg piksela idealne ivice.  $\xi$  je konstanta, koja je jednaka  $1/9$  [12], dok je  $0 \leq M \leq 1$  mera tačnosti lokalizacije ivice. Veće vrednosti  $M$  predstavljaju veću efikasnost algoritma.

#### A. Baza slika

Za potrebe testiranja formirana je baza slika dimenzija  $512 \times 512$ , i to:

a) Standardne prirodne (**engl. natural**) test slike Lena, dimenzija  $512 \times 512$ , i slika zgrade Mašinske tehničke škole Niš (u daljem tekstu Škola).

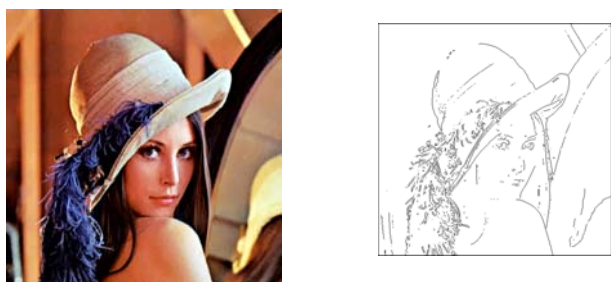
b) Sintetičke slike: b1) *Pravougaonici*, b2) *Elipse*, b3) *Zvezda*, b4) *Prsti* i b5) *Color Bar Test* (CBT).

CBT je specijalno dizajnirana slika koja se intenzivno koristi u video tehnici za podešavanje sistema. Sastavljena je od osam vertikalnih površina (traka) u boji redom bela, žuta, cijan, zelena, magenta, crvena, plava i crna. Ovakav redosled obezbeđuje nivo sjajnosti u opadajućem redosledu.

#### B. Rezultati

Na sl. 2.a prikazana je test slika *Lena*, dok su rezultati detektovanja ivica primenom nekih algoritama prikazani na slikama: 2.b (Sobel), 2.c (Previt), 2.d (Log), 2.e (Keni) i 2.f (GA). Na sl. 3.a prikazana je test slika *Škola*, dok su rezultati detektovanja ivica primenom nekih algoritama prikazani na slikama: 3.b (Sobel), 3.c (Previt), 3.d (Log), 3.e (Keni) i 3.f (GA). Na sl. 4.a prikazana je test slika *Pravougaonici*, dok su rezultati detektovanja ivica primenom nekih algoritama prikazani na slikama: 4.b (Sobel), 4.c (Previt), 4.d (Log), 4.e (Keni) i 4.f (GA). Na sl. 5.a prikazana je test slika *Elipse*, dok su rezultati detektovanja ivica primenom nekih algoritama prikazani na slikama: 5.b (Sobel), 5.c (Previt), 5.d (Log), 5.e (Keni) i 5.f (GA). Na sl. 6.a prikazana je test slika *Zvezda*, dok su rezultati detektovanja ivica primenom nekih algoritama prikazani na slikama: 6.b (Sobel), 6.c (Previt), 6.d (Log), 6.e (Keni) i 6.f (GA). Na sl. 7.a prikazana je test slika *Prsti*, dok su rezultati detektovanja ivica primenom nekih algoritama

prikazani na slikama: 7.b (Sobel), 7.c (Previt), 7.d (Log), 7.e (Keni) i 7.f (GA). Na sl. 8.a prikazana je test slika *CBT*, dok su rezultati detektovanja ivica primenom nekih algoritama prikazani na slikama: 8.b (Sobel), 8.c (Previt), 8.d (Log), 8.e (Keni) i 8.f (GA). Detalji detektovanih gornjih-desnih uglova slike *Pravougaonici* prikazani su na sl. 9.a, dok su rezultati detektovanja uglova primenom nekih algoritama prikazani na slikama: 9.b (Sobel), 9.c (Previt), 9.d (Log), 9.e (Keni) i 9.f (GA). Detalji detektovanih gornjih vrhova slike *Zvezda* prikazani su sl. 10.a, dok su rezultati detektovanja vrhova zvezde primenom nekih algoritama prikazani na slikama: 10.b (Sobel), 10.c (Previt), 10.d (Log), 10.e (Keni) i 10.f (GA).



a)



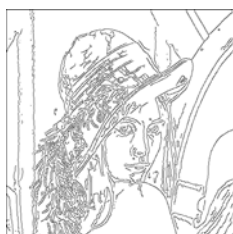
b)



c)



d)



e)



f)

Slika 2. Test slika *Lena*: a) original, b) Sobel, c) Previt, d) Log, e) Keni, f) GA.



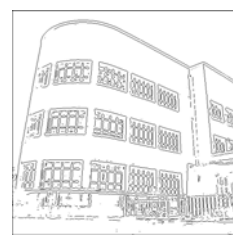
a)



b)



c)



d)

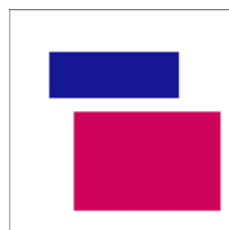


e)

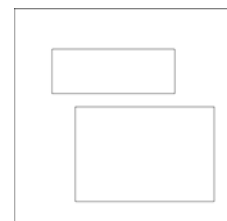


f)

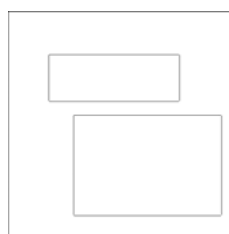
Slika 3. Test slika *Škola*: a) original, b) Sobel, c) Previt, d) Log, e) Keni, f) GA.



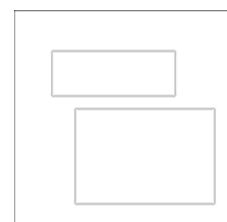
a)



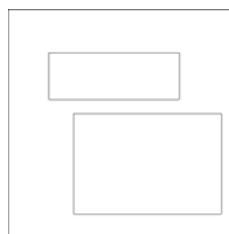
b)



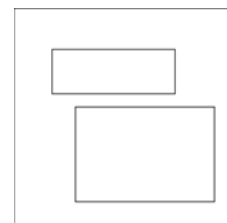
c)



d)

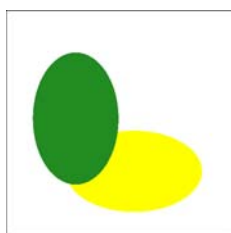


e)

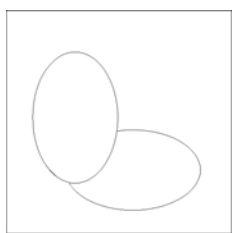


f)

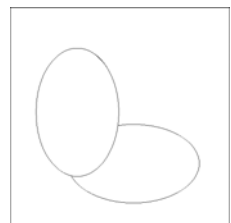
Slika 4. Test slika *Pravougaonici*: a) original, b) Sobel, c) Previt, d) Log, e) Keni, f) GA.



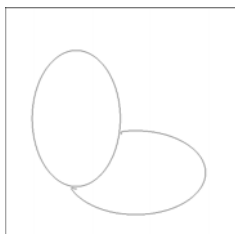
a)



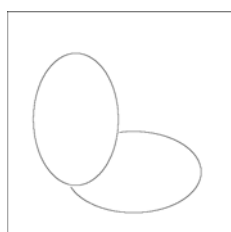
b)



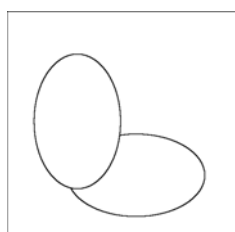
c)



d)

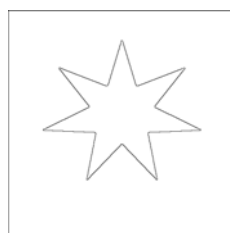


e)

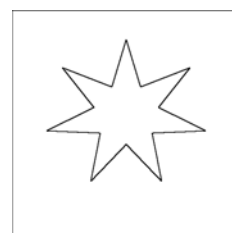


f)

Slika 5. Test slika *Ellipse*: a) original, b) Sobel, c) Prewit, d) Log, e) Keni, f) GA.

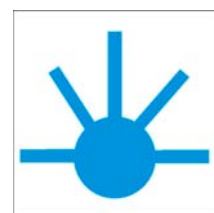


e)

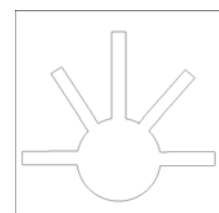


f)

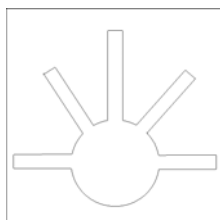
Slika 6. Test slika *Zvezda*: a) original, b) Sobel, c) Prewit, d) Log, e) Keni, f) GA.



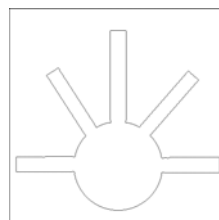
a)



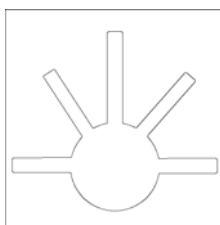
b)



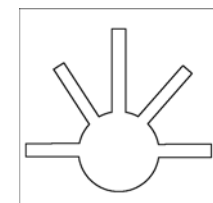
c)



d)



e)

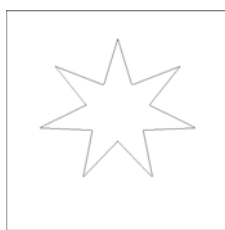


f)

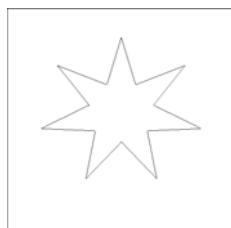
Slika 7. Test slika *Prsti*: a) original, b) Sobel, c) Prewit, d) Log, e) Keni, f) GA.



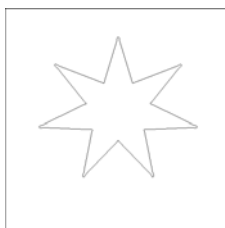
a)



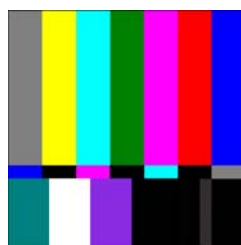
b)



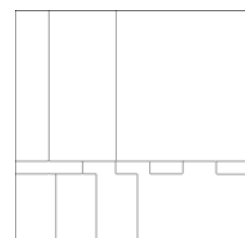
c)



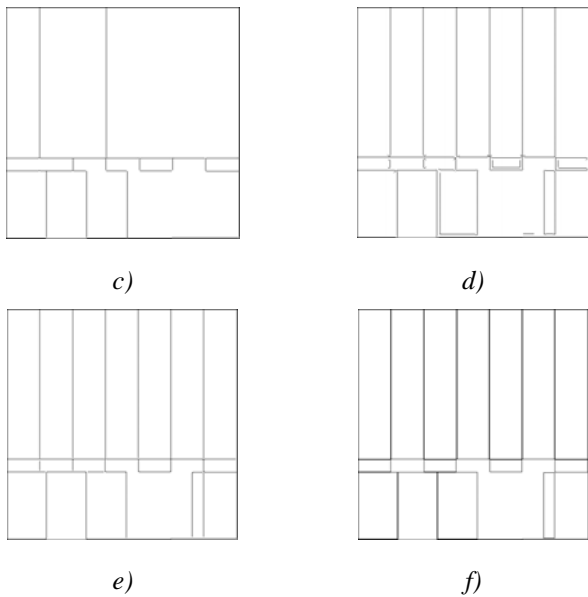
d)



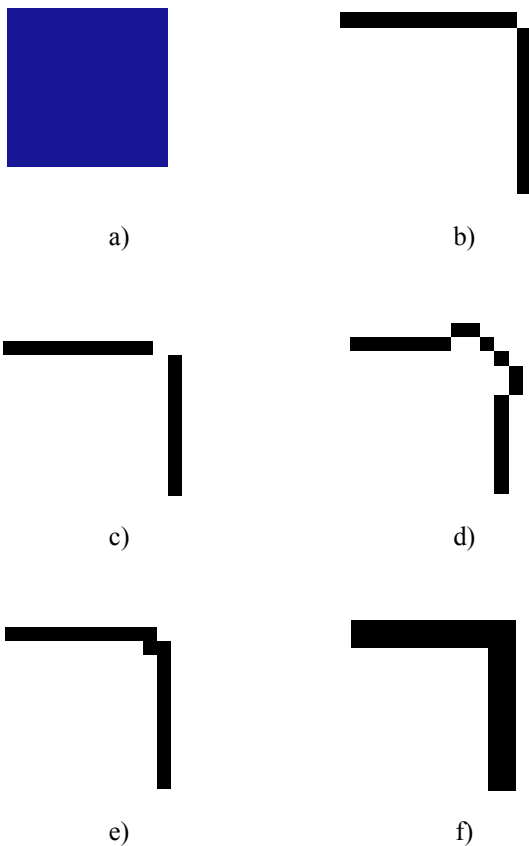
a)



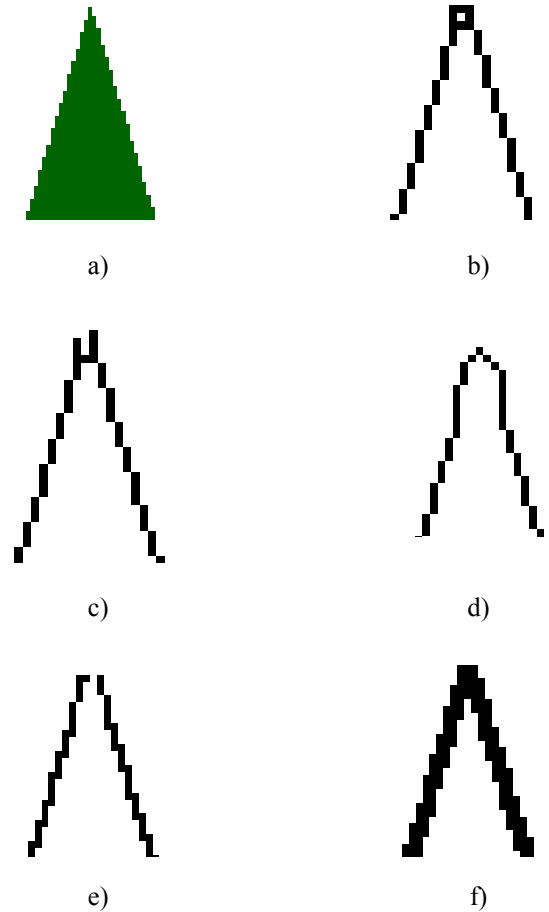
b)



Slika 8. Test slika CBT: a) original, b) Sobel, c) Previt, d) Log, e) Keni, f) GA.



Slika 9. Detalji detektovanih gornjih-desnih uglova slike Pravougaonici a)original, b) Sobel, c) Previt, d) Log, e) Keni i f) GA.



Slika 10. Detalji detektovanih gornjih vrhova slike Zvezda a)original, b) Sobel, c) Previt, d) Log, e) Keni i f) GA.

TABELA I. REZULTATI MERE TAČNOSTI M IZDVAJANJA IVICA ZA TESTIRANE ALGORITME.

<i>M</i>	Sintetičke slike				
	<i>Pravougaonici</i>	<i>Elipse</i>	<i>Zvezda</i>	<i>Prsti</i>	<i>CBT</i>
<b>Sobel</b>	0,9502	0,8372	0,9332	0,9991	0,4819
<b>Previt</b>	0,9497	0,8369	0,9410	0,9990	0,4813
<b>Log</b>	0,8986	0,7923	0,8765	0,9230	0,8478
<b>Keni</b>	0,9503	0,8522	0,9517	0,9578	0,8686
<b>GA</b>	<b>1</b>	<b>0,8840</b>	<b>0,999</b>	<b>1</b>	<b>0,8903</b>

### C. Analiza rezultata

Upoređivanjem vrednosti za prirodne test slike (sl. 2, *Lena*) i (sl. 3, *Škola*) dolazi se do zaključka da :

a) Keni (sl. 2e, sl. 3e) i GA (sl. 2f, sl. 3f,) su detektovali najveći broj ivica,

b) Sobel, Previt i Log nisu otkrili neke značajne ivice kod sl.2,

c) Previt i GA nisu otkrili neke ivice manjih dimenzija koji se nalaze u senci (mali nivo luminanse),

d) GA generiše sliku sa ivicama koja ostavlja prijatan vizuelni efekat.

Izvedeni zaključci se u velikoj meri poklapaju sa rezultatima iz [11].

Upoređivanjem vrednosti za sintetičke test slike iz tabele 1 i vizuelnom komparacijom sl.4 do sl.10, dolazi se do zaključka da:

a) svi algoritmi dobro detektuju horizontalne i vertikalne ivice (sl.4),

b) kod detekcije uglova: b.1) Sobel (sl. 9.b) i Previt (sl. 9.c) nisu detektovali uglove, b.2) Log (sl. 9.d) i Keni (sl.9.e) su generisali neprecizne uglove i b.3) kod GA je detekcija uglova najefikasnija (sl.9. f).

c) kod detekcije kontinualnih glatkih krivih ivica (sl. 5, *Ellipse*), najslabije rezultate je generisao Log dok je najbolje generisao GA.

d) kod detekcije kosih pravih ivica (sl. 6, *Prsti*), svi algoritmi su dobro izdvojili ivice dok su kod ivica sa oštrim uglovima (sl. 10) najslabije rezultate su prikazali Previt (sl. 10.c) i Keni (sl. 10.d) dok je najbolje rezultate pokazao GA (sl. 10.f).

e) kod detekcije ivica između površina u boji sa malim razlikama u luminansnim nivoima (sl. 8, *CBT*) najslabije rezultate pokazao je Log (sl. 8.d)  $M=0.8478$  dok je najbolje pokazao GA  $M=0.8903$ . Najveći broj ivica nisu detektovali Sobel (sl. 9.a) i Previt (sl. 9.c) dok su najveći broj detektovali Keni (sl. 9.e) i GA (sl. 9.f).

Kao generalni zaključak nameće se velika efikasnost GA u odnosu na druge algoritme kod svih testiranih slika, a posebno u detaljima diskontinuiteta uglova.

#### IV. ZAKLJUČAK

U radu je analiziran Gravitacioni algoritam za detekciju ivica u slici. Algoritam je idejno baziran na Zakonu univerzalne gravitacije. Performanse algoritma testirane su na prirodnim i sintetičkim slikama zajedno sa performansama nekih standardnih algoritama (Sobel, Log, Previt i Keni). Izvršena je komparativna analiza rezultata algoritama koja je pokazala da Gravitacioni metod pokazao najveću efikasnost u svim slučajevima. Pored toga algoritam nije računski zahtevan što daje preporuku za njegovu implementaciju u digitalnom procesiranju slika.

#### LITERATURA

- [1] V. Nalwa and T. O. Binford, "On Detecting Edges", *IEEE Tran. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 8, No. 6, pp. 699–714, November, 1986.
- [2] C. Spinu and J. Chassery, "Edge detection by estimation and minimization of errors", *Pattern Recognition Letters*, Vol. 18, No. 9, pp. 695–704, August 1997.
- [3] J. Wu, Z. Yin and Y. Xiong, "The fast multilevel fuzzy edge detection of blurry images," *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 4, No. 5, pp. 344–347, May 2000.
- [4] L. Caponetti, N. Abbattisti and G. Carapella, "A genetic approach to edge detection," in *Int. Conf. Image Processing*, Vol. 94, pp. 318–322, 1994.
- [5] V. Srinivasan, P. Bhatia and S. Ong, "Edge detection using neural network," *Pattern Recognit.*, Vol. 27, No. 12, pp. 1653–1662, 1995.
- [6] T. J. Hebert and D. Malagre, "Edge detection using a priori model", in *Int. Conf. Image Processing*, Vol. 94, pp. 303–307, 1994.
- [7] R. Gonzalez and R. Wood, "Digital Image Processing", Addison Wesley, pp 414–428, 1992.
- [8] J. Canny, "A computational approach to edge detection," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, Vol. PAMI-8, pp. 679–697, June 1986.
- [9] M. Jourlin and J. C. Pinoli, "Logarithmic Image Processing: The Mathematical and Physical Framework for the Representation and Processing of Transmitted Images", *Advances in Imaging and Electron Physics*, Vol. 115, pp. 129–196, 2001.
- [10] G. Deng and L. Cahill, "The Logarithmic Image Processing Model and Its Applications," in *Conf. Record 1993 Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers*, Vol. 2, pp. 1047–1051, 1993.
- [11] G. Sun, Q. Liu, Q. Liu, C. Yuan and X. Li, "A Novel Approach for Edge Detection Based On the Theory of Universal Gravity", *Pattern Recognition*, Vol. 40, No. 10, pp. 2766–2775, Oct. 2007.
- [12] I. Abdou and W. Pratt, "Quantitative design and evaluation of enhancement/thresholding edge detectors", *Proc. IEEE* Vol. 69, pp. 753–763, 1979.

#### ABSTRACT

This paper analyzed efficiency of the Gravity algorithm (GA) to detect edges in an image. First, GA is described, which implemented analogy with the Universal law of gravity. Then, it presents the results of GA as well as some classical algorithms for detecting edges. They are presented in the form of images with edges and tables. At the end, comparative analysis of the GA efficiency are determined.

#### PERFORMANCE OF GRAVITY ALGORITHM FOR EDGE DETECTION IN THE IMAGE

Aleksandar Stevanović, Zoran Milivojević, Darko Brodić.