

МОДИФИКОВАНИ ДВОНИВОВСКИ АЛГОРИТАМ ЗА ДЕТЕКЦИЈУ ИВИЦА НА САТЕЛИТСКИМ СЛИКАМА

Милош Пејановић¹ Перица Штрбац² Павле Штрбац³ Стефан Пејановић⁴

Резиме: Рад приказује модификовани двонивовски алгоритам за детекцију ивица и његову примену на сателитским сликама. Двонивовски алгоритам за детекцију ивица је модификован додавањем еквализације хистограма у циљу бољег подешавања контраста на сателитској слици. Коришћене су јавно доступне сателитске слике са 7 сателита. Модел модификованог двонивовског алгоритма за детекцију ивица је приказан помоћу Надградених Петри-мрежа након чега је дати модел трансформисан у рачунарски програм. Подмрежа за моделовање еквализације хистограма је дата на ниском нивоу апстракције. Дати су експериментални резултати примене креираног рачунарског програма за модификовани двонивовски алгоритам детекције ивица над одабраним скупом сателитских слика. Приказана је и компаративна анализа модификованог и немодификованог двонивовског алгоритма за детекцију ивица за различите сателитске слике.

Кључне речи: Детекција ивица, еквализација хистограма, сателитске слике, двонивовски алгоритам, Надграђене Петри-мреже

MODIFIED TWO-LEVEL ALGORITHM FOR EDGE DETECTION ON SATELLITE IMAGES

Abstract: The paper presents a modified two-level algorithm for edge detection and its application on satellite images. The two-level edge detection algorithm has been modified by adding histogram equalization in order to better adjust the contrast in the satellite image. Publicly available satellite images from 7 satellites were used. The model of the modified two-level algorithm for edge detection was presented using Upgraded Petri nets, after which the given model was transformed into a computer program. The subnet for the histogram equalization model is given at a low level of abstraction. Experimental results of the application of the created computer program for a modified two-level edge detection algorithm over a selected set of satellite images are given. A comparative analysis of the modified and unmodified two-level algorithm for edge detection for different satellite images is also presented.

Key words: Edge detection, histogram equalization, satellite images, two-level algorithm, Upgraded Petri-nets

1. УВОД

Издвајање ивица из сателитских снимака има значајну примену у изради разних врста карата, приказима метеоролошких промена и слично. У протеклих неколико деценија постигнут је значајан технолошки напредак у побољшању карактеристика оптичких сензора које омогућују побољшану резлучивост на сателитским снимцима. У том циљу значајан је развој нових алгоритама који боље препознају ивице различитих објеката на снимцима.

У овом раду је урађена модификација двонивовског алгоритма [1] додавањем еквализације хистограма као једног од корака у првом нивоу двонивовског алгоритма, а у циљу бољег подешавања контраста на сателитској слици која је улазна за други ниво.

¹Предавач, АТУСС – Одсек Висока школа електротехнике и рачунарства, Војводе Степе 283, Београд, pejanovicm@viser.edu.rs:

²Професор, АТУСС – Одсек Висока школа електротехнике и рачунарства, Војводе Степе 283, Београд, pericas@viser.edu.rs:

³Дипл.инж, TMS d.o.o, Milutina Milankovića 11B, Београд, strbacpavle98@gmail.com:

⁴Дипл. инж, NewCo. – Научно-технолошки парк, Вељка Дугошевића 54, Београд., stefanpejanovic604@gmail.com:

Циљ експеримента је унапређење двонивовског алгоритма за добијање оптималне слике ивица из сателитског снимка.

Скуп слика који је коришћен у експериментима су јавно доступне слике снимљене са сателита: *Kanopus V1*, *Landsat 8*, *UK-DMC2*, *Aster*, *LANDSAT 7 ETM+*, *Ikonos* и *QuickBird* [2].

За моделовање, симулацију и анализу коришћене су Надграђене Петри-мреже (*Upgraded Petri Nets - UPN*) те оригинални пакет *PeM (Petri-net Manager)*, а за експерименте софтверски програм који је добијен трансформацијом припадног *UPN* модела [3].

2. МОДИФИКОВАНИ ДВОНИВОВСКИ АЛГОРТАМ ЗА ДЕТЕКЦИЈУ ИВИЦА

Ово поглавље описује двонивовски алгоритам за детекцију и његову модификацију. Излажу се само основе двонивовског алгоритма за детекцију ивица, а за све детаље о двонивовском алгоритму за детекцију ивица погледати рад [1].

2.1. Први ниво двонивовског алгоритма за детекцију ивица

Двонивовски алгоритам за детекцију ивица у првом нивоу: учитава слику у боји, трансформише је у сиву слику користећи коефицијенте за сваку компоненту боје пиксела и рачунајући аритметичку средину збира производа датог коефицијента и дате боје, развлачи контраст наведене сиве слике за добијање више разлучивих детаља на слици, примењује Гаусово замућење на новодобијену слику, а онда примењује двоструки праг да би се издвојили објекти на слици у односу на њену позадину.

2.2. Други ниво двонивовског алгоритма за детекцију ивица

Други ниво овог алгоритма као улаз користи слику која је резултат првог нивоа те рачуна интензитет и смер градијента за сваки пиксел да би могао да изврши потискивање немаксимума које обухвата остављање градијента за онај пиксел код кога оба суседна пиксела имају мањи градијент гледано у смеру градијента за тај пиксел, а онда се на основу прага за јаке ивице задрже пиксели чији је градијент већи од датог прага (припадају јакум ивицама), а од осталих пиксела се задрже они пиксели чији суседни пиксели имају градијент већи од доњег прага за прихватање ивица (повезани су са јаким ивицама).

2.3. Модификовани двонивовски алгоритам за детекцију ивица

Модификовани двонивовски алгоритам за детекцију ивица у првом нивоу након развлачења контраста врши еквилизацију хистограма и сада је та слика улазна за Гаусово замућење као следећу операцију над сликом. Ова модификација је подесна за појачавање контраста тамо где улазна слика за ову операцију има мањи опсег коме припадају вредности пиксела дате слике (мањи контраст).

Еквилизација хистограма омогућиће да се што равномерније распореди фреквенција пиксела исте вредности на целом опсегу вредности (овде 0..255), дакле, да се постигне униформна густина расподеле. На овај начин добија се бољи контраст слике [4] [5].

Улаз у операцију еквилизације хистограма је у овом случају сива слика којој је развучен контраст. За надаље у потпоглављу 2.3 видети [6][7]. Сада је потребно креирати податке за хистограм у облику листе чији индекс одговара вредности пиксела,

а вредност члана листе за дати индекс представља број (фреквенцију) таквих пиксела на тој слици што је дато формулом (1).

$$H_{list}[i] = freq(Pix = i) \quad (1)$$

Где су:

$H_{list}[i]$ - вредност члана листе коме је индекс једнак i ;

$freq(Pix=i)$ - фреквенција пиксела Pix чија је вредност једнака i ;

Pix – вредност пиксела

i – индекс који припада интервалу од 0 до 255.

k – индекс који припада интервалу од 0 до $n-1$, где је n укупан број пиксела на слици;

Сада је потребно креирати нормализовани хистограм који се добија тако да се сваки елемент листе H_{list} подели са укупним бројем пиксела на слици што је дато формулом (2).

$$NH_{list}[i] = \frac{1}{n} H_{list}[i] \quad (2)$$

Где су:

$NH_{list}[i]$ - вредност члана листе за нормализовани хистограм коме је индекс једнак i ;

$H_{list}[i]$, n - као у (1).

Након што је креиран нормализовани хистограм следи креирање нормализованог кумулативног хистограма. Овај хистограм је листа чији се чланови рачунају према (3).

$$NCH_{list}[i] = \sum_{j=0}^i NH_{list}[j] \quad (3)$$

Где су:

$NCH_{list}[i]$ - вредност члана листе за кумулативни нормализовани хистограм који одговара суми вредности свих чланова припадне NH_{list} чији је индекс мањи или једнак индексу i .

j – индекс члана NH_{list} ;

i – као у (1).

Након што је креиран кумулативни нормализовани хистограм потребно је извршити мапирање пиксела улазне слике Pix чија је вредност i у вредност према формули (4).

$$if Pix == i : Pix = 255 \cdot NCH_{list}[i] \quad (4)$$

При оваквом мапирању ће вредност пиксела који су имали минималну вредност на улазној слици сада имати вредност 0, а вредност пиксела који су имали максималну вредност на улазној слици сада имати вредност 255, док ће се вредности осталих пиксела мапирати између наведених вредности.

3. UPN МОДЕЛ МОДИФИКОВАНОГ ДВОНИВОВСКОГ АЛГОРИТМА ЗА ДЕТЕКЦИЈУ ИВИЦА

Модификовани двонивовски алгоритам за детекцију ивица на сателитским сликама је моделован применом Надграђених Петри-мрежа. За детаље о моделовању, симулацији и анализи помоћу Надграђених Петри-мрежа видети референцу [3].

UPN модел модификованог двонивовског алгоритма за детекцију ивица дат је на слици 1. Почетно означавање је $\mu(p1) = \mu(p2) = 1$ (у раду ће се наводити само означавања различита од 0). Овим је моделовано да је припремљена улазна слика у боји (RGB_IMAGE) те да ће се користити еквилизација хистограма (UHE).

Прелаз $t2$ (RGB2GRAY) који моделује операцију добијања сиве слике од улазне колор слике) је запаљив јер је $\mu(p5) = 0$ и постоји инверторски улазни лук из $p5$ (RGB_COEF моделује RGB коефицијенте за добијање сиве слике) у $t2$, а такође је и $\mu(p2) = 1$. Паљењем овог прелаза креира се сива слика која је моделована прелазом $p6$ (GRAY_IMAGE).

Ново означавање јесада $\mu(p1) = \mu(p6) = 1$. Сада је запаљив прелаз $t3$ (CS) који моделује развлачење контраста сиве слике уз постављене параметре развлачења моделоване местом $p10$ (CS_PARAMS). Паљењем овог прелаза добија се сива слика са развученим контрастом која је моделована местом $p11$ (CS_IMAGE). Излазна функција $B(t3, p11) = 3$ тако да је сада ново означавање $\mu(p6) = 3$, $\mu(p1) = 1$. Сада је запаљив скуп прелаза $\{t1, t11, t17\}$.

Прелаз $t1$ (MAKE_H) моделује креирање хистограма слике са развученим контрастом. Прелаз $t11$ (C_NPIX) моделује рачунање броја пиксела на претходно поменутој слици. Да би ова подмрежа правилно радила потребно је у моделу копирати CS_IMAGE у CSI_COPY што је моделовано прелазом $t17$.

Паљењем скупа прелаза $\{t1, t11, t17\}$ добија се означавање $\mu(p3) = \mu(p4) = \mu(p9) = \mu(p1) = 1$. Означавање $\mu(p1) = 1$ је резултат улазне и излазне функције за $t1, t11$ и $t17$ према прелазу $p1$ које су једнаке 1. Место $p3$ моделује креиран хистограм (H), место $p4$ моделује израчунат број пиксела на слици (NPIX), а место $p9$ моделује копирану слику са развученим контрастом (CSI_COPY).

Сада је запаљив прелаз $t12$ (MAKE_NH) који моделује креирање нормализованог хистограма. Паљењем овог прелаза добија се означавање $\mu(p9) = \mu(p1) = \mu(p7) = 1$. Место $p9$ моделује нормализовани хистограм (NH). Сада је запаљив прелаз $t13$ (MAKE_NCH) који моделује креирање нормализованог кумулативног хистограма. Паљењем овог прелаза добија се означавање $\mu(p9) = \mu(p1) = \mu(p8) = 1$.

Место $p8$ моделује нормализовани кумулативни хистограм (NCH). Сада је запаљив прелаз $t14$ (MAPPIX) који моделује мапирање пиксела према NCH и CSI_COPY. Паљењем овог прелаза добија се означавање $\mu(p15) = \mu(p1) = 1$.

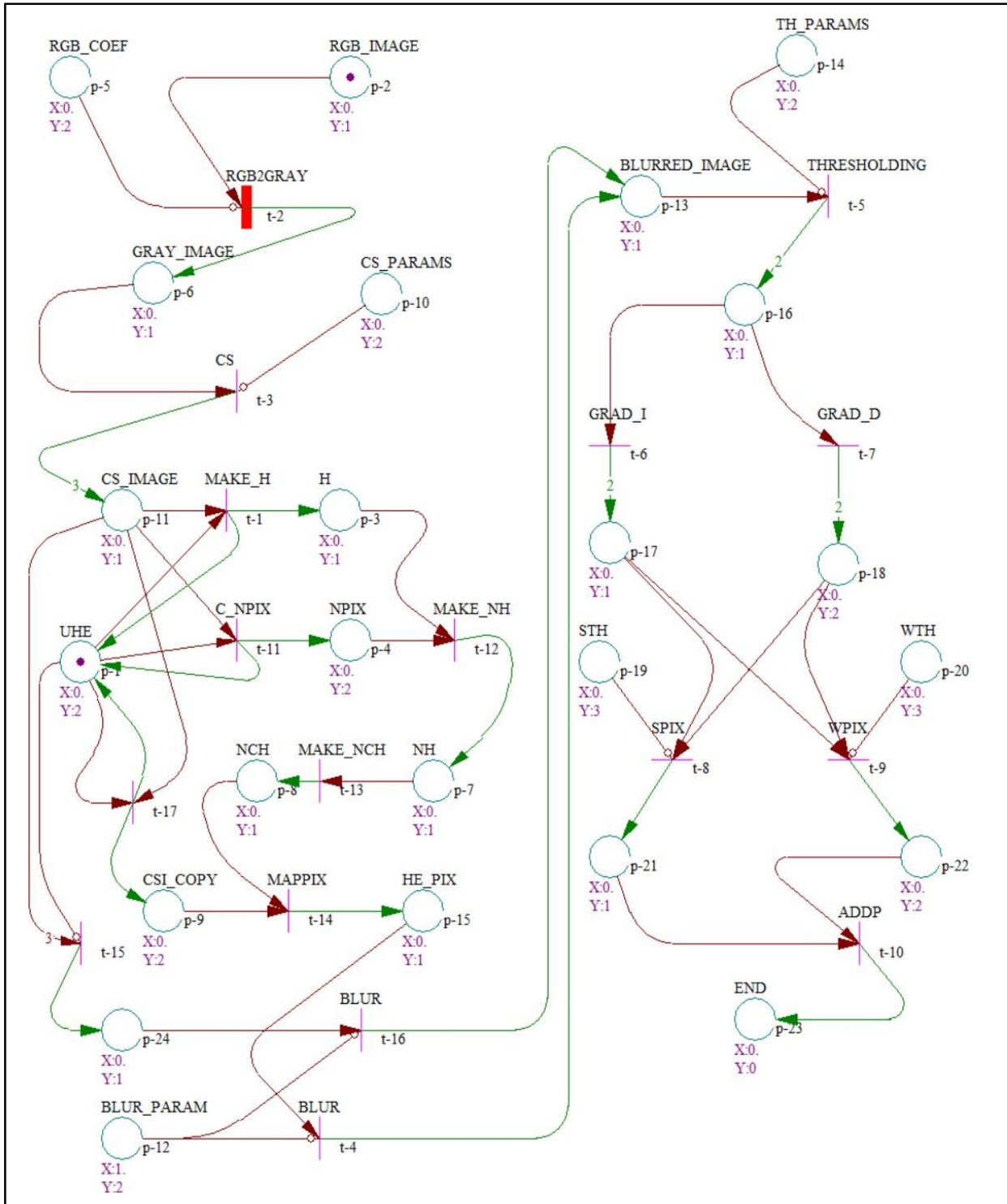
Место $p15$ означава слику која је резултат еквилизације хистограма (HE_PIX). Запаљив је прелаз $t4$ (BLUR) који моделује Гаусово замућење. Параметар за Гаусово замућење моделује место $p12$ (BLUR_PARAM). Паљењем овог прелаза добија се означавање $\mu(p13) = \mu(p1) = 1$. Место $p13$ моделује замућену слику (BLURRED_IMAGE).

Након овога запаљив је прелаз $t5$ који моделује двоструки праг чије параметре моделује место $p14$ (TH_PARAMS). Паљењем прелаза $t5$ добија се означавање $\mu(p16) = 2, \mu(p1) = 1$. Излазна функција $B(t5, p16)$ има вредност 2 која је потребна за даље паралелно извршавање мреже. Сада је запаљив скуп прелаза $\{t6, t7\}$ чијим паљењем се паралелно рачунају интензитети исмерови градијената.

Паљењем скупа прелаза $\{t6, t7\}$ ново означавање је $\mu(p17) = \mu(p18) = 2, \mu(p1) = 1$ (опет према B функцијама за $t6$ и $t7$). Сада се пали скуп прелаза $\{t8, t9\}$ којим је моделовано рачунање пиксела јаких ивица (SPIX) и пиксела слабих ивица који су

повезани са јаким ивицама (*WPIX*). Након овог паљења означавање је $\mu(p1) = \mu(p21) = \mu(p22) = 1$. Сада је запаљив прелаз *t10* чијим паљењем се прави унија ових пиксела и долази до мртвог чвора које је представљено означавањем $\mu(p1) = \mu(p23) = 1$.

Ако је код почетног означавања $\mu(p1) = 0$, онда би паљењем следа прелаза $\{t2\}, \{t3\}$ био запаљив прелаз *t15* (према улазним и излазним функцијама) и само би се наставила грана ка *t6* што би значило да се еквилизација хистограма не користи.



Слика 1. UPN модел модификованог двонивовског алгоритма за детекцију ивица

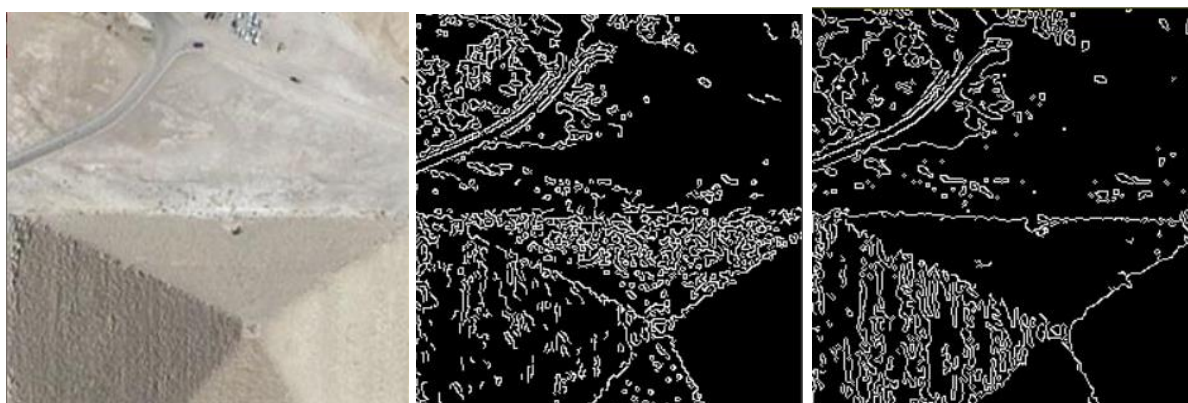
4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

Експериментални резултати су добијени уносом одабраних сателитских слика у рачунарски програм који је настао из припадног *UPN* модела. Над сваком одабраном сликом урађена су два подешавања параметара [1].

Прво подешавање параметара обухвата подешавања која се односе на РГБ коефицијенте за конверзију колорне слике у сиву слику, развлачење контраста, Гаусово замућење, праг одсецања те вредност за слабе и јаке ивице. Мењањем ових параметара дошло се до задовољавајуће слике двонивовског алгоритма.

Друго подешавање параметара обухвата подешавања која се односе на РГБ коефицијенте за конверзију колорне слике у сиву слику, развлачење контраста, након чега се ради еквализација хистограма, Гаусово замућење, праг одсецања те вредност за слабе и јаке ивице. Мењањем ових параметара дошло се до задовољавајуће слике модификованог двонивовског алгоритма.

Следи приказ неколико примера тријаде слика коју чине: оригинална слика, слика добијена двонивовским алгоритмом и слика добијена модификованим двонивовским алгоритмом. Дати су примери где је модификовани двонивовски алгоритам имао боље резултате од немодификованог двонивовског алгоритма и обратно.



Слика 2. Тријада слика за слику *geoeye-1-giza-pyramids*

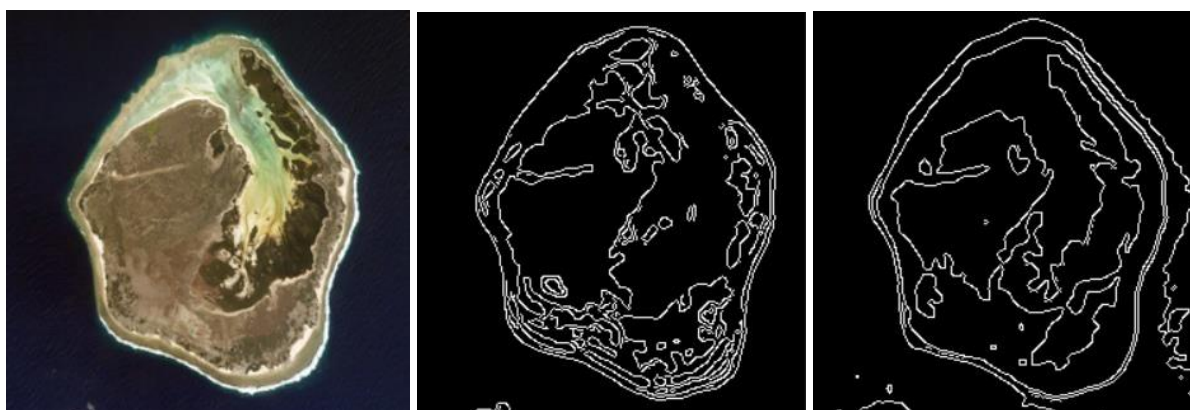
На слици 2 дат је приказ оригиналне слике *geoeye-1-giza-pyramids*, затим слике добијене применом двонивовског алгоритма за параметре: $r = 299$, $g = 587$, $b = 114$, $mini = 0$, $max_i = 255$, $mino = 2$, $max_o = 255$, $Gauss = 3$, $threshold_low = 37$, $threshold_high = 174$, $edges_low = 17$, $edges_high = 50$ те слике добијене применом модификованог двонивовског алгоритма за параметре: $r = 299$, $g = 587$, $b = 114$, $mini = 0$, $max_i = 255$, $mino = 1$, $max_o = 255$, $Gauss = 3$, $threshold_low = 20$, $threshold_high = 131$, $edges_low = 21$, $edges_high = 42$.

На слици 3 дат је приказ оригиналне слике *europa_island*, затим слике добијене применом двонивовског алгоритма за параметре: $r = 299$, $g = 587$, $b = 114$, $mini = 0$, $max_i = 255$, $mino = 1$, $max_o = 255$, $Gauss = 5$, $threshold_low = 74$, $threshold_high = 164$, $edges_low = 19$, $edges_high = 64$ те слике добијене применом модификованог двонивовског алгоритма за параметре: $r = 299$, $g = 587$, $b = 114$, $mini = 0$, $max_i = 255$, $mino = 1$, $max_o = 255$, $Gauss = 5$, $threshold_low = 100$, $threshold_high = 190$, $edges_low = 19$, $edges_high = 64$.

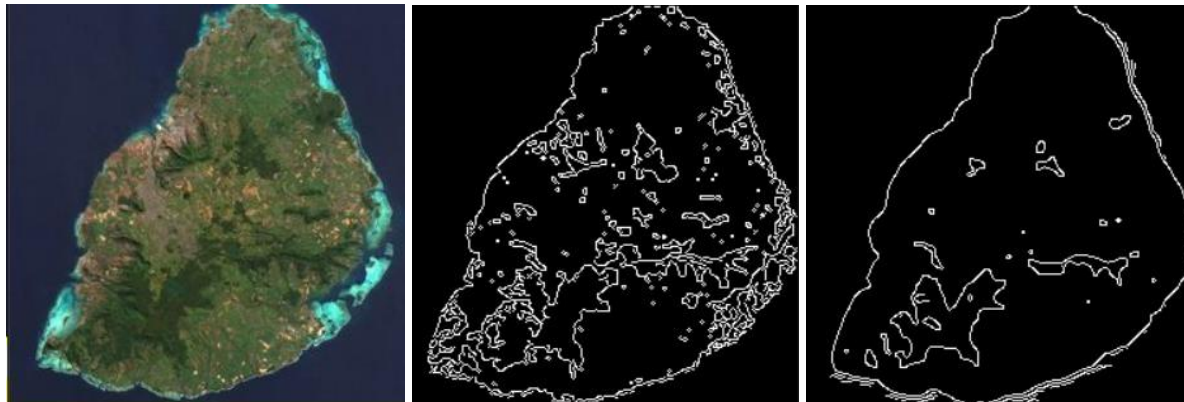
На слици 4 дат је приказ оригиналне слике *mauritius*, затим слике добијене применом двонивовског алгоритма за параметре: $r = 299$, $g = 587$, $b = 114$, $mini = 0$, $max_i = 255$, $mino = 1$, $max_o = 255$, $Gauss = 3$, $threshold_low = 39$, $threshold_high = 129$,

edges_low = 12, edges_high = 41 те слике добијене применом модификованог двонивовског алгоритма за параметре: $r = 299$, $g = 587$, $b = 114$, $mini = 0$, $maxi = 255$, $mino = 1$, $maxo = 255$, $Gauss = 5$, $threshold_low = 11$, $threshold_high = 129$, $edges_low = 17$, $edges_high = 52$.

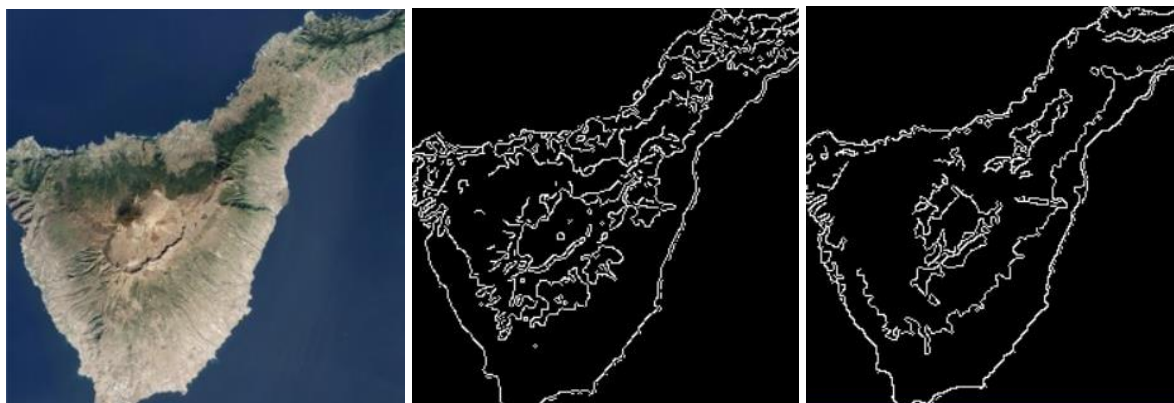
На слици 5 дат је приказ оригиналне слике *tenerife*, затим слике добијене применом двонивовског алгоритма за параметре: $r = 299$, $g = 587$, $b = 114$, $mini = 13$, $maxi = 255$, $mino = 0$, $maxo = 255$, $Gauss = 3$, $threshold_low = 11$, $threshold_high = 128$, $edges_low = 20$, $edges_high = 29$ те слике добијене применом модификованог двонивовског алгоритма за параметре: $r = 299$, $g = 587$, $b = 114$, $mini = 0$, $maxi = 255$, $mino = 1$, $maxo = 255$, $Gauss = 3$, $threshold_low = 26$, $threshold_high = 216$, $edges_low = 33$, $edges_high = 79$.



Слика 3. Тријада слика за слику *europe_island*



Слика 4. Тријада слика за слику *mauritius*



Слика 5. Тријада слика за слику *tenerife*

5. ЗАКЉУЧАК

Модификацијом двонивовског алгоритма за детекцију ивица постигнути су бољи резултати од двонивовског алгоритма у случајевима где је улазна слика била са мањим контрастом. У итеративном поступку подешавања параметара за: РГБ коефицијенте за конверзију колорне слике у сиву слику, развлачење контраста, Гаусово замућење, прагове одсецања те вредност за слабе и јаке ивице урађени су експерименти да би се постигла боља детекција ивица при чему за модификовани двонивовски алгоритам након развлачења контраста се ради еквализација хистограма. Овим поступком је умањена грешка при тражењу доброг излаза код оба алгоритма. У случајевима где је поступак еквализације хистограма дао превелик контраст повећана је вредност Гаусовог замућења да би се елиминисала детекција ивица које не одговарају гледано према оригиналној слици.

Даљи правци истраживања на овом раду је коришћење адаптивне еквализације хистограма или адаптивне еквализације хистограма са лимитираним контрастом као додатних опција за избор еквализације хистограма и њихова примена над различитим скупом сателитских слика.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Štrbac P, Korać V, Pejanović M. (2020). *Primena dvonivovskog algoritma za detekciju ivica modelovanog u Nadgrađenoj Petri-mreži*, ETRAN Београд, 660-666
- [2] Upadhyay P, Gupta S. (2012). *Introduction to Satellite Imaging Technology and Creating Images using Raw Data Obtained from Landsat Satellite*, International Journal of Global Technology Initiatives, vol. 1, issue 1, 126-134
- [3] Štrbac, P., Milovanović, G.V. (2013). *Upgraded Petri net model and analysis of adaptive and static arithmetic coding*, Elsevier: Mathematical and Computer Modelling Vol. 58, 1548–1562
- [4] Yelmanov, S., Hranovska, O., Romanyshyn, Y. (2019). *A New Approach to the Implementation of Histogram Equalization in Image Processing*. IEEE, 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT), 288-293
- [5] Shanmugavadivu, P., S., Balasubramanian, K. (2014). *Thresholded and optimized histogram equalization for contrast enhancement of images*. ELSEVIR, Computers & Electrical Engineering, Volume 40, Issue 3, 757-768
- [6] Azani, W. M., Kader, M. M. A. (2017). *A Review of Histogram Equalization Techniques in Image Enhancement Application*, Journal of Physics: Conference Series, Volume 1019, 1st International Conference on Green and Sustainable Computing (ICoGeS), 1-7
- [7] Dhal, K. G., Das, A., Swarnajit, R., Gálvez, J., Das, S. (2021). *Histogram Equalization Variants as Optimization Problems: A Review*, Archives of Computational Methods in Engineering volume 28, pages 1471–149