

# **МАТЕМАТИЧКА ГИМНАЗИЈА**

## **МАТУРСКИ РАД**

**из предмета Рачунарство и информатика**

**Алгоритам детекције путева на сателитским снимцима**

**Ученик:**  
**Јован Миленковић IVд**

**Ментор:**  
**др Александар Картељ**

**Београд, јун 2016.**

## Садржај

1. Увод.....	1
2. Анализа карактеристика путева на сателитским снимцима .....	2
3. Предложени алгоритам .....	5
3.1 Бинаризација слике на основу луминозитета пиксела .....	5
3.2 Бинаризација слике на основу засићености боје пиксела.....	8
3.3 Отклањање шума анализирањем околине пиксела пута.....	10
3.4 Отклањање шума анализирањем повезаних компоненти.....	11
3.4.1 Отклањање повезаних компоненти мале површине.....	12
3.4.2 Отклањање повезаних компоненти велике површине и малог ексцентрицитета.....	12
4. Тестирање рада програма.....	14
4.1 Метрика.....	14
4.2 Резултати тестирања.....	14
5. Закључак .....	15
6. Литература.....	16

## 1. Увод

Све већа приступачност електронских уређаја и модерних информационих технологија, експоненцијални раст људске популације и велика приступачност изградње путева, само су неки од разлога све веће потребе за аутоматским генерисањем поузданих база саобраћајница.

Евидентан је развој и велики успех технологија 21. века, попут Глобалног позиционог система ГПС [1] (енг. *Global Positioning System*) и Гугл мапа [2] (енг. *Google Maps*), који су доступни свим корисницима паметних телефона, па чак и неких телефона старијих генерација. Разноврсне примене ових система, њихова приступачност (основни пакети су бесплатни) и чињеницу да представљају велики напредак у војној и цивилној навигацији, узрок су потребе за системом за аутоматско генерисање мапа и њихово лабелирање. Експоненцијални раст броја корисника паметних телефона и Интернета и побољшања у свакодневном животу која они доносе, имају значајан утицај на пораст потребе за модерним технологијама навигације.

Раст људске популације и све већи прилив становништва у градове, пре свега у периферним подручјима, доводе до настанка нових насеља, што за последицу има изградњу путева и саобраћајних структура које је потребно увести у постојеће базе.

Постојеће методе формирања база саобраћајница и њихово обележавање врше се ручним обележавањем саобраћајница на сателитским снимцима [3,4], што је веома скупо и временски неефикасно. Аутоматизацијом формирања базе саобраћајница смањили би се новчани трошкови и време израде базе, што би за последицу имало могућност чешћег освежавања (енг. *update*) постојећих база.

Један од најчешћих приступа аутоматском генерисању база саобраћајница је издвајање путева на сателитским снимцима. Велика доступност сателитских снимака високе резолуције кроз програме попут Гугл Земље [5] (енг. *Google Earth*) и раст процесорске снаге компјутера, главне су предности овог приступа. Највећи проблеми генерисања база саобраћајница на основу сателитских снимака су последице распореда зграда и вегетације (сенке, заклоњеност пута вегетацијом и зградама) и обележавање комплексних саобраћајних структура (надвожњаци, петље, подземне саобраћајнице, итд. ).

## 2. Анализа карактеристика путева на сателитским снимцима

Међусобна повезаност улица и саобраћајница, прожетост насељених места путевима и константна ширина путева на кратким деоницама (дужине до 50 метара) заједничка су особина свих путева, независно од физичких карактеристика пута и квалитета сателитских снимака. У математичком смислу, мрежа путева се може описати као повезан граф чији чворови представљају раскрснице, док гране представљају улице. На сателитским снимцима ова особина путева није увек у попуности изражена услед заклоњености пута вегетацијом, саобраћајем, зградама или сенкама које од њих потичу (слика 1).



*Слика 1 - Сенке, саобраћај и вегетација отежавају детекцију путева*

Вегетација и сенке у неким случајевима и за људско око представљају озбиљан проблем у препознавању путева, што је једна од многобројних последедица фактора средине и лошег квалитета сателитских снимака (ниска резолуција, замућеност, непрецизна дигитална репрезентација реалних боја...). Ширина путева креће се од 3 метра (једносмерне улице) до 15 метара (коловоз са више трака).

Већина путева на сателитским снимцима је сиве боје варијабилног интензитета. У зависности од карактеристика пута (састав асфалта, физичка оштећења, старост,...) и временских услова при којима је настао сателитски снимак, нијансе сиве боје пута варирају од изразито беле боје до тамно сиве (слика 2). Новији путеви су тамно сиве боје, старењем њихова боја бледи. Зависно од осунчаности подручја које је фотографисано, мења се и нијанса боје пута. Услед велике рефлексije Сунчевих зрака, поједине деонице су беле боје на сателитским снимцима.



Слика 2 - Различите нијансе сиве боје путева

Проблем препознавања путева спада у категорију издвајања обележја на сликама и као такав захтева бинаризацију слике тј. категоризацију пиксела слике на пикселе позадине и пикселе пута. Поред метода бинаризације, користе се и анализа повезаних компонената слике, анализа околине пиксела и отклањање шума слике. Алгоритам се може описати кроз следеће кораке:

- 1) Учитавање сателитског снимка  $S$ .
- 2) Генерисање бинарне слике  $V_1$ , на основу луминозитета појединачних пиксела сателитског снимка  $S$ , Оцуовим методом (енг. *Otsu's method*).
- 3) Генерисање бинарне слике  $V_2$ , на основу засићености (сивила) пиксела сателитског снимка.
- 4) Генерисање пресека  $V_1$  и  $V_2$ . Резултат пресека је слика  $V$ .
- 5) Отклањање шума анализирањем околине пиксела пута.
- 6) Отклањање ситног шума анализирањем повезаних компоненти.
- 7) Отклањање крупног шума анализирањем повезаних компоненти.

Претпоставка бинаризације на основу луминозитета (ставка 1) је да пиксели пута неће бити црне боје тј. да добро рефлектују светлост. Пиксели пута који се налазе у сенци, неће бити регистровани као пиксели пута овом методом бинаризације. Они представљају веома мали проценат пиксела пута и притом се овом методом значајно сужава скуп пиксела који потенцијално припадају путу, па се бинаризација на основу луминозитета пиксела испоставља корисном. Бинаризација слике на основу луминозитета извршена је Оцуовим методом [6].

Оправданост бинаризације на основу сивила пиксела (ставка 2), заснива се на чињеници да су путеви на сателитским снимцима сиве боје. Квантификовање „сивила“

пиксела извршено је коришћењем ХСВ простора боја (енг. *colorspace*), где засићеност (енг. *saturation*) боје пиксела представља квантитет сивила слике.

Отклањање шума на основу околине пиксела подразумева уклањање оних пиксела који у својој околини немају пуно пиксела који су проглашени за пиксел пута. Овим поступком отлања се шум будући да околине пиксела пута углавном чине пиксели пута.

Отклањање ситног шума базирано је искључиво на величини (површини) шума. При отклањању крупног шума, шум се отклања зависно од његовог ексцентрицитета тј. издужености као једне од главних карактеристика путева.

### 3. Предложени алгоритам

Нека је сателитски снимак  $S$ , резолуције  $M \times N$ , задат тродимензионалном матрицом  $I$ , димензија  $M \times N \times 3$ . Сваки од пиксела слике представљен је тројком поља матрице:  $I(i,j,1)$ ,  $I(i,j,2)$ ,  $I(i,j,3)$ , где свако од три поља представља једну компоненту РГБ модела боја: црвену (енг. R - red), зелену (енг. G - green) и плаву (енг. B - blue) компоненту боје пиксела  $S(i,j)$ . Вредности поља  $I(i,j,k)$  су цели бројеви из интервала  $[0,255]$ . Једноставности ради, поља  $I(i,j,1)$ ,  $I(i,j,2)$ ,  $I(i,j,3)$ , означаваћемо редом са  $R(i,j)$ ,  $G(i,j)$  и  $B(i,j)$ .

#### 3.1 Бинаризација слике на основу луминозитета пиксела

Бинаризација слике на основу луминозитета појединачних пиксела подразумева формирање матрице  $V_1$  димензија  $M \times N$ , чија поља узимају вредности из скупа  $\{0,1\}$ , где су јединицом представљени пиксели пута, а нулом пиксели позадине. Луминозитет пиксела је мера осветљености пиксела и тежинска је функција боје пиксела, тј. поља  $R(i,j)$ ,  $G(i,j)$  и  $B(i,j)$  матрице  $I$ . Формула за луминозитет пиксела је [7] :

$$L(i,j) = (int)(0.2989 \cdot R(i,j) + 0.5870 \cdot G(i,j) + 0.1140 \cdot B(i,j)) \quad (1)$$

Тежински коефицијенти формуле (1) које користи Матлаб [8] (енг. Matlab) функција *rgb2gray()*, емпиријски су одређени у зависности од количине рефлектоване светлости од стране црвене, зелене и плаве боје. Скуп пиксела позадине означимо са  $C_1$ , а скуп пиксела пута са  $C_2$ . Уколико је луминозитет пиксела  $L(i,j)$  већи од параметра  $k$  (праг луминозитета), пиксел се проглашава пикселем пута (јединица у матрици  $V_1$ ), у супротном се проглашава позадином (нула у матрици  $V_1$ ). Параметар  $k$  може бити унапред задат, али с обзиром на различиту количину светлости при којој су снимани сателитски снимци, пожељна је, и испоставља се ефективнијом, употреба параметра  $k$  као функције глобалне осветљености (функција луминозитета свих пиксела слике). За избор параметра  $k$  користи се Оцуов метод који бира вредност  $k$  тако да је унутарашња дисперзија скупова  $C_1$  и  $C_2$  минимална. Претпоставка овог метода је да су пиксели позадине и пута груписани око две различите вредности луминозитета, назовимо их  $I_1$  и  $I_2$ . У идеалном случају сви пиксели позадине имају луминозитет  $I_1$ , док су пиксели пута луминозитета  $I_2$ . Ради објашњења алгоритма, уводимо следеће полове.

**Дефиниција** Хистограм је функција  $H(i) = n_i$ , која слика скуп вредности луминозитета пиксела у скуп природних бројева, где је  $n_i$  број пиксела луминозитета  $i$ .

**Дефиниција** Функција расподеле луминозитета пиксела слике,  $P(i) = \frac{H(i)}{m \cdot n}$ , представља

вероватноћу да је луминозитет насумично одабраног пиксела са слике једнаг броју  $i$ .

**Дефиниција** Вероватноћа припадности скупа  $X$ , у ознаци  $w_x$ , представља вероватноћу да насумично изабрани пиксел припада скупу  $X$ .

Вероватноће припадности скупова  $C_1$  и  $C_2$  су редом:

$$w_1 = \sum_{i=0}^k p_i = w(k) \quad (2)$$

$$w_2 = \sum_{i=k+1}^{maxL} p_i = 1 - w(k) \quad (3)$$

где  $k$  представља праг луминозитета.

Како су сви пиксели слике подељени у два скупа,  $C_1$  и  $C_2$ , то важи следећа релација:

$$w_1 + w_2 = 1 \quad (4)$$

Десна једнакост формуле (3) следи директно из формуле (4).

Очекиване вредности луминозитета пиксела,  $\mu_1$  и  $\mu_2$ , унутар скупова  $C_1$  и  $C_2$  задати су следећим формулама:

$$\mu_1 = \sum_{i=0}^k iP(i|C_1) \quad (5)$$

$$\mu_2 = \sum_{i=k+1}^{maxL} iP(i|C_2) \quad (6)$$

где су  $P(i|C_1)$  и  $P(i|C_2)$  условне вероватноће да је луминозитет насумично изабраног пиксела  $i$ , под условом да он припада скупу  $C_1$ , односно  $C_2$ . На основу формуле множења вероватноћа,  $P(AB) = P(A)P(B|A)$ , где  $P(AB)$  означава вероватноћу да су се десили догађаји  $A$  и  $B$ , и чињенице да на основу луминозитета пиксела ( $i$ ) знамо ком од скупова  $C_1$  и  $C_2$  пиксел припада, важи следећа релација:

$$P(i|C_1) = \frac{P(iC_1)}{P(C_1)} = \frac{P(i)}{w_1} = \frac{P(i)}{w(k)} \quad (7)$$

Аналогно је и:

$$P(i|C_2) = \frac{P(iC_2)}{P(C_2)} = \frac{P(i)}{w_2} = \frac{P(i)}{1 - w(k)} \quad (8)$$

На основу релација (7) и (8), изрази (5) и (6) се могу записати у следећем облику:



$$\mu_1 = \frac{1}{w(k)} \sum_{i=0}^k iP(i) = \frac{\mu(k)}{w(k)} \quad (9)$$

$$\mu_2 = \frac{1}{1-w(k)} \sum_{i=k+1}^{maxL} iP(i) = \frac{\mu - \mu(k)}{1-w(k)} \quad (10)$$

где су

$$\mu(k) = \sum_{i=0}^k iP(i) \quad (11)$$

и

$$\mu = \sum_{i=0}^{maxL} iP(i) = const \quad (12)$$

очекиване вредности луминозитета првих **k** пиксела и свих пиксела слике, респективно.

На основу релација (2), (3), (9) и (10) важи следећа формула:

$$\mu_1 w_1 + \mu_2 w_2 = \mu \quad (13)$$

Дисперзије скупова **C**<sub>1</sub> и **C**<sub>2</sub>, **σ**<sup>2</sup><sub>1</sub> и **σ**<sup>2</sup><sub>2</sub>, дефинисане су формулама:

$$\sigma_1^2 = \sum_{i=1}^k (i - \mu_1)^2 P(i|C_1) = \frac{1}{w(k)} \sum_{i=1}^k (i - \mu_1)^2 P(i) \quad (14)$$

$$\sigma_2^2 = \sum_{i=k+1}^{maxL} (i - \mu_2)^2 P(i|C_2) = \frac{1}{1-w(k)} \sum_{i=k+1}^{maxL} (i - \mu_2)^2 P(i) \quad (15)$$

**σ**<sup>2</sup><sub>1</sub> и **σ**<sup>2</sup><sub>2</sub> представљају средње квадратно одступање луминозитета пиксела у скуповима **C**<sub>1</sub> и **C**<sub>2</sub>, у односу на очекиване вредности луминозитета пиксела у тим скуповима. Као такви, **σ**<sup>2</sup><sub>1</sub> и **σ**<sup>2</sup><sub>2</sub> су мера различитости луминозитета пиксела унутар скупова **C**<sub>1</sub> и **C**<sub>2</sub>.

**Дефиниција** Унутрашња дисперзија скупова **C**<sub>1</sub> и **C**<sub>2</sub>, **σ**<sup>2</sup><sub>u</sub>, дефинише се као тежинска сума дисерзија скупова **C**<sub>1</sub> и **C**<sub>2</sub>:

$$\sigma_u^2 = w_1 \sigma_1^2 + w_2 \sigma_2^2 = \sum_{i=1}^k (i - \mu_1)^2 P(i) + \sum_{i=k+1}^{maxL} (i - \mu_2)^2 P(i) \quad (16)$$

и као таква представља заједничу меру различитости луминозитета унутар скупова **C**<sub>1</sub> и **C**<sub>2</sub>. У идеалном случају када је луминозитет свих пиксела скупа **C**<sub>1</sub> једнак **l**<sub>1</sub> и луминозитет пиксела скупа **C**<sub>2</sub> једнак **l**<sub>2</sub>, дисперзије **σ**<sup>2</sup><sub>1</sub> и **σ**<sup>2</sup><sub>2</sub> једнаке су нули, па је самим тим и **σ**<sup>2</sup><sub>u</sub> једнако нули. Циљ алготима је одабир броја **k** тако да је вредност **σ**<sup>2</sup><sub>u</sub> минимална.

**Дефиниција** Дисперзија луминозитета слике

$$\sigma^2 = \sum_{i=0}^{maxL} P(i)(i - \mu)^2 = const \quad (17)$$

Посматрајмо сада следећу разлику:

$$\sigma_s^2 = \sigma^2 - \sigma_u^2 \quad (18)$$

Минимизација  $\sigma_u^2$  еквивалентна је максимизацији  $\sigma_s^2$ , с обзиром да је  $\sigma^2$  константа слике.

На основу формула (2), (3), (9), (10), (16) и (17) важе следеће релације:

$$\sigma_s^2 = \sum_{i=0}^{maxL} P(i)(i - \mu)^2 - \sum_{i=1}^k (i - \mu_1)^2 P(i) - \sum_{i=k+1}^{maxL} (i - \mu_2)^2 P(i) \quad (19)$$

$$\sigma_s^2 = \sum_{i=1}^k (\mu_1 - \mu)(2i - \mu - \mu_1)P(i) - \sum_{i=k+1}^{maxL} (\mu_2 - \mu)(2i - \mu - \mu_2)P(i) \quad (20)$$

$$\sigma_s^2 = (\mu_1 - \mu) \left( 2 \sum_{i=1}^k iP(i) - \sum_{i=1}^k (\mu + \mu_1)P(i) \right) \quad (21)$$

$$+ (\mu_2 - \mu) \left( 2 \sum_{i=k+1}^{maxL} iP(i) - \sum_{i=1}^{maxL} (\mu + \mu_2)P(i) \right)$$

$$\sigma_s^2 = (\mu_1 - \mu)(2w_1\mu_1 - (\mu + \mu_1)w_1) \quad (22)$$

$$+ (\mu_2 - \mu)(2w_2\mu_2 - (\mu + \mu_2)w_2)$$

Из формула (4), (13) и (22) следи:

$$\sigma_s^2 = w_1w_2(\mu_1 - \mu_2)^2 \quad (23)$$

Ако изразимо  $w_1, w_2, \mu_1$  и  $\mu_2$  у функцији од  $k$ , долазимо до следеће формуле:

$$\sigma_s^2 = \frac{(\mu(k) - \mu w(k))^2}{w(k)(1 - w(k))} \quad (24)$$

Како је луминозитет пиксела линеарна комбинација  $R(i,j)$ ,  $G(i,j)$  и  $B(i,j)$ , и како су вредности  $R(i,j)$ ,  $G(i,j)$  и  $B(i,j)$  из интервала  $[0,255]$ , то је скуп вредности луминозитета пиксела ограничен, тј. увек постоји  $\max\{\sigma_s^2\}$ . Параметар  $k$  одређује се као природан број из интервала  $[1,255]$  за коју је  $\sigma_s^2$  минимално.

### 3.2 Бинаризација слике на основу засићености боје пиксела

Наредни корак у процесу издвајања путева је бинаризација слике на основу процене да ли је пиксел сиве боје. У РГБ моделу боја, сива боја представља подједнако присуство (одсуство) све три основне боје, црвене, зелене и плаве. Као мера сивила (присутности све три основне боје) пиксела, може се користити дисперзија  $\mathbf{R}(i,j)$ ,  $\mathbf{G}(i,j)$  и  $\mathbf{B}(i,j)$

компоненти боје пиксела. Мана овог приступа је нелинеарност дисперзије односно велика разлика у дисперзијама сличних боја.



Слика 3 - Бинаризација слике на основу луминозитета пиксела

Алтернатива дисперзије компонената РГБ модела је компонента засићености ХСВ модела боја. ХСВ модел боја представља сваку боју кроз три компоненте: нијанса (енг. *H* - *hue*), засићеност (енг. *S* - *saturation*) и интензитет (енг. *V* - *value*). Физичке аналогије нијанси, засићености и интензитету ХСВ модела су доминантна таласна дужина коју боја рефлектује, ширина интервала таласних дужина светлости која се рефлектује и количина светлости која се рефлектује. Компонента засићености боје у ХСВ моделу рачуна се на основу компоненти боје у РГБ моделу, по формули:

$$S(i, j) = \max\{R(i, j), G(i, j), B(i, j)\} - \min\{R(i, j), G(i, j) \text{ и } B(i, j)\} \quad (25)$$

Што је засићеност боје мања, то је боја сличнија сивој боји. Бинаризација слике на основу компоненте засићености врши се тако што се сви пиксели чија је засићеност мања од унапред задатог параметра **Sat** проглашавају за пикселе пута, док се остали проглававају пикселима позадине. Резултат бинаризације је матрица нула и јединица **B<sub>2</sub>**, димензија **MxN**, где су јединицом означени пиксели пута, а нулом пиксели позадине.



Слика 4 - Бинаризација на основу засићености боје пиксела

Пресек бинарних матрица **B<sub>1</sub>** и **B<sub>2</sub>** је бинарна матрица **B** (слика 5), где је:

$$B(i, j) = \begin{cases} 1, & B_1(i, j) = 1 \wedge B_2(i, j) = 1 \\ 0, & B_1(i, j) = 0 \vee B_2(i, j) = 0 \end{cases} \quad (26)$$

### 3.3 Отклањање шума анализирањем околине пиксела пута

Након бинаризације, уочавају се контуре пута, али је неопходно филтрирати слику од шума. Уочимо да је шум углавном ситан и неправилног облика. Одлика унутрашњих пиксела пута је окруженост другим пикселима пута. Као корисном техником филтрирања испоставила се техника филтрирања слике на основу околине пиксела, односно квадрата странице  $N$  у чијем је центру посматрани пиксел. У околини пиксела пута углавном се налазе пиксели пута, док је код шума то знатно ређе (слика 6). Филтрирање слике на основу околине врши се по сваком пикселу појединачно. Назовимо посматрани пиксел  $p$ , а квадрат чији је он центар  $K$ .



Слика 5 - Пресек бинарних слика

Пиксел  $p$  може бити било који пиксел пута из матрице  $B$ . Уколико мање од  $W$  процената квадрата  $K$  чине пиксели пута, пиксел  $p$  се проглашава позадином, у супротном остаје пиксел пута.  $W$  и  $N$  су параметари који су унапред задати и емпиријски се одређују на основу тестирања успешности рада програма.



Слика 6 - ОкоLINE пиксела и резултат филтрирања анализом окоLINE пиксела

### 3.4 Отклањање шума анализирањем повезаних компоненти слике

На слици која настаје након отклањања шума анализом окоLINE пиксела (слика 7) присутан је незанемарљива количина шума. У поступку отклањања овог шума користи се анализа повезаних компоненти бинарне слике (матрице). Повезана компонента слике је скуп пиксела пута где од произвољног пиксела А може да се дође до произвољног пиксела В прелазећи са једног пиксела на неки од његових суседа. Два пиксела, А и В, су суседни ако се једним хоризонталним, вертикалним или дијагоналним кораком може прећи са пиксела А на пиксел В.



Слика 7 - Слика након отклањања шума анализом окоLINE пиксела

Процес филтрирања слике на основу њених повезаних компоненти врши се у два корака: у првом кораку уклањају се повезане компонента са малим бројем пиксела (малом површином), а у другом кораку уклањају се повезане компоненте са великим бројем пиксела (великом површином) чији је ексцентрицитет мањи од неке задате вредности  $E$ . Вредност параметра  $E$  унапред је одређена. Ексцентрицитет представља меру колико је

повезана компонента слична кругу.

### 3.4.1 Отклањање повезаних компоненти мале површине

Сегментација слике на повезане компоненте врши се алгоритмом ширинске претраге, познатим као БФС [9] (енг. Breadth-first search). Након сегментације утврђује се површина повезаних компоненти и оне чија је површина мања од унапред задате површине  $P$ , се бришу (вредности пиксела у матрици  $B$  постављају се на нулу).

### 3.4.2 Отклањање повезаних компоненти велике површине и малог ексцентрицитета

Сегментација слике се врши на исти начин као и при уклањању повезаних компоненти мале површине. Након тога следи одређивање ексцентрицитета повезаних компоненти. У овом поступку повезану компоненту апроксимирамо елипсом чији је момент инерције једнак моменту инерције повезане компоненте. Ексцентрицитет повезане компоненте једнак је



Слика 8 - Фрагмент пута

ексцентрицитету елипсе и представља меру издужености повезане компоненте. Потреба за анализом издужености повезаних компоненти последица је прекида на путевима који настају приликом бинаризације (слика 8) и потребе да се елиминише велики шум. При процени издужености, интуитивно је апроксимирати повезану компоненту са елипсом као телом које има две доминантне осе, чије дужине одређују њену издуженост односно њен ексцентрицитет. Момент инерције тела као физичко својство које зависи од расподеле масе унутар тела погодно је као параметар апроксимације. Момент инерције дводимензионалног тела униформне густине дефинисан је матрицом интеграла [10]:

$$I = \begin{bmatrix} \iint x^2 \rho dx dy & \iint xy \rho dx dy \\ \iint xy \rho dx dy & \iint y^2 \rho dx dy \end{bmatrix} \quad (27)$$

где је  $\rho$  густина тела, а  $x$  и  $y$  координате тачака тела. Момент инерције повезане компоненте дефинисан је слично моменту инерције дводимензионалног тела:

$$I = \begin{bmatrix} \sum \sum x^2 dx dy & \sum \sum xy dx dy \\ \sum \sum xy dx dy & \sum \sum y^2 dx dy \end{bmatrix} \quad (28)$$

где су **x** и **y** координате пиксела повезане компоненте. Израчунавањем момента инерције елипсе на основу формуле (27) и момента инерције повезане компоненте на основу формуле (28), и њиховим изједначавањем израчунавају се **a** и **b**, дужине велике и мале полуосе елипсе. Ексцентрицитет елипсе рачуна се по формули [11]:

$$e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}} \quad (29)$$

Ексцентрицитет повезане компоненте једнак је ексцентрицитету елипсе којом је повезана компонента апроксимирана. Интервал вредности ексцентрицитета је [0,1]. Ексцентрицитет круга једнак је нули, док је ексцентрицитет праве један. Израчунавање ексцентрицитета повезане компоненте имплементирано је кроз *regionprops()* функцију у Матлабу.

## 4. Тестирање рада програма

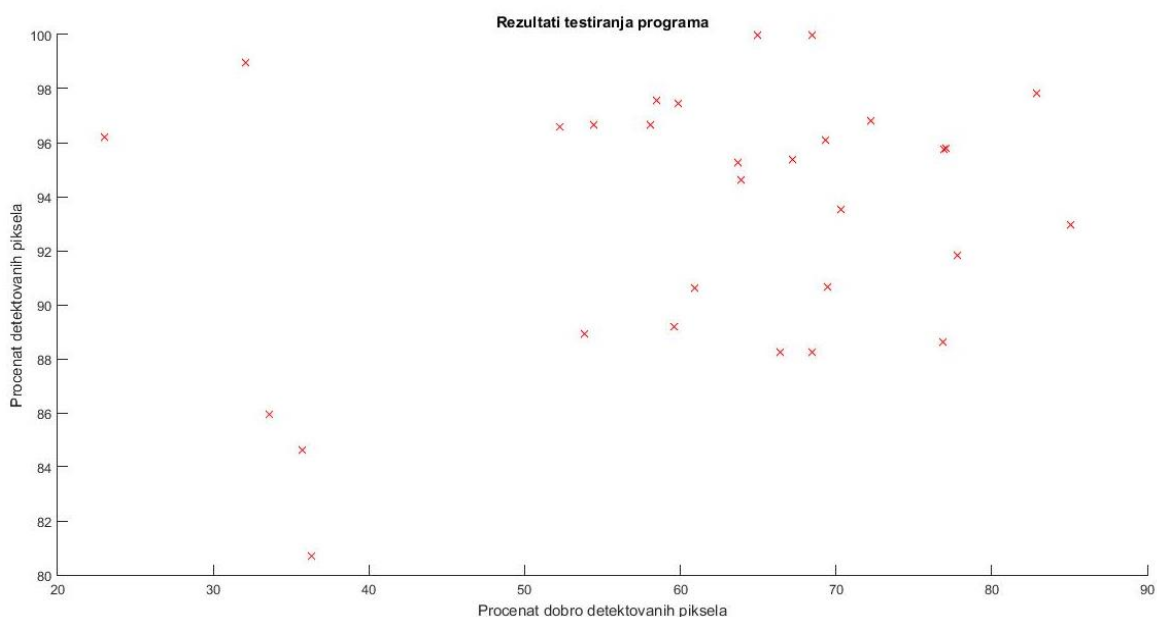
За тестирање рада програма коришћен је сет од тридесет сателитских снимака резолуције 4800x2718 пиксела у .jpg формату. Сателитски снимци су преузети из програма *Google Earth Pro*. Један сателитски снимак покрива површину од 550x310 метара ( $4800 / 550 = 8,73$  пиксела по метру). На преузетим сателитским снимцима налазе се делови Смедеревске Паланке и Тополе. Лабелирање слика за тестирање вршено је ручно, у програму *Paint.net*.

### 4.1 Метрика

Као параметри оцене рада програма коришћени су проценат пиксела пута које програм препознаје као пут (детектовани пиксели) и проценат препознатих пиксела који су пиксели пута (добро детектовани пиксели). За пиксел улице **p** кажемо да је детектован када у квадрату странице 29 пиксела ( $\sim 3,32$  метра) и центром у **p**, постоји пиксел који је препознат од стране програма као пут. За пиксел **p**, који је програм детектовао, кажемо да је добро детектован ако у квадрату странице 29 пиксела и центром у **p**, постоји пиксел пута.

### 4.2 Резултати тестирања

У просеку, програм детектује 93,39% пиксела улице, а од детектованих пиксела, 61,31% пиксела су добро детектовани пиксели (слика 9). Један од приступа из литературе, заснован на методама машинског учења, даје значајно поузданије резултате: 85% пиксела пута је детектовано, док је добро детектованих пиксела 87% [12].



Слика 9 - Резултати тестирања програма



## 5. Закључак

Предложени алгоритам детекције путева, због недовољног процента добро детектованих пиксела (61,31%), није погодан као основа за креирање базе путева и анализирање сруктуре путева. Висок проценат детектованих пиксела (93,39%) предложени алгоритам чине добром основом за даље издвајање путева на основу анализе карактеристика путева које су комплексније од карактеристика анализираних у раду. Алгоритам извршава идентичне операције над свим пикселима слике, што га чини погодним за имплементацију применом метода паралелног програмирања [13]. Паралелизација делова алгоритма значајно умањује време извршавања програма.

## 6. Литература

- [1] Глобални позициони систем, [https://en.wikipedia.org/wiki/Global\\_positioning\\_system/](https://en.wikipedia.org/wiki/Global_positioning_system/)
- [2] Гугл мапе, <https://www.google.com/maps/about/>
- [3] Object extraction and revision by image analysis using existing geodata and knowledge: current status and steps towards operational systems, Baltasavias E.P., ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2004
- [4] Object extraction in photogrammetric computer vision, Mayer H., ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2008
- [5] Гугл Земља, <https://earth.google.com/>
- [6] Оцуов метод, [https://en.wikipedia.org/wiki/Otsu's\\_method/](https://en.wikipedia.org/wiki/Otsu's_method/)
- [7] Формула луминозитета, [www.mathworks.com/help/matlab/ref/rgb2gray.html/](http://www.mathworks.com/help/matlab/ref/rgb2gray.html/)
- [8] Матлаб, [www.mathworks.com/products/matlab](http://www.mathworks.com/products/matlab)
- [9] *Breadth-first search*, [https://en.wikipedia.org/wiki/Breadth-first\\_search/](https://en.wikipedia.org/wiki/Breadth-first_search/)
- [10] Introduction to Classical Mechanics, With Problems and Solutions, David Morin, Cambridge University Press, 2008
- [11] Линеарна алгебра и аналитичка геометрија, Александар Липковски, Завод за уџбенике - Београд, 2007
- [12] Learning to Detect Roads in High-Resolution Aerial Images, Volodymyr Mnih and Geoffrey E. Hinton, Department of Computer Science, University of Toronto, 2010
- [13] Паралелно програмирање, [https://en.wikipedia.org/wiki/Parallel\\_computing/](https://en.wikipedia.org/wiki/Parallel_computing/)