

# UNIVERZITET U BEOGRADU ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET

*Katedra za elektroniku*

*Predmet: Digitalna obrada slike*



## **Izveštaj: 3. domaći zadatak**

Rok za predaju: 11.11.2015.

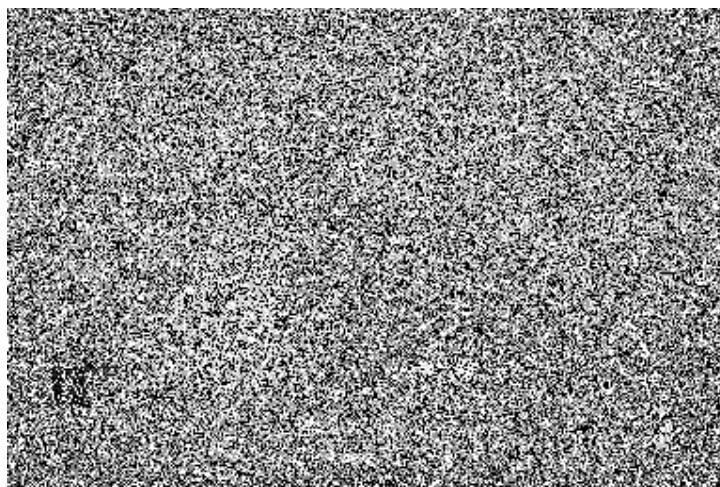
Student:

Ime	Prezime	broj indeksa
Predrag	Kuzmanović	49/2012

## Tačka 1

### Deo 1: enigma

Na slici 1.1.1. prikazana je ulazna slika koja se obrađuje, **enigma.png**.



*Slika 1.1.1. Ulazna slika, enigma.png*

Prvo što se vidi kada se učitava ova slika je to da ima mnogo ekstremnih vrednosti intenziteta piksela (potpuno crni i potpuno beli pikseli), odnosno slika je zagađena impulsnim šumom. Zbog toga je najpre primenjen nelinearan filter, čiji je zadatak da u određenoj meri odstrani ovaj šum. Pokušano je sa traženjem središnjeg elementa (medijana) za različite tipove maski, u obliku kvadrata i u okviru krsta. Najbolji rezultati dobijeni su uz pomoć funkcije **medfilt2** sa maskom oblika kvadrata **13x13** i simetričnim dopunjavanjem piksela oko ivica slike (kako se ne bi dobio crni okvir na obrađenoj slici). Poboljšana slika dobijena nakon ove transformacije prikazana je na slici 1.1.2.



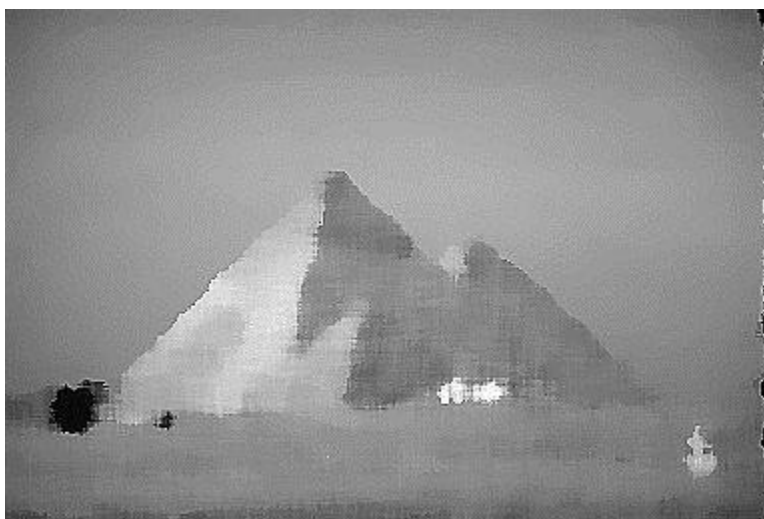
*Slika 1.1.2. Slika sa potisnutim impulsnim šumom, enigma\_median13.jpg*

Sada se već može videti smislen sadržaj na slici, a to su piramide. Nakon ovoga, razvučen je kontrast i slika je malo potamnjena pomoću funkcije **imadjust**. Ovako dobijena slika prikazana je na slici 1.1.3.



*Slika 1.1.3. Slika sa razvučenim kontrastom, `enigma_high_contrast.jpg`*

Sledeće poboljšanje slike je izoštravanje. Ono je urađeno na 2 načina: pomoću Laplasijana i pomoću isticanja visokih učestanosti (*unsharpen*). Slika nakon ove 2 pojedinačne obrade prikazane su na slikama 1.1.4. i 1.1.5, respektivno.

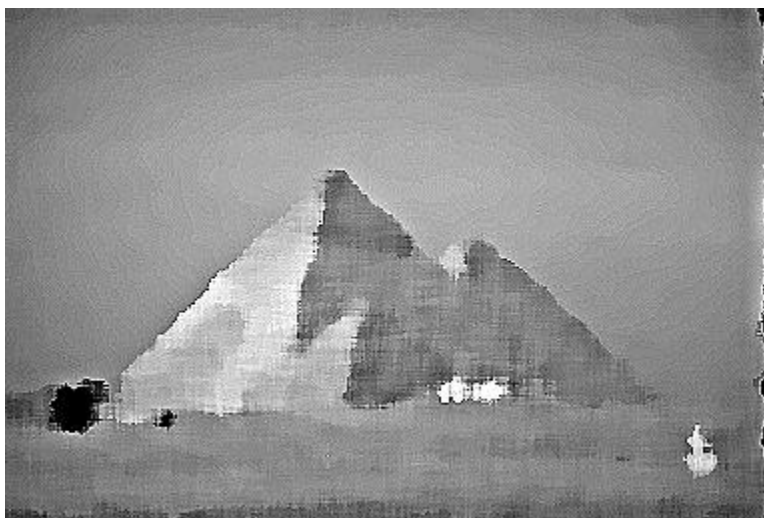


*Slika 1.1.4. Slika izoštrana pomoću Laplasijana, `enigma_laplacian.jpg`*



*Slika 1.1.5. Slika izoštrena pomoću isticanja visokih učestanosti, `enigma_unsharpen.jpg`*

Međutim, po meni lično se dobija slika još prijatnija za oko kombinacijom ove 2 metode. Takva slika je izlazna slika nakon finalne obrade i predstavljena je na slici 1.1.6.



*Slika 1.1.6. Izlazna slika, `enigma_processed.jpg`*

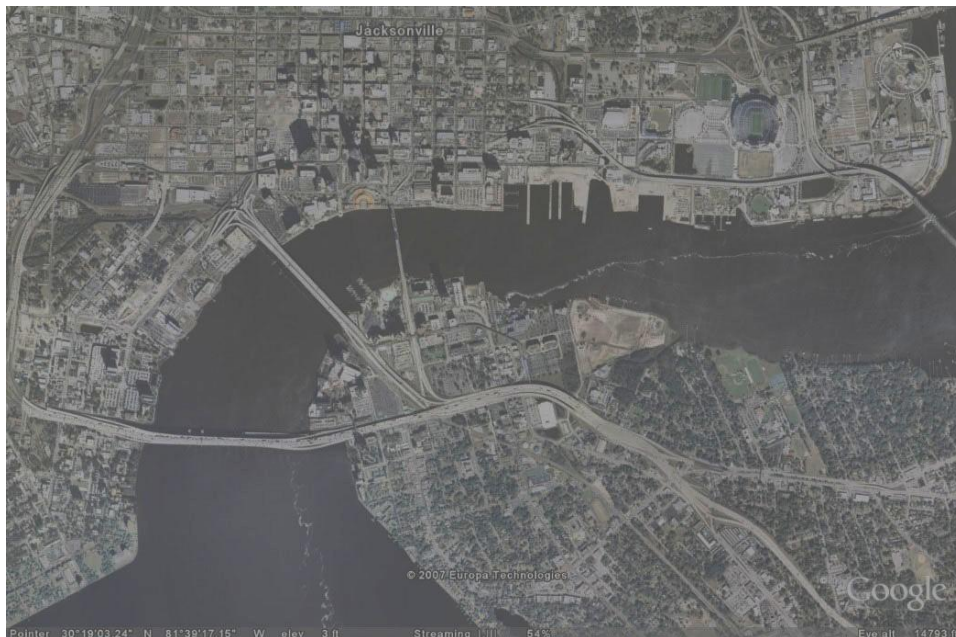
## Deo 2: sat\_map

Na slici 1.2.1. prikazana je ulazna slika koja se obrađuje, **sat\_map.jpg**.



*Slika 1.2.1. Ulazna slika, sat\_map.jpg*

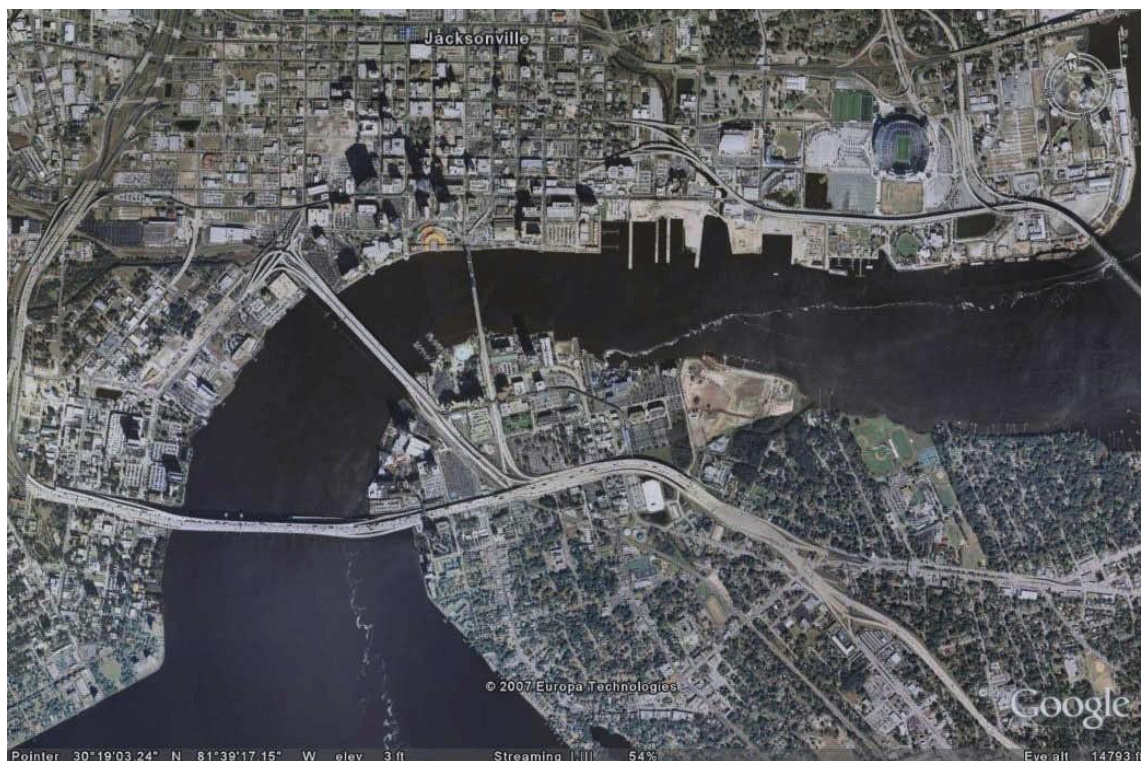
Odmah se vidi da je slika previše svetla, pa je tako prvo odrađeno potamljivanje primenom stepene funkcije (sa stepenom većim od 1, u konkretnom slučaju **2.5**), i to direktno u RGB sistemu. Na slici 1.2.2. prikazana je ovako dobijena slika.



*Slika 1.2.2. Slika potamljena direktno u RGB sistemu, sat\_map\_darker\_RGB.jpg*



Nakon ovoga pokušano je razvlačenje R, G i B ravni kako bi se dobio veći kontrast na slici. Ovo se može uraditi na 2 načina: pojedinačno razvlačenje svake od R, G i B ravni, ili skaliranje svih od ovih ravni istim koeficijentom. Iako se u prvom slučaju odnos R, G i B komponenti narušava, dobije se veći kontrast i slika dobijena ovom metodom prikazana je na slici 1.2.3. Druga metoda ne donosi nikakvo značajnije poboljšanje slike.



*Slika 1.2.3. Slika sa razvučenim kontrastom u RGB sistemu, sat\_map\_high\_contrast\_RGB.jpg*

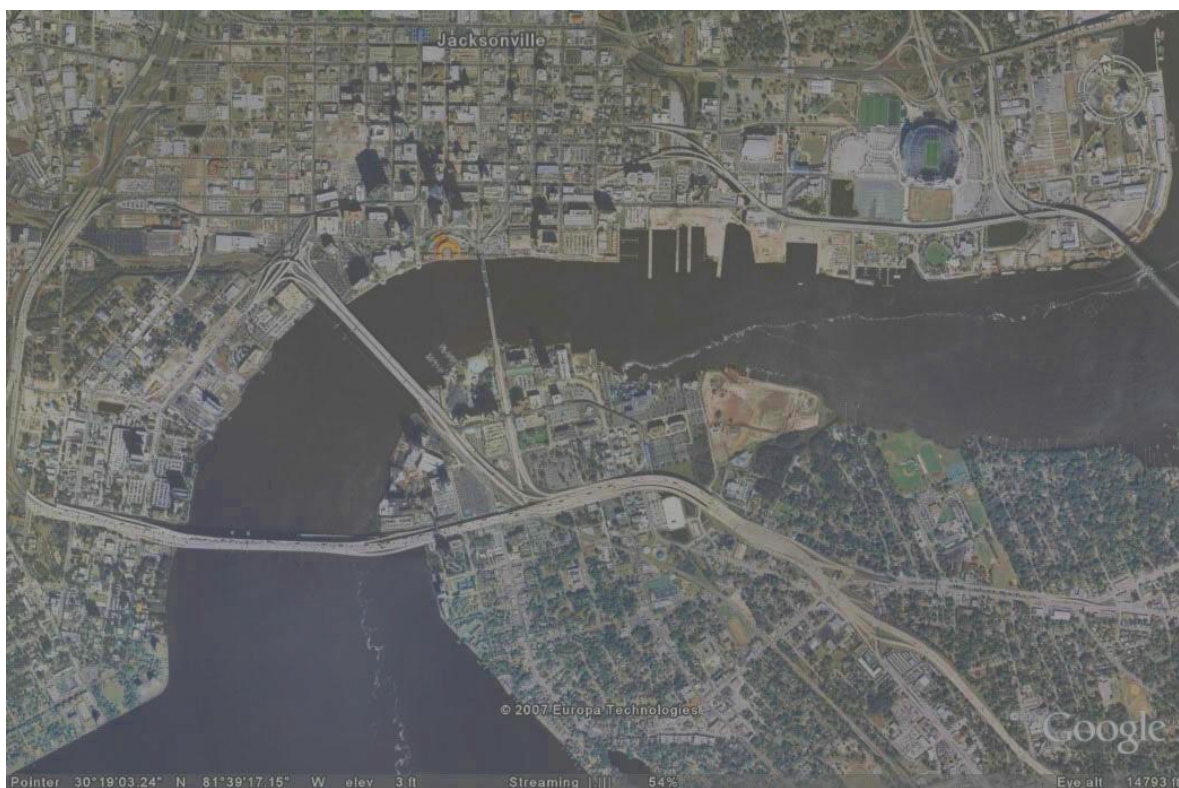
Drugi pokušaj za poboljšanje ulazne slike je potamljivanje u Lab sistemu. Najpre se vrši konverzija iz RGB u Lab sistem, a zatim se potamnjuje L ravan (informacija o osvetljenosti). Na kraju se slika vraća u RGB sistem. Dobijena slika prikazana je na slici 1.2.4. Vidimo da je slika i dalje prilično bleđa, a bolji rezultati su dobijeni u prvom pokušaju, direktno preko RGB sistema. Pokušano je i razvlačenje kontrasta u L ravni, ali je ovo dalo vrlo loše rezultate, pa se od ovog rešenja odustalo.



*Slika 1.2.4. Slika potamljena u Lab sistemu, sat\_map\_darker\_Lab.jpg*

Međutim, po meni najbolje rezultate daje obrada pomoću HSV sistema, i ovo rešenje je odabrano kao finalno. Naime, vidi se da je ulazna slika veoma bleđa, tj. isprana, a ispranost boja se najlakše kontroliše promenom saturacije u HSV sistemu. Dakle, ulazna slika u RGB sistemu je transformisana u HSV sistem, zatim je potamljena V ravan (na isti način kao i kod prethodih rešenja), i preskalirana S ravan tako da maksimalna saturacija bude **0.7** (eksperimentalno određeno kao najpogodnije). Na kraju se vrši povratak u RGB sistem, a pored izlazne slike u boji, generiše se i siva slika dobijena iz obrađene slike pomoću funkcije **rgb2gray**. Ove 2 slike su prikazane na slikama 1.2.5. i 1.2.6, respektivno.





*Slika 1.2.5. Izlazna slika u boji, sat\_map\_processed.jpg*



*Slika 1.2.6. Izlazna siva slika, sat\_map\_processed\_gray.jpg*



### Deo 3: bristolb

Na slici 1.3.1. prikazana je ulazna slika koja se obrađuje, **bristolb.hdr**.



*Slika 1.3.1. Ulazna slika, bristolb.hdr*

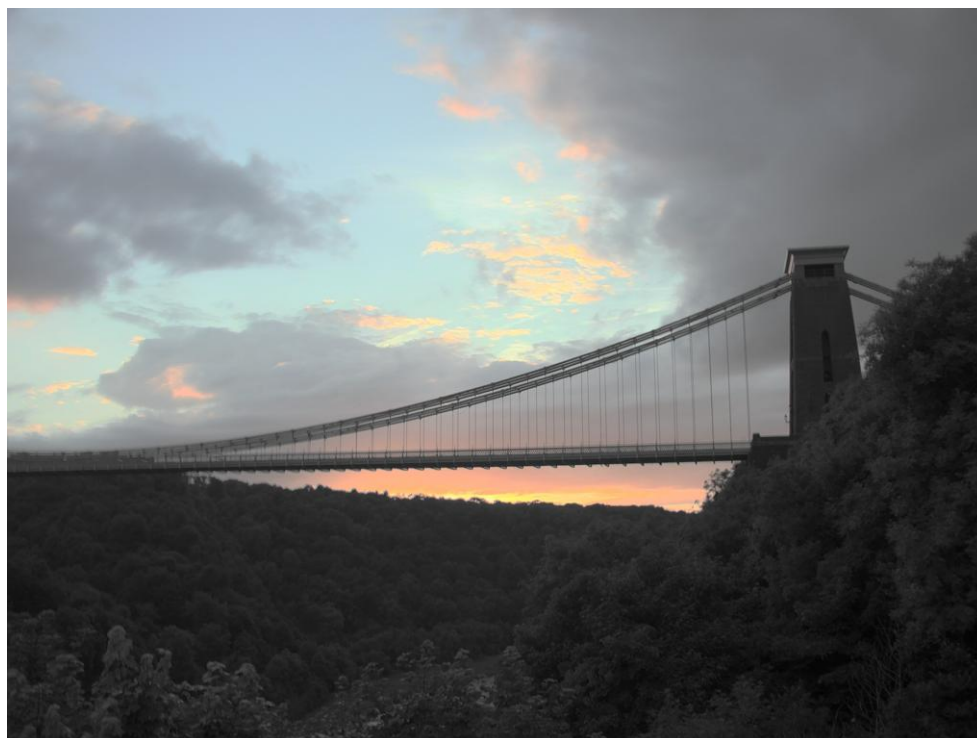
Ovo je slika sa velikim dinamičkim opsegom osvetljenosti (*high dynamic range, HDR*). Detalji u senci u donjem delu slike se ne mogu uočiti, i zato je potrebno posvetliti sliku. Pokušano je posvetljenje i sa stepenom funkcijom, ali je za ovo najpogodnija logaritamska funkcija. Zadovoljavajuća vrednost za parametar **k** je **512** (eksperimentalno dobijeno). Slika dobijena nakon posvetljivanja direktno u RGB sistemu je prikazana na slici 1.3.2.

Drugi pokušaj za poboljšanje ulazne slike je posvetljivanje u Lab sistemu, slično postupku opisanom u obradi prethodne slike, samo što se sada vrši posvetljivanje, i to logaritamskom funkcijom. Rezultat je prikazan na slici 1.3.3.

Međutim, ponovo se slika najpriятnija za oko dobija pomoću HSV sistema, i ovo predstavlja odabrani način poboljšanja slike. Boje su u ovom slučaju „življe“ i zalazak sunca najviše liči na onaj na ulaznoj slici. Potamljivanje se ovde vrši u V ravni, ponovo logaritamskom funkcijom. Pošto je saturacija ulazne slike u HSV sistemu velika, radi se i skaliranje S ravni tako da maksimalna saturacija bude **0.6** (eksperimentalno određeno), i tako se dobija slika priятnija za oko. Rezultat je prikazan na slici 1.3.4. (izlazna slika u boji), a na slici 1.3.5. je prikazana odgovarajuća siva slika.



*Slika 1.3.2. Slika nakon potamljivanja logaritamskom funkcijom u RGB sistemu, bristolb\_log512\_RGB.jpg*



*Slika 1.3.3. Slika nakon potamljivanja logaritamskom funkcijom u Lab sistemu, bristolb\_log512\_Lab.jpg*



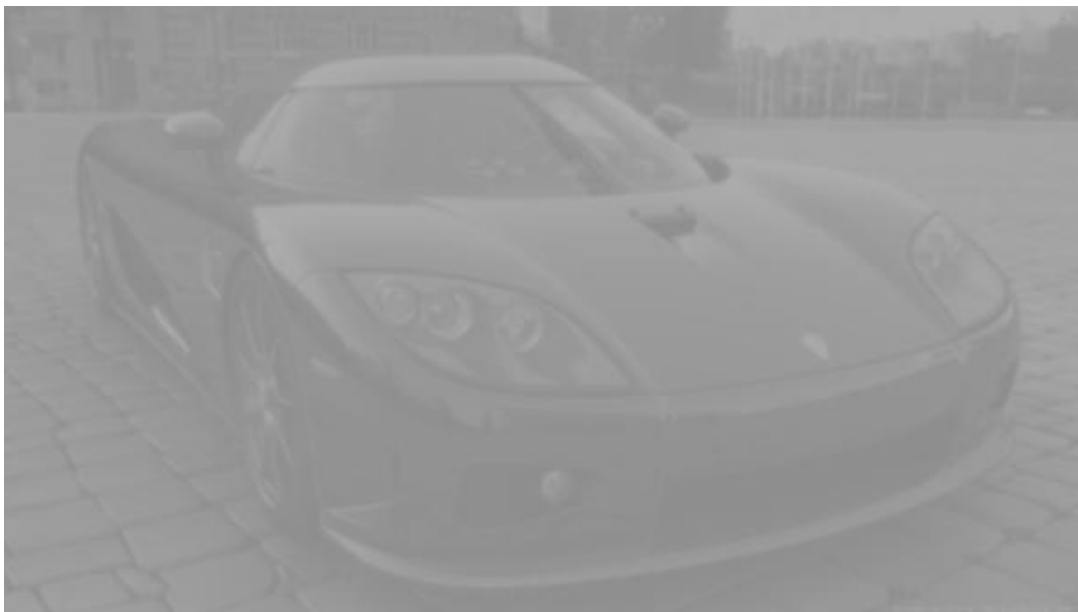
*Slika 1.3.4. Izlazna slika u boji, bristolb\_processed.jpg*



*Slika 1.3.5. Izlazna siva slika, bristolb\_processed\_gray.jpg*

## Deo 4: car

Na slici 1.4.1. prikazana je ulazna slika koja se obrađuje, **car.png**.



*Slika 1.4.1. Ulazna slika, car.png*

Ulazna slika je veoma niskog kontrasta i potrebno je razvući kontrast. Najpre je pokušano sa ekvalizacijom histograma, jednostavnim pozivom funkcije **histeq**. Rezultat je prikazan na slici 1.4.2.



*Slika 1.4.2. Slika nakon ekvalizacije histograma, car\_histeq.jpg*



Međutim, po meni nešto bolji rezultati se dobijaju razvlačenjem kontrasta i blagim posvetljivanjem pomoću funkcije **imadjust**. Ova metoda je odabrana kao finalna, a rezultati su prikazani na slici 1.4.3. Na ovoj slici su neki detalji dosta uočljiviji nego nakon ekvalizacije histograma. To su na primer zastave u gornjem desnom uglu slike, kao i ventilacioni otvor na desnom delu branika.

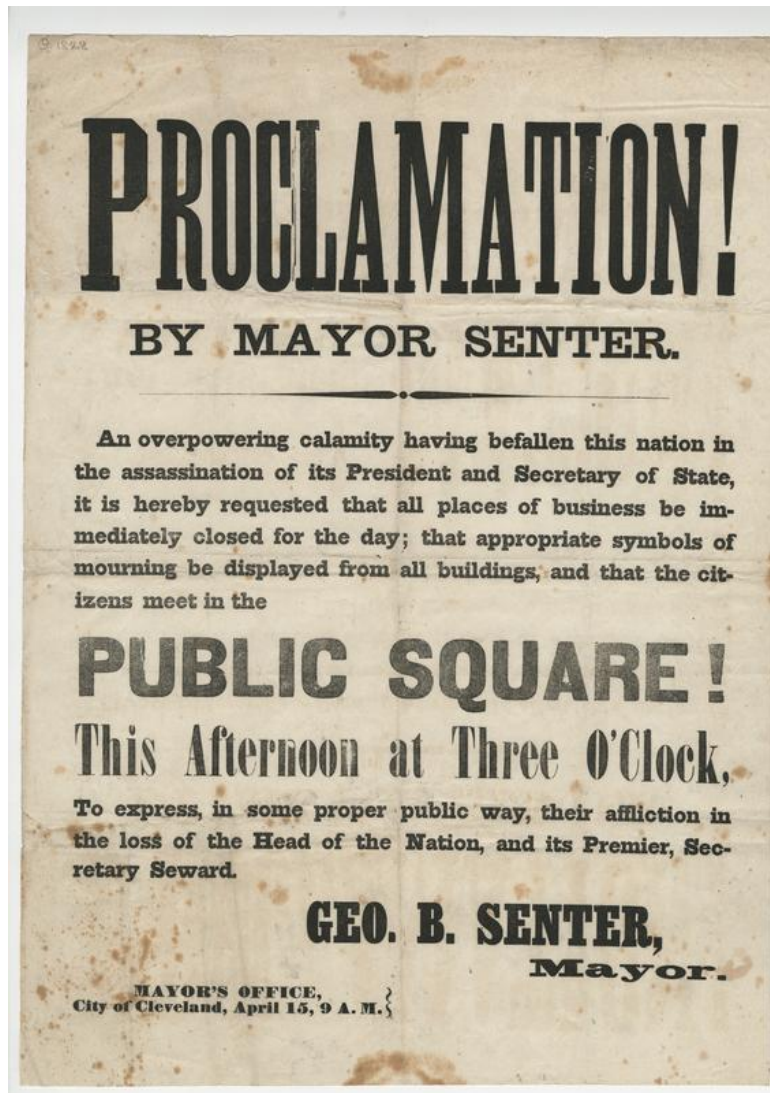
Pokušana je i dalja obrada slike, ali se nisu dobila poboljšanja. Slika nije zašumljena, pa se niskofrekventnim filtriranjem dobija samo zamućena slika, bez poboljšanja kvaliteta.



*Slika 1.4.3. Izlazna slika, car\_processed.jpg*

## Tačka 2 (proclamation)

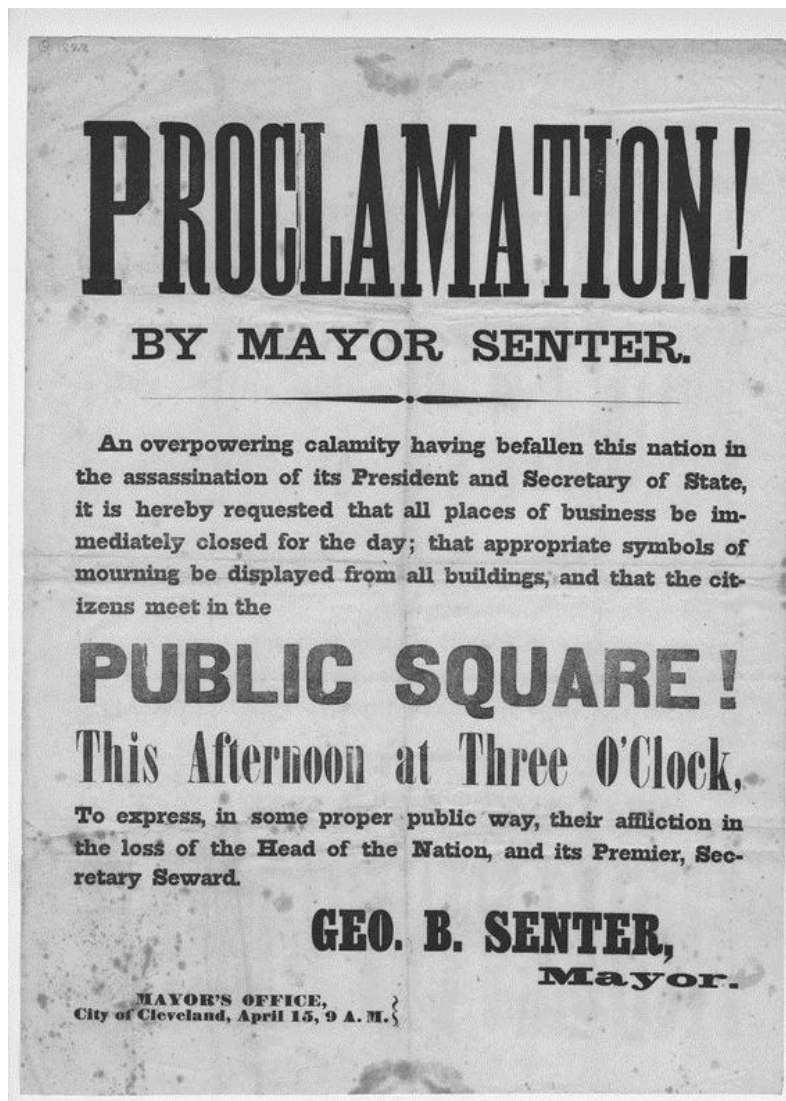
Na slici 2.1. prikazana je ulazna slika koja se obrađuje, **proclamation.jpg**.



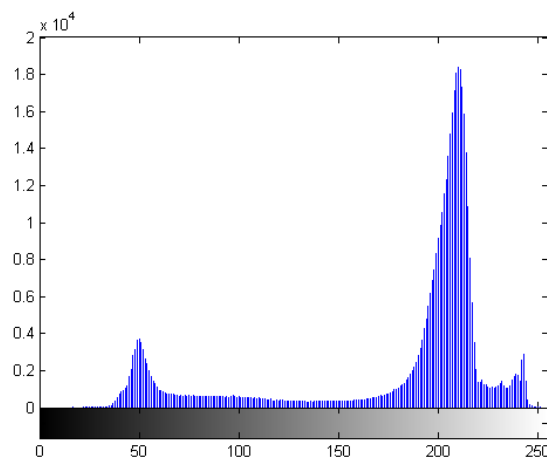
*Slika 2.1. Ulazna slika, proclamation.jpg*

Najpre je bilo potrebno od ulazne slike u boji napraviti sivu sliku, koja kasnije treba da se binarizuje. Prvi pokušaj bio je uz pomoć funkcije **rgb2gray**. Ovako dobijena siva slika prikazana je na slici 2.2. Na slici 2.3. prikazan je histogram ove sive slike.

Obrada pre same binarizacije ove slike (kako bi se dobila što veća separabilnost teksta od pozadine i mrlja) je pokušana na razne načine: razvlačenjem histograma, posvetljavanjem, potamnljivanjem, izdvajanjem regiona određene sjajnosti. Međutim, nikako nisam uspeo da dobijem zadovoljavajući kvalitet slike na ovaj način.



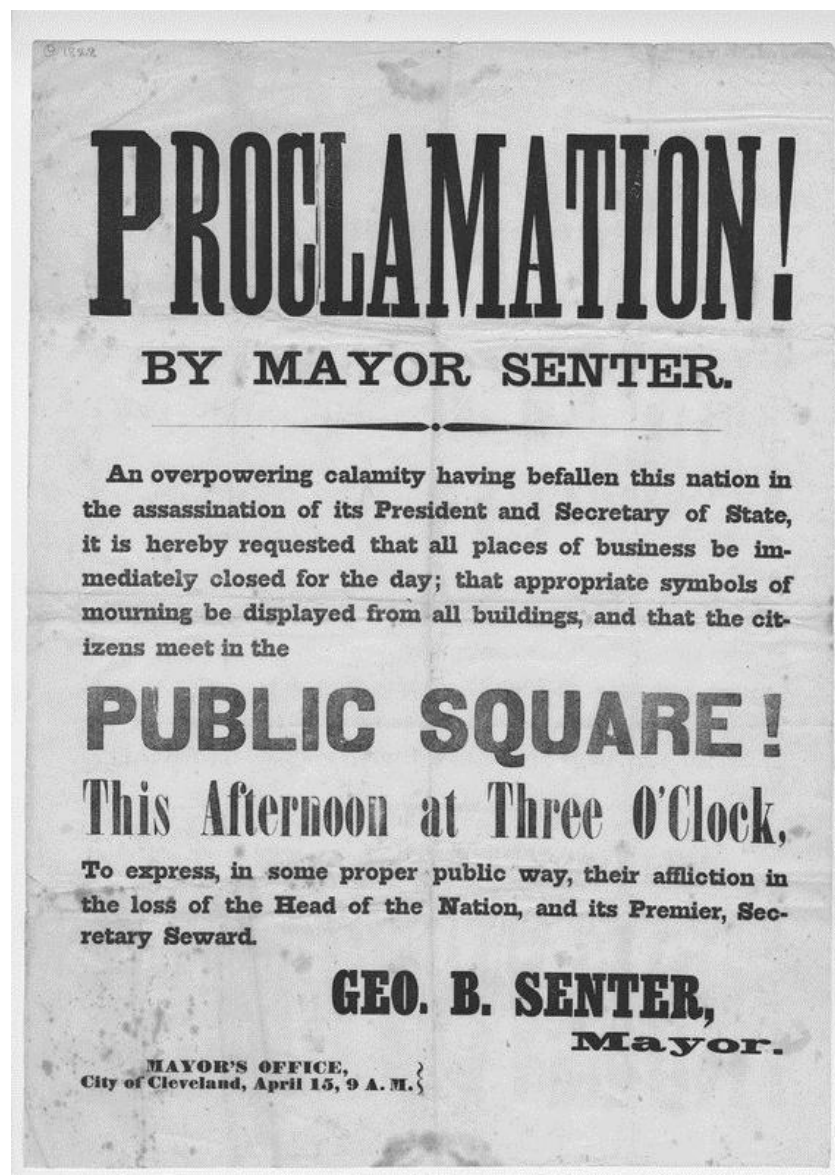
Slika 2.2. Siva slika ekstrahovana iz ulazne slike direktno pomoću funkcije `rgb2gray`, `proclamation_gray.jpg`



Slika 2.3. Histogram slike 2.2, `proclamation_histogram1.png`

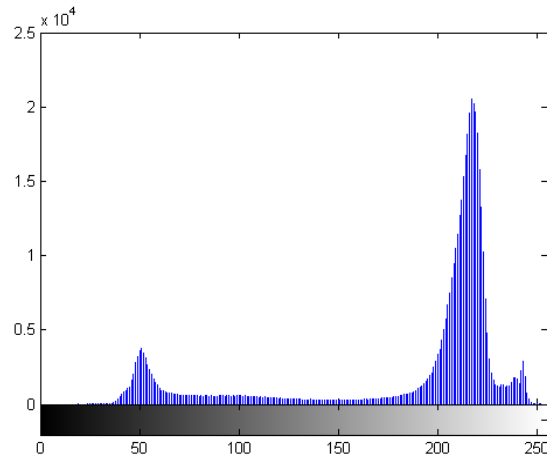
Drugi način ekstrakcije sive slike je bio mnogo pogodniji za dalju binarizaciju. U pomoć je ponovo došao HSV sistem, odnosno parametar saturacije. Ideja je bila da se iz RGB sistema prebacimo u HSV sistem, smanjimo saturaciju (maksimalna saturacija podešena na **0.1**, dalje smanjivanje ne donosi poboljšanja), i vratimo se u RGB sistem. Iz ovako modifikovane slike sada ponovo dobijamo sivu sliku pomoću funkcije **rgb2gray**. Na ovaj način su fleke iz ulazne slike isprane, bez izbleđivanja teksta.

Rezultat je prikazan na slici 2.4. Odgovarajući histogram za ovu sliku prikazan je na slici 2.5. Poredeći histograme na slikama 2.3. i 2.5, vidi se da su pikovi u drugom histogramu više „razmaknuti“, čime je postignuta veća separabilnost teksta od mrlja, odnosno binarizacija će lakše i uspešnije biti odrađena.



Slika 2.3. Siva slika ekstrahovana iz ulazne slike uz smanjivanje saturacije, *proclamation\_low\_saturation.jpg*





Slika 2.5. Histogram slike 2.4, *proclamation\_histogram2.png*

Binarizacija je zatim odrađena pomoću funkcije **im2bw**, sa pragom **135** (eksperimentalno određeno kao optimalno). Rezultujuća crno-bela slika prikazana je na slici 2.6.

**PROCLAMATION!**  
**BY MAYOR SENTER.**

---

An overpowering calamity having befallen this nation in the assassination of its President and Secretary of State, it is hereby requested that all places of business be immediately closed for the day; that appropriate symbols of mourning be displayed from all buildings, and that the citizens meet in the

**PUBLIC SQUARE!**  
**This Afternoon at Three O'Clock,**  
 To express, in some proper public way, their affliction in the loss of the Head of the Nation, and its Premier, Secretary Seward.

**GEO. B. SENTER,**  
**Mayor.**

MAYOR'S OFFICE,  
 City of Cleveland, April 15, 9 A. M.

Slika 2.6. Binarizovana slika, *proclamation\_binary.jpg*

Dobijena slika je zadovoljavajućeg kvaliteta, tekst je čitak, a mrlje su odstranjene. Međutim, odrađena je još jedna mala modifikacija, a to je filtriranje nelinearnim filtrom sa okolinom vrlo malih dimenzija, pomoću funkcije **medfilt2**. Ovo je imalo za cilj da tekst bude malo uobličeniji (manje „krzav“), ali i da se malo „popune“ slova u natpisu „PUBLIC SQUARE“. Finalna slika, dobijena nakon filtriranja sa okolinom oblika kvadrata **2x2**, prikazana je na slici 2.7.

# **PROCLAMATION!**

## **BY MAYOR SENTER.**

---

An overpowering calamity having befallen this nation in the assassination of its President and Secretary of State, it is hereby requested that all places of business be immediately closed for the day; that appropriate symbols of mourning be displayed from all buildings, and that the citizens meet in the

# **PUBLIC SQUARE!**

## **This Afternoon at Three O'Clock,**

To express, in some proper public way, their affliction in the loss of the Head of the Nation, and its Premier, Secretary Seward.

**GEO. B. SENTER,**  
**Mayor.**

MAYOR'S OFFICE,  
City of Cleveland, April 15, 9 A. M.

*Slika 2.7. Izlazna slika, proclamation\_processed.jpg*

Pokušano je i filtriranje sa okolinama dimenzija **1x2** i **2x1**, ali neću prikazati te slike u ovom izveštaju zato što se razlika kvaliteta u izveštaju ne bi videla. U prvom slučaju dobijeni tekst je „ispeglan“ samo po vertikali, a u drugom samo po horizontali.

### Tačka 3 (corrupted\_img)

Na slici 3.1. prikazana je prijemna slika sa oštećenjima, dakle ulazna slika za obradu. Na slici 3.2. prikazana je originalna slika koju treba da u što većoj meri rekonstruišemo na osnovu prijemne slike.



*Slika 3.1. Ulazna slika, corrupted\_img.png*



*Slika 3.2. Originalna slika, original\_img.png*

Prvo što se vidi je da treba uraditi digitalni negativ nad prijemnom slikom. Rezultat je prikazan na slici 3.3.



*Slika 3.3. Slika nakon primene digitalnog negativa, corrupted\_img\_negative.jpg*

Nakon toga, potrebno je potisnuti impulsni šum. Eksperimentalno je utvrđeno da najbolje rezultate daje primena funkcije **ordfilt2**, nalaženjem medijana u okolini oblika krsta **5x5** za svaki piksel. Na ovaj način ostvaruje se najbolji kompromis između željenog potiskivanja impulsnog šuma i neželjenog zamućenja slike. Rezultat ove obrade prikazan je na slici 3.4.



*Slika 3.4. Slika nakon potiskivanja impulsnog šuma, corrupted\_img\_no\_impulse\_noise.jpg*



Sledeća transformacija koju je bilo potrebno uraditi je razvlačenje kontrasta. Na osnovu histograma dobijene slike određeni su parametri **low\_in** i **high\_in** (81 i 200, zanemareni su beli pikseli zaostali od nepotpunog potiskivanja impulsnog šuma) koji se prosleđuju funkciji **imadjust**. Parameter koeficijenta stepene funkcije (**gamma**) ostavljen je na podrazumevanoj vrednosti **1** (linearno skaliranje), jer osvetljaj na tako dobijenoj slici najviše odgovara osvetljaju originalne slike. Ovako dobijena slika sa razvučenim kontrastom prikazana je na slici 3.5.



*Slika 3.5. Slika nakon razvlačenja kontrasta, corrupted\_img\_adjusted\_contrast.jpg*

Sledeće što je bilo potrebno uraditi je izoštravanje slike, kako bi se istakli detalji. To je pokušano na više načina: primenom nekoliko prostornih maski za izoštravanje, primenom gradijenta, kao i primenom Laplasijana. Najbolje rezultate dalo je izoštravanje slike pomoću Laplasijana, i to pomoću prostorne maske sa parametrom **alpha** koje iznosi **1**. Rezultat ove obrade prikazan je na slici 3.6.

Ovim izoštravanjem, odnosno isticanjem visokih učestanosti se pojačava i šum, što kvvari vizuelni utisak. Zato je kao finalna obrada primenjen filter propusnik opsega učestanosti, sa maskom dimenzija **3x3**. Koeficijenti maske su dobijeni oduzimanjem 2 maske filtera propusnika niskih učestanosti Gausovskog tipa, pazeći da suma elemenata maske bude 1 kako se ne bi promenila srednja vrednost slike. Rezultat je prikazan na slici 3.7. i predstavlja izlaznu sliku koja vrlo malo odstupa od originalne slike.

Razlika između slika 3.6. i 3.7. nije toliko vidljiva u izveštaju, ali se vidi iz generisanih slika, pre svega u natpisima, koji su čitljiviji na finalnoj slici.



*Slika 3.6. Slika nakon izoštravanja pomoću Laplasijana, corrupted\_img\_laplacian.jpg*



*Slika 3.7. Izlazna slika, corrupted\_img\_processed.jpg*

## Tačka 4 (bilateral\_filter)

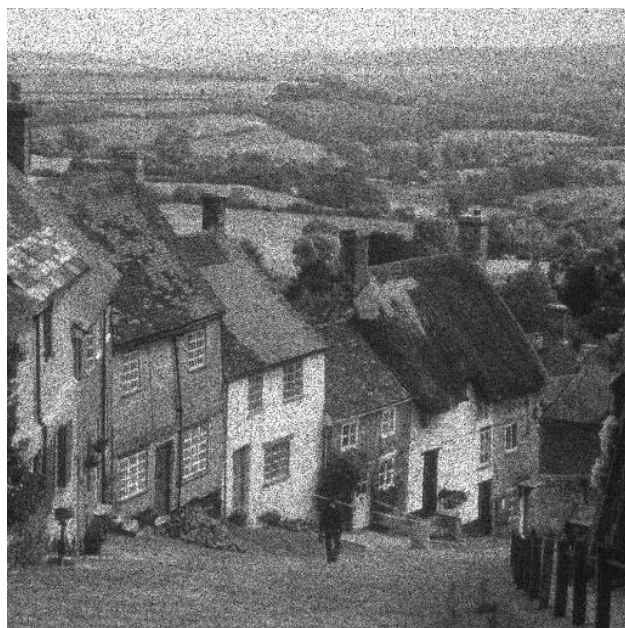
Bilateralni filtar implementiran je u funkciji **bilateral\_filter.m**. Pri ulasku u funkciju, prvo se proverava klasa ulazne matrice **I**. Ukoliko su pikseli u matrici tipa **uint8**, ona se konvertuje da bude tipa **double**, i to sa vrednostima u opsegu [0, 1]. Ukoliko je došlo do konverzije, tada se pri izlasku iz funkcije ponovo vrši konverzija u tip **uint8**, kako bi ulazna i izlazna slika bile istog tipa.

Zatim se pravi pomoćna matrica **Tmp** čiji središnji deo predstavlja vrednosti iz ulazne matrice, ali ima dodat i okvir (po **radius** redova gore i dole, po **radius** kolona levo i desno) koji je potreban zbog filtriranja na ivicama slike. Popunjavanje okvira se vrši kao i u modu **'replicate'** kod ugrađenih filtarskih funkcija u MATLAB-u. Za brzo popunjavanje okvira poslužila je ugrađena MATLAB funkcija **repmat**. Izlana slika **J** je, kao što je već napomenuto, istih dimenzija kao i ulazna slika i zato joj se pre početka filtriranja dodeljuje memorijski prostor koji odgovara ulaznoj slici. Deo maske bilateralnog filtra koji zavisi samo od udaljenosti od središnjeg piksela isti je za svaki piksel, i zato se računa pre početka filtriranja (pre dvostruke for petlje, tj. obrade piksel po piksel) i smešta u matricu **w1**. Za generisanje ove matrice poslužila je ugrađena MATLAB funkcija **meshgrid**.

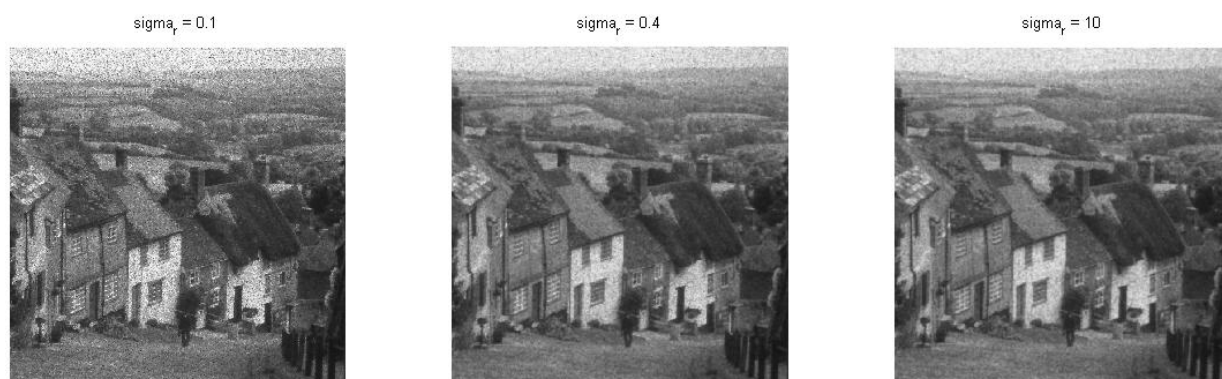
Obrada svakog pojedinačnog piksela vrši se po sledećem algoritmu. Najpre se dohvati okolina trenutnog piksela dimenzija  $(2 \cdot \text{radius} + 1) \times (2 \cdot \text{radius} + 1)$ , nazvana **neighbourhood**. U promenljivu **center** dohvati se intenzitet piksela u ulaznoj slici koji je središnji za trenutnu prostornu masku. Zatim se računa deo maske koji zavisi od razlike intenziteta piksela u maski od intenziteta središnjeg piksela, **w2**. To se radi tako što se od matrice koja je istih dimenzija kao i maska, a koja je u celosti popunjena vrednostima **center**, oduzme trenutna matrica okoline, **neighbourhood**, a zatim na tu razliku primeni odgovarajuća eksponencijalna funkcija za drugi deo maske. Sve ovo može da se uradi u jednoj liniji koda, tako da se ne mora računati **w2** posebno, već se odmah računa trenutna maska **w**, koja predstavlja proizvod 2 dela maske **w1** i **w2**. Nakon ovoga, vrši se normalizacija koeficijenata maske tako da u zbiru daju **1**, kako se filtriranjem ne bi menjala srednja vrednost slike. Na kraju se vrši skalarno množenje maske i okoline i sumiranje dobijene matrice, odnosno vrši se korelacija maske i okoline. Dobijeni rezultat predstavlja piksel u izlaznoj slici na odgovarajućem mestu.

Napravljeni bilateralni filtar primenjen je na ulaznoj zašumljenoj slici koja je prikazana na slici 4.1. Filtar je testiran sa vrednostima radijusa od **2**, **4**, **20** i **40** i sa vrednostima **sigma\_r** od **0.1**, **0.4** i **10**. Vrednost za **sigma\_s** je uzeta kao polovina radijusa. Dobijeni rezultati prikazani su na slikama 4.2, 4.3, 4.4. i 4.5.

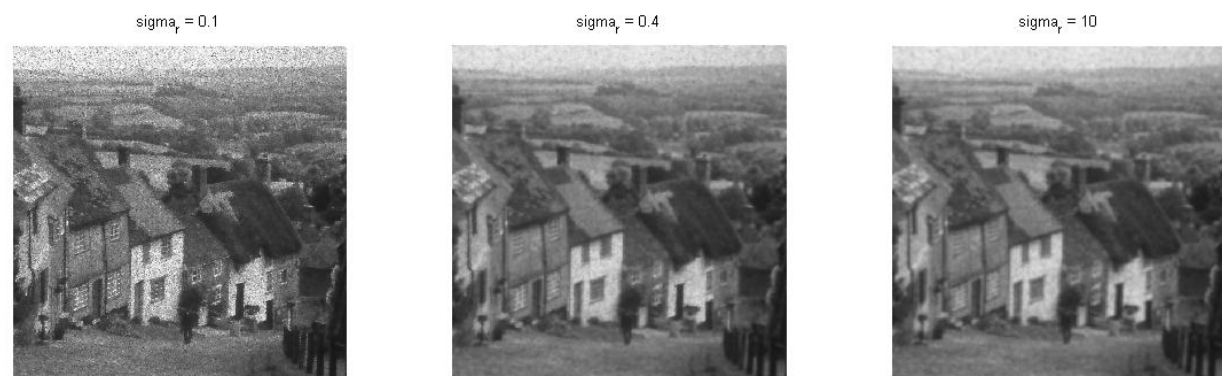
Merenje brzine rada bilateralnog filtra vršeno je uz pomoć funkcija **tic** i **toc**. Grafik zavisnosti normalizovanog vremena obrade (vremena obrade po pikselu ulazne slike) od radijusa prikazan je na slici 4.6. Uzeto je nekoliko vrednosti za radijus u opsegu od 2 do 40 i odgovarajuća normalizovana vremena su iscertana pomoću naredbe **stem**. U ovom opsegu radijusa, normalizovana vremena su reda nekoliko desetina ili stotina mikrosekundi. Sa grafika se može uočiti kvadratni oblik zavisnosti. To je i očekivano, s obzirom na to da broj elemenata u prostornoj maski i okolini kvadratno zavisi od radijusa.



*Slika 4.1. Ulazna slika, goldhill\_25\_noisy.png*

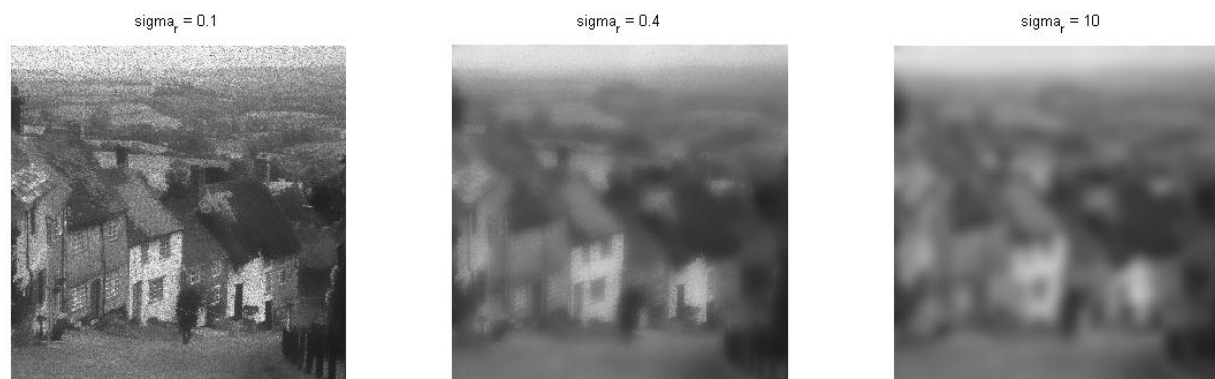


*Slika 4.2. Rezultati nakon filtriranja, radius = 2*

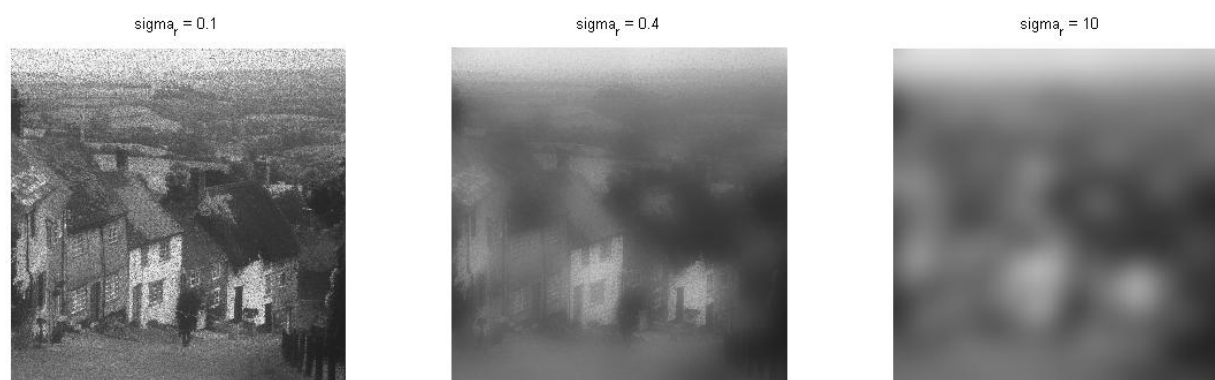


*Slika 4.3. Rezultati nakon filtriranja, radius = 4*

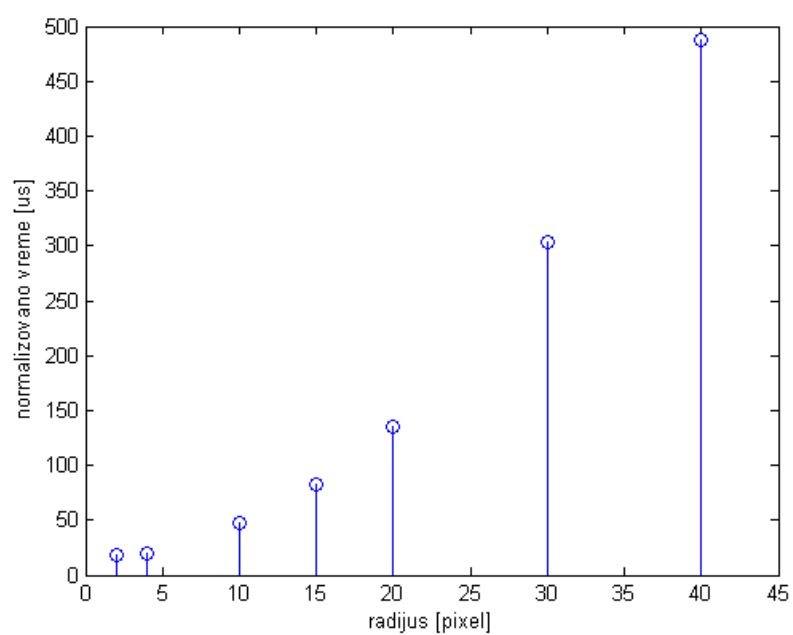




Slika 4.4. Rezultati nakon filtriranja, radius = 20



Slika 4.5. Rezultati nakon filtriranja, radius = 40



Slika 4.6. Grafik zavisnosti vremena obrade piksela od radijusa bilateralnog filtra, sigma<sub>r</sub> = 0.4