

# Pregled algoritama za povećanje prostorne rezolucije videosignala

---

**Kokošarević, Hrvoje**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2017**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:256536>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-11**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Sveučilišni studij**

**PREGLED ALGORITAMA ZA POVEĆANJE  
PROSTORNE REZOLUCIJE VIDEOSIGNALA**

**Završni rad**

**Hrvoje Kokošarević**

**Osijek, 2017.**

<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Zadatak završnog rada.....</b>	<b>2</b>
<b>2. OPIS PROBLEMA.....</b>	<b>3</b>
<b>3. OPIS METODA.....</b>	<b>5</b>
<b>3.1. Metoda najbližeg susjeda.....</b>	<b>5</b>
<b>3.2. Bilinearna interpolacija.....</b>	<b>7</b>
<b>3.3. Bikubična interpolacija.....</b>	<b>9</b>
<b>4. IMPLEMENTACIJA ALGORITAMA.....</b>	<b>12</b>
<b>4.1. Usporedba algoritama za povećanje prostorne rezolucije slike .....</b>	<b>16</b>
<b>4.2. Rezultati.....</b>	<b>21</b>
<b>5. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>24</b>
<b>6. POPIS FORMULA.....</b>	<b>25</b>
<b>7. LITERATURA.....</b>	<b>27</b>
<b>8. SAŽETAK.....</b>	<b>29</b>
<b>9. ABSTRACT.....</b>	<b>30</b>
<b>10. ŽIVOTOPIS.....</b>	<b>31</b>

## 1. UVOD

Videozapisi se sve više implementiraju u svakodnevnom životu; koriste se pri prijenosu vijesti, reklamiranju, zabavi ali i edukaciji, medicini [1], satelitskim snimkama, te astronomiji. Videosignali reproduciraju se na televizorima, računalima, pametnim telefonima, pametnim satovima itd. Uređaji koji imaju mogućnost snimanja i reproduciranja videosignala konstantno se razvijaju te je na gotovo svakom od njih moguće reproducirati ili snimiti videosignal visoke kvalitete [2]. Problem nastaje kada se takav signal prenosi sa jednog uređaja na drugi. Kako su to videosignali visoke kvalitete, svaki će signal zauzimati velike količine resursa za pohranu te velike količine resursa za prijenos signala. Unatoč činjenici da se mrežni kapaciteti konstantno povećavaju, treba ih što efikasnije iskorištavati. Pri prijenosu takvih signala mrežom koju koriste stotine tisuća korisnika u isto vrijeme postoji velika mogućnost gubitka dijelova signala. Također, ako je bitan prijenos signala uživo, ukoliko su mrežni kapaciteti oskudni/smanjeni postoji mogućnost da se videosignal neće moći reproducirati u stvarnome vremenu. Kako bi na određinom uređaju bio primljen videosignal izvorne kvalitete, a da pri tome nema gubitka podataka, pristupa se smanjenju rezolucije signala uz poznate parametre te zaštititi signala kodiranjem. Na određinom se uređaju pristupa dekodiranju i povećanju rezolucije signala koji je primljen. Na taj se način bez kompresije signala dobiva kvalitetniji videosignal od onoga kojemu je veličina smanjena kompresijom. Svrha kodiranja je smanjenje količine raspoloživog kapaciteta mreže koju videosignal zauzima prilikom prijenosa, odnosno smanjenje količine memorije koju signal zauzima na uređaju na kojem je spremljen. Kako se kodiranjem smanjuje kvaliteta signala, odnosno prostorna rezolucija, na određini uređaj ne dolazi videosignal u izvornoj kvaliteti, nego u nižoj od izvorne. Da bi se to izbjeglo, na određinom uređaju pristupa se povećanju prostorne rezolucije videosignala [3].

Videosignali se kodiraju i pohranjuju u raznim formatima i različitim prostornim rezolucijama ovisno o uređajima na kojima se reproduciraju, sadržaju videosignala, te primjeni. U ovisnosti o navedenim faktorima postoji potreba o promjeni, tj. povećanju prostorne rezolucije videosignala. Kako se zaslone na kojima se videozapisi reproduciraju razlikuju u veličini i kvaliteti koju mogu prikazati, potrebno je prilagoditi algoritam povećanja. Postoji više metoda koje se koriste za povećanje prostorne rezolucije, a dijele se u 3 skupine [4]. Prva skupina, tzv. super rezolucija, koristi više slika niže rezolucije sa malim prostornim pomacima (podpikselskim) te ih spaja u jednu sliku više rezolucije. Druga skupina metoda koristi postojeću

bazu podataka koja sadrži "zakrpe", odnosno dijelove snimki kojima se nadomještaju dijelovi niske kvalitete, te se na taj način dobiva slika visoke rezolucije. Zadnja skupina metoda koristi matematičke izračune pomoću kojih, na osnovi poznatih podataka, dolazi do podataka koji nedostaju, odnosno koje treba nadopuniti.

U ovom radu bit će predstavljeni neki algoritmi koji se koriste prilikom povećanja prostorne rezolucije videosignala te će biti prikazane njihove prednosti i nedostaci. Rad je podijeljen u 4 glavna poglavlja; opis problema, detaljniji opis algoritama, implementacija algoritama i zaključak.

## **1.1. Zadatak završnog rada**

Videosignali mogu biti kodirani i pohranjeni s različitom prostornom rezolucijom. Ovisno o uvjetima u kojima se prikazuje videosignal (uređaj, sadržaj, aplikacija) može postojati potreba za promjenom prostorne rezolucije. Koristeći javno dostupne algoritme, implementirati i usporediti postojeća rješenja za povećanje prostorne rezolucije videosignala.

## 2. OPIS PROBLEMA

Kao što je već navedeno, videosignali imaju vrlo široku primjenu u svakodnevnom životu. Krenuvši od satelitskih snimki, medicinskih CT snimaka, nadzornih kamera, mobilnih uređaja, osobnih računala pa do pametnih satova; svi oni zahtijevaju obradu ili reproduciranje nekog oblika videosignala. Satelitske snimke moraju imati mogućnost razlikovanja pojedinih ulica, građevina, automobila. Medicina ima drugačije zahtjeve; bitno je razlikovati pojedine vrste tkiva, ali nije toliko bitno razlikovati boje. Računala, mobilni telefoni i pametni satovi zahtijevaju reproduciranje videozapisa u visokoj rezoluciji u što većem broju boja, ponekad i u stvarnom vremenu. Primjena u automobilima slična je onoj za mobilne telefone. Suvremeni automobili koriste pametne *infotainment* sustave (sustav za prikaz informacija i zabavu) koji imaju mogućnost prikaza informacija o navigaciji, radio stanicama, glazbi, stanju automobila, prikazu kamera za pomoć pri vožnji unatrag te mnoge druge. Neki od njih imaju i mogućnost spajanja sa mobilnim telefonima pa na ekranima mogu prikazivati i obavijesti sa mobilnih telefona [5].

U svrhu razumijevanja problema povećanja prostorne rezolucije važno je razumjeti što se podrazumijeva pod kvalitetom videosignala, te na koji način takav signal nastaje [6]. Pod kvalitetom videosignala često se podrazumijeva količina/razina detalja na slici koja je vidljiva promatraču. Ta količina detalja vidljivih na slici može se opisati prostornom rezolucijom. Prostorna rezolucija videosignala predstavlja količinu/broj elemenata slike (engl. *pixel*), odnosno svjetlećih elemenata ekrana koje se nalaze u dvodimenzionalnom polju ekrana na kojem se reproducira videosignal. Prostornu rezoluciju videosignala određuje, u prvom redu, senzor koji snima signal, a onda i uređaj na kojem se reproducira. Što je veći broj fotosjetljivih elemenata na senzoru, veći je broj elemenata slike, a što je veći broj elemenata slike, to je veća prostorna rezolucija videosignala.

Videosignal je digitalni signal koji nastaje kada svjetlost i/ili boja padaju na senzor koji pretvara svjetlost u električni naboj. Najmanja jedinica slike koja nastaje na taj način naziva se element slike. Analogni signal se sa senzora šalje na A/D pretvornik koji pretvara analogni signal u digitalni, te se u procesoru kodira i pretvara u format koji se može prikazati na ekranu uređaja. Ekran se sastoji od dvodimenzionalnog polja svjetlećih dioda, pa će svaka dioda predstavljati jedan element slike.

Zbog činjenice da se videozapisi prenose s jednog uređaja na drugi, dijele internetom ili putem televizijskog signala te da prilikom prijenosa koriste velike količine resursa mreže, oni se moraju kodirati da bi se zaštitio signal te mora biti izvršena kompresija da bi im se smanjila veličina koju zauzimaju [2]. Kompresijom se signalu smanjuje veličina koju zauzima na disku pa je potrebno prije kodiranja smanjiti prostornu rezoluciju, uz poznate parametre, a kasnije nakon dekodiranja, uz iste parametre povećati prostornu rezoluciju videosignala. U prijenosu je moguć i gubitak informacija pa se neki dijelovi videosignala moraju nadoknaditi prilikom dekodiranja. Na uređaju koji je primio takav videosignal pristupa se povećanju prostorne rezolucije.

### 3. OPIS METODA

Ovisno o uređajima na kojima se reproduciraju videosignali, sadržaju videosignala te primjeni postoji više metoda povećanja prostorne rezolucije videosignala. U ovome radu fokus će biti na 3 osnovne metode; metoda najbližeg susjeda, bilinearna interpolacija i bikubična interpolacija. Odabrane su zbog njihove jednostavnosti te jednostavnosti implementacije u Matlab-u ®. U nastavku će svaka od metoda biti detaljnije opisana.

#### 3.1. Metoda najbližeg susjeda

Metoda najbližeg susjeda najjednostavnija je metoda povećanja prostorne rezolucije videosignala. Koristi se kada je potrebno brzo i efikasno povećati prostornu rezoluciju signala, npr. prilikom "zumiranja" slika na internetskim stranicama itd. Ova metoda neće stvarati nove vrijednosti elemenata slike kao bilinearna i bikubična nego će ih samo ponavljati. Temelji se na tome da će tražena vrijednost nepoznatog elementa primiti vrijednost elementa koji se nalazi najbliže njemu.

Na slici 3.1. iznad vidljiva je osnovna slika, koja je veličine 4x4 elementa. Toj se slici povećava prostorna rezolucija sa faktorom 2. Odnosno sada će umjesto 4x4 imati 8x8 elemenata slike.

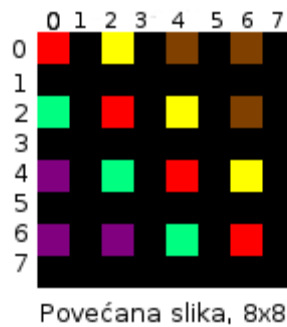


Osnovna slika, veličine 4x4

Slika 3.1. Osnovna slika [13]



Kada bi se dodali prazni elementi slike, odnosno elementi bez vrijednosti, rezultat bi bila slika 3.2.



Slika 3.2 Povećana slika [13]

Kako je cilj povećanja rezolucije dodati nove elemente u sliku, novi elementi se dodaju slici na način da će novi element poprimiti vrijednost njemu prethodnog elementa. Tako će element slike sa koordinatama (1,1) poprimiti vrijednost elementa sa koordinatama (0,0).

Rezultat povećanja prostorne rezolucije videosignala metodom najbližeg susjeda vidljiv je na slici 3.3.



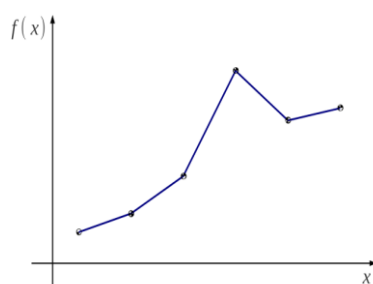
Slika 3.3. Rezultat povećanja [13]

Dobivena je slika kojoj je prostorna rezolucija dvostruko veća, a elementi slike koji su dodani slici su samo ponovljeni.

## 3.2. Bilinearna interpolacija

Interpolacija je metoda konstruiranja novih vrijednosti na osnovu poznatih diskretnih vrijednosti koji okružuju traženu vrijednost. Linearna interpolacija može se interpretirati i kao srednja vrijednost između dvije diskretne vrijednosti koje se nalaze oko tražene vrijednosti.

Dvije se poznate vrijednosti povezuju pravcem, na tom se pravcu nalazi interpolirana vrijednost, što je vidljivo na slici 3.4.



Slika 3.4. Linearna interpolacija [14]

Bilinearna interpolacija prigodna je za korištenje u videosignalima koji prikazuju oblike ili objekte sa oštrim bridovima ili imaju nagle prijelaze. Ova metoda računalno nije previše složena pa je pogodna za brzo implementiranje i čestu upotrebu. Bilinearna interpolacija odnosi se na interpoliranje vrijednosti elemenata slike u dvije dimenzije jer se radi o dvodimenzionalnom digitalnom signalu. Dodatno svaki element slike u dvodimenzionalnom digitalnom signalu ima svoju vrijednost. Na slici 3.5. ta vrijednost je prikazana visinom svake vrijednosti. Bilinearna interpolacija je složeniji oblik linearne interpolacije. Proces nastanka novih elemenata slike bilinearnom interpolacijom kreće s određivanjem vrijednosti okolnih elemenata, te određivanjem udaljenosti nove, tražene vrijednosti elementa od okolnih, poznatih elemenata. Općenito, model za bilinearnu interpolaciju može se prikazati sljedećim izrazom:

$$f(x,y) = a_{11}xy + a_{10}x + a_{01}y + a_{00} \quad (3-1)$$

gdje je  $a_{11}$  koordinata elementa slike na poziciji (1,1),  $a_{10}$  koordinata elementa slike na poziciji (1,0),  $a_{01}$  koordinata elementa slike na poziciji (0,1),  $a_{00}$  koordinata elementa slike na poziciji (0,0), dok su  $x$  i  $y$  vrijednosti pojedinih elemenata slike; vidljivo na slici 3.5.

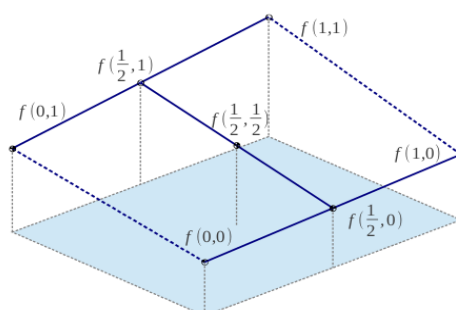
Ako se koordinate poznatih elemenata slike označe sa cjelobrojnim vrijednostima  $f(0,0)$ ,  $f(1,0)$ ,  $f(0,1)$  i  $f(1,1)$ , prvo se pronalaze dvije koordinate u x osi između  $f(0,0)$  i  $f(1,0)$  te između  $f(0,1)$  i  $f(1,1)$ . Vrijednost novih koordinata pronalazi se na način da se odrede srednje vrijednosti između  $f(0,0)$  i  $f(1,0)$ , odnosno  $f(0,1)$  i  $f(1,1)$ .

$$f\left(\frac{1}{2},0\right) = \frac{f(0,0)+f(1,0)}{2}, \text{ tj.} \quad (3-2)$$

$$f\left(\frac{1}{2},1\right) = \frac{f(0,1)+f(1,1)}{2}. \quad (3-3)$$

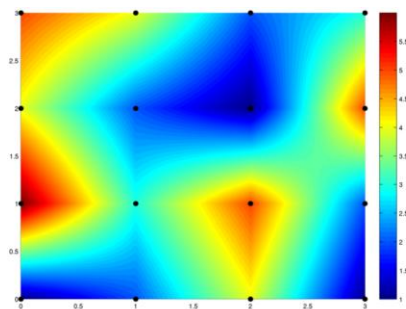
Tako su definirane vrijednosti  $f\left(\frac{1}{2},0\right)$  i  $f\left(\frac{1}{2},1\right)$ . Zatim se vrši linearna interpolacija između vrijednosti  $f\left(\frac{1}{2},0\right)$ ,  $f\left(\frac{1}{2},1\right)$  u y osi. Na taj način se pronalazi točka  $f\left(\frac{1}{2},\frac{1}{2}\right)$  koja je i bila cilj interpoliranja.

Na slici 3.5. vidljiv je primjer pojednostavljene bilinearne interpolacije. Također je vidljivo da interpolirana vrijednost ovisi o 4 okolne vrijednosti, odnosno može se zaključiti da je dobivena bilinearna interpolacija nastala kombinacijom linearne interpolacije u dvije osi; x i y,



Slika 3.5. Bilinearna interpolacija [14]

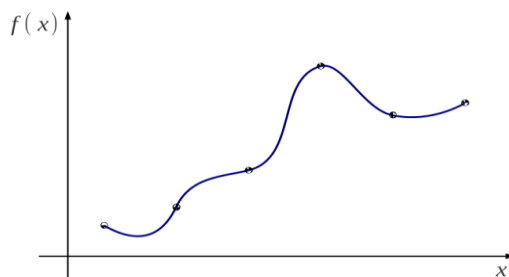
Na slici 3.6., vidljiv je primjer signala kojemu je prostorna rezolucija povećana bilinearnom interpolacijom.



Slika 3.6. Primjer povećanja rezolucije primjenom bilinearne interpolacije [14]

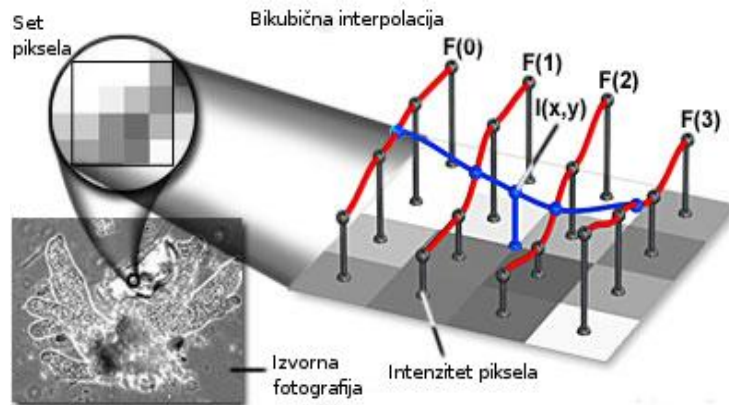
### 3.3 Bikubična interpolacija

Kubična interpolacija bazira se na činjenici da interpolirana vrijednost ovisi o četiri susjedne vrijednosti, za razliku od linearne koja ovisi samo o dvije susjedne. Vrijednosti koje se interpoliraju ne povezuju se linearno, nego krivuljama drugog stupnja, pa će i signal izgledom biti zaobljeniji, blažih rubova. Sa slike 3.7. vidljivo je da će bilo koja vrijednost koja se interpolira ovisiti o dvije vrijednosti iznad i dvije vrijednosti ispod tražene, odnosno ukupno 4.



Slika 3.7. Kubična interpolacija [14]

Uzimajući u obzir činjenicu da kubična interpolacija u jednoj osi ovisi o 4 susjedne vrijednosti, proširivanjem u dvije osi (dimenzije), dobiva se bikubična interpolacija koja ovisi o  $4 \times 4 = 16$  vrijednosti okolnih elemenata slike što je vidljivo na slici 3.8.

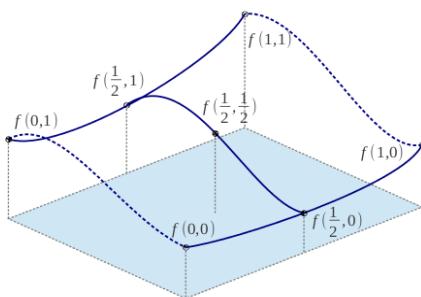


Slika 3.8. Bikubična interpolacija [12]

Na slici 3.8. vidljiva je ovisnost interpolirane vrijednosti o 16 okolnih postojećih vrijednosti. Ovakav je algoritam pogodan za blaže prijelaze na videozapisima, odnosno nije pogodan za prikaz oštih rubova jer će takve rubove bikubična interpolacija ublažiti. Vrijeme koje je potrebno da se ovakav algoritam procesira je veće nego za bilinearnu, pa zauzima više procesorske memorije pri izvođenju. Model koji predstavlja bikubičnu interpolaciju predstavljen je sljedećim izrazom:

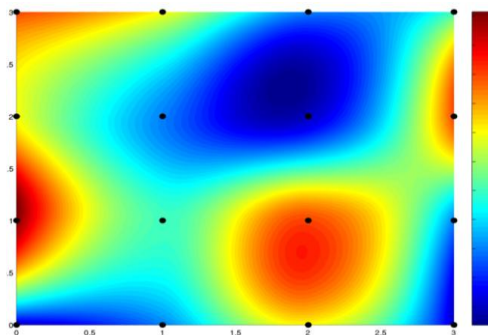
$$f(x,y) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 a_{ij} x^i y^j, \quad (3-4)$$

gdje je  $a_{ij}$  vrijednost koordinate pojedinog elementa slike, a  $x^i$  i  $y^j$  su vrijednosti elementa slike. Ako se koordinate poznatih elemenata slike označe cjelobrojnim vrijednostima  $f(0,0)$ ,  $f(1,0)$ ,  $f(0,1)$  i  $f(1,1)$ , kod bikubične interpolacije prvo se pronalaze dvije koordinate u x osi između  $f(0,0)$  i  $f(1,0)$ , te između  $f(0,1)$  i  $f(1,1)$ . One se pronalaze kubičnom interpolacijom, odnosno nalazi se srednja vrijednost 4 okolne vrijednosti. Tako se definiraju vrijednosti  $f(\frac{1}{2}, 0)$  i  $f(\frac{1}{2}, 1)$  koordinata. Zatim se interpolira između tih vrijednosti u y osi, na način da se uzimaju 4 susjedne vrijednosti, baš kao što je vrijedilo i za prethodne dvije vrijednosti. Na taj način se pronalazi točka  $f(\frac{1}{2}, \frac{1}{2})$  koja je i bila cilj interpoliranja. Bitna razlika u odnosu na bilinearnu interpolaciju je ta da vrijednosti elemenata u jednoj osi (npr x), ne ovisi samo o vrhovima bridova kao na slici 3.9., nego ovisi i o okolnim vrijednostima; ukupno njih 4. Ako se gleda središnja vrijednost  $f(\frac{1}{2}, \frac{1}{2})$ , ona će ovisiti o 16 okolnih vrijednosti, baš kao što je prikazano na slici 3.8., no zbog lakšeg prikaza uzeta je slika sa 4 okolne vrijednosti.



Slika 3.9. Bikubična interpolacija [14]

Na slici 3.10, vidljiv je primjer signala kojemu je prostorna rezolucija povećana koristeći bikubičnu interpolaciju.



Slika 3.10. Primjer povećanja rezolucije primjenom bikubične interpolacije [14]

## 4. IMPLEMENTACIJA ALGORITAMA

Postoje razni načini na koje je moguće implementirati algoritme za povećanje prostorne rezolucije videosignala. Algoritmi koji će biti obrađeni u ovom radu temelje se na jednostavnim matematičkim operacijama, pa ih je moguće jednostavno programirati u nekom od programskih jezika (C, C++, Python, R...). Također je moguće istu implementaciju obaviti u programskom paketu Matlab®, isti sadrži funkciju *imresize*. Matlab® omogućuje pisanje i korištenje funkcija napisanih u drugim programskim jezicima. Također omogućuje prikazivanje i obradu podataka na različite načine. Zbog navedenih svojstava u implementaciji ovih algoritama može se koristiti Matlab®.

Matlab® u svom programskom paketu sadrži funkciju *imresize* koja omogućava promjenu prostorne rezolucije videosignala. Vrlo je jednostavna pa će u ovom radu biti korištena upravo ta funkcija. Da bi implementacija algoritama bila jasna, bit će objašnjena sintaksa funkcije *imresize*. Sintaksa svake funkcije korištene u Matlabu može se ispisati naredbom *help*. Tako je moguće napraviti i za funkciju *imresize*. Bit će objašnjeni dijelovi sintakse, jer za implementaciju nije potrebna svaka naredba funkcije. Također je potrebna naredba *imread* i *figure imshow()*. Funkcija *imread* omogućava učitavanje slike, odnosno videosignala iz datoteke. Učitana slika sprema se u neku proizvoljnu varijablu, u ovom slučaju to je varijabla *I*. Naredba za učitavanje slike izgleda ovako:

```
I = imread('ime_slike.png');
```

gdje je *ime\_slike.png* ime signala kojem se mijenja prostorna rezolucija.

Nakon što je slika učitana, korištenjem naredne *imresize* na ovaj način:

```
J=imresize(I, 2);
```

videosignalu se povećava prostorna rezolucija. *J* je varijabla u koju se sprema slika s promijenjenom rezolucijom, *I* je varijabla u kojoj se nalazi originalna slika, a broj 2 označava faktor povećanja prostorne rezolucije videosignala. Za prikaz slike kojoj je povećana prostorna rezolucija na ekranu koristi se naredba *figure imshow()*. U posebnom prozoru Matlaba otvorit će

se slika kojoj je povećana prostorna rezolucija. Toj naredbi mora se predati vrijednost varijable  $u$  koju je spremljena slika kojoj je povećana prostorna rezolucija. Tada naredba izgleda ovako:

```
figure imshow(I).
```

Naredba *imresize* prima dodatne parametre za kontrolu povećanja prostorne rezolucije videosignala. Bitan parametar za ovaj rad je i parametar koji određuje koja se metoda povećanja prostorne rezolucije videosignala koristi. Taj se parametar predaje naredbi *imresize* na način da se u zagradi iza faktora povećanja upiše ime metode koja se koristi. Ukoliko se ne unese ime metode koja se koristi, Matlab ® će koristiti metodu bikubične interpolacije. U ovom radu bit će implementirane metode bikubične interpolacije, bilinearne interpolacije i metoda najbližeg susjeda. Kako bi se implementirale sve tri metode, koristi se sljedeća naredba:

```
J = imresize(I, 2, 'ime_metode');
```

U slučaju korištenja bilinearne interpolacije, na mjesto '*ime\_metode*', potrebno je upisati '*bilinear*', u slučaju korištenja metode najbližeg susjeda potrebno je upisati '*nearest*'. Bitno je naglasiti da je faktor povećanja prilikom implementacije za sve algoritme iznosio 2, osim ako nije drugačije naznačeno.

Prvo je na svaku od 5 odabranih originalnih slika primijenjena metoda smanjenja prostorne rezolucije. Za to je korištena funkcija *imresize* na način da se za faktor povećanja stavi vrijednost 0.5. U nastavku slijedi primjer smanjenja prostorne rezolucije jedne od slika.

```
I = imread('portret.png');
```

```
J = imresize(I, 0.5);
```

Nakon toga za svaku sliku sa smanjenom prostornom rezolucijom primijenit će se algoritam povećanja prostorne rezolucije. Na taj način će se dobiti slika kojoj je povećana prostorna rezolucija korištenjem neke od metoda na prostornu rezoluciju originalne slike. Tada će biti moguće primijeniti metode za objektivnu procjenu kvalitete povećanja prostorne rezolucije. Koriste se dvije metode; SSIM (Structural SIMilarity index) [10] i PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) [11]. SSIM je predstavljen brojem između 0 i 1, a on pokazuje koliko su



originalna slika i slika kojoj je promijenjena prostorna rezolucija slične. Ako je taj broj bliže 1, slike imaju više sličnih dijelova, a ako je bliža 0, slike su različite [9], [10]. PSNR predstavlja odnos između signala i šuma, izražen u decibelima [11].

Na temelju vizualnog utjecaja pojedinih karakteristika slike (osvjetljenje, kontrast i struktura), SSIM metoda računa mjeru sličnosti između dvije slike. Prema [15],[16] i [10], ukupni indeks jednak je umnošku pojedinih parametara. U formuli (4-1),  $[l(x,y)]^\alpha$  predstavlja izraz za svjetlost (engl. *luminence*), izraz  $[c(x,y)]^\beta$  predstavlja kontrast (engl. *contrast*), a izraz  $[s(x,y)]^\gamma$  predstavlja strukturu slike (engl. *structure*);

$$SSIM(x,y) = [l(x,y)]^\alpha \cdot [c(x,y)]^\beta \cdot [s(x,y)]^\gamma, \quad (4-1)$$

gdje je:

$$l(x,y) = \frac{2\mu_x \mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1}, \quad (4-2)$$

$$c(x,y) = \frac{2\sigma_x \sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2}, \quad (4-3)$$

$$s(x,y) = \frac{\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x \sigma_y + C_3}. \quad (4-4)$$

U formulama (4-2), (4-3) i (4-4),  $\mu_x$  i  $\mu_y$  predstavljaju lokalne varijable,  $\sigma_x$  i  $\sigma_y$ , su standardne devijacije, a  $\sigma_{xy}$  je kovarijanca. U formuli 4-1, za  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  uzima se vrijednost 1, a za vrijednosti  $C_3 = \frac{C_2}{2}$ ,  $C_1 = (0.01 \times L)^2$ ,  $C_2 = (0.03 \times L)^2$ , gdje je L vrijednost dinamičkog raspona slike. Tada formula 4-1 poprima pojednostavljeni oblik:

$$SSIM(x,y) = \frac{(2\mu_x \mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)}. \quad (4-5)$$

Druga metoda koja se koristi pri analizi je PSNR. Prema [17], PSNR je predstavljen kao odnos količine signala i šuma na slici, izražen je u decibelima, a predstavljen je izrazom (4-6).

$$PSNR = 20 \log_{10} \left( \frac{\text{MAX}_f}{\sqrt{\text{MSE}}} \right), \quad (4-6)$$

gdje je  $MAX_f$  maksimalna vrijednost signala koja se nalazi na originalnoj slici, a MSE predstavlja;

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_0^{m-1} \sum_0^{n-1} \|f(i,j) - g(i,j)\|^2 . \quad (4-7)$$

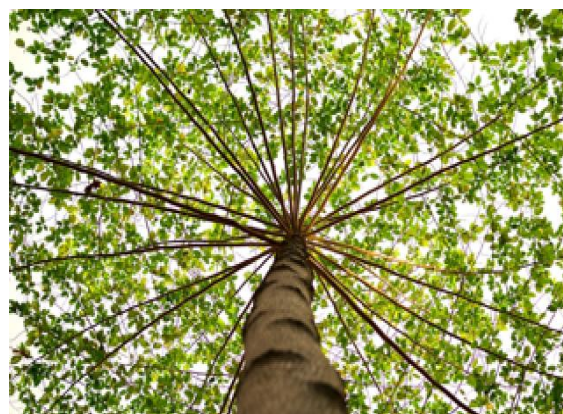
U formuli (4-7),  $f$  predstavlja podatke sa originalne slike u matričnom obliku,  $g$  predstavlja podatke sa slike kojoj je promijenjena prostorna rezolucija u matričnom obliku,  $m$  predstavlja broj redaka slike, dok  $i$  predstavlja indeks tog retka,  $n$  predstavlja broj stupaca slike, a  $j$  indeks tog stupca.

## 4.1. Usporedba algoritama za povećanje prostorne rezolucije slike

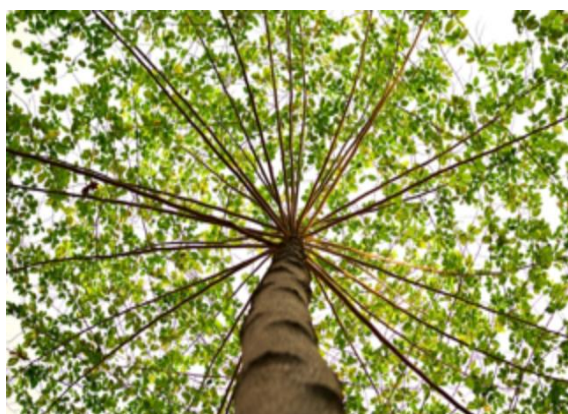
Zbog jednostavnosti zapisa i prikaza rezultata bit će korištene pojedinačne slike, a ne videozapisi. Ukoliko se želi nekom videozapisu povećati prostorna rezolucija mogu se ove metode ponavljati periodično sa pojavom svake slike u videozapisu. Ako videozapis ima 24 slike u sekundi, onda bi se ovi algoritmi primjenjivali 24 puta u sekundi. Kao primjeri na kojima će biti implementirane ove metode preuzete su slike sa web stranica [7] i [8]. Bit će prikazane pojedinačne slike, originalna, zatim slika kojoj je rezolucija povećana metodom najbližeg susjeda, metoda bilinearne interpolacije, i na kraju metoda bikubične interpolacije.



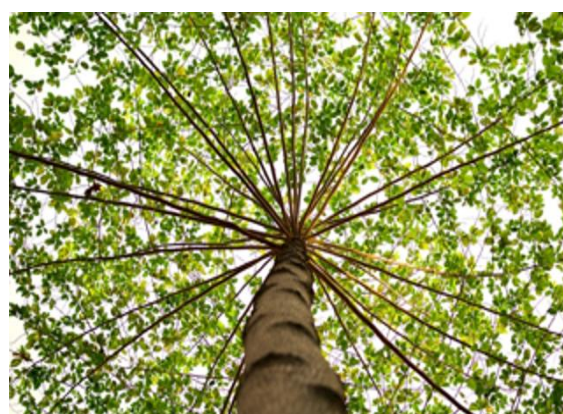
Slika 4.1.a) Stablo, originalna slika [8]



Slika 4.1.b) Stablo, metoda najbližeg susjeda



Slika 4.1.c) Stablo, bilinearne interpolacija



Sl. 4.1.d) Stablo, bikubična interpolacija



Slika 4.2.a) Grana, originalna slika [8]



Slika 4.2.b) Grana, metoda najbližeg susjeda



Slika 4.2.c) Grana, bilinearna interpolacija



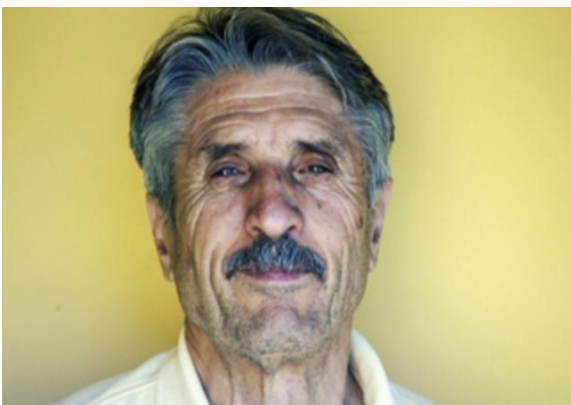
Slika 4.2.d) Grana, bikubična interpolacija



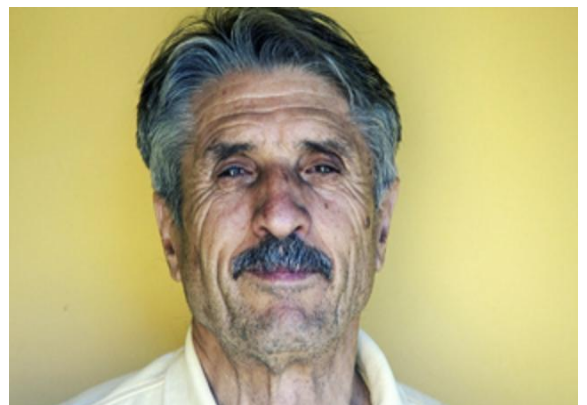
Slika 4.3.a) Portret, originalna slika [8]



Slika 4.3.b) Portret, metoda najbližeg susjeda



Slika 4.3.c) Portret, bilinearna interpolacija



Slika 4.3.d) Portret, bikubična interpolacija



Slika 4.4.a) Povrće, originalna slika [7]



Slika 4.4.b) Povrće, metoda najbližeg susjeda



Slika 4.4.c) Povrće, bilinearna interpolacija



Slika 4.4.d) Povrće, bikubična interpolacija



Slika 4.5.a) Vlak, originalna slika [8]



Slika 4.5.b) Vlak, metoda najbližeg susjeda



Slika 4.5.c) Vlak, bilinearna interpolacija



Slika 4.5.d) Vlak, bikubična interpolacija

## 4.2. Rezultati

Kao što je već navedeno, za objektivnu ocjenu kvalitete povećanja prostorne rezolucije pojedinih metoda bit će korištena dva algoritma; SSIM i PSNR.

Prema [9] i [10], SSIM predstavlja razmjer sličnosti između originalne slike i slike kojoj je prvotno rezolucija smanjena za pola, pa povećana na veličinu originalne korištenjem algoritama za povećanje (u nastavku se ta slika naziva povećana slika). Izražen je brojem od 0 do 1. Vrijednost SSIM-a 1 predstavlja potpunu sličnost slika (nema razlike), dok vrijednost 0 predstavlja potpunu različitost. Kako bi bilo moguće provesti slike kroz funkciju za računanje SSIM-a, obje slike, originalna i povećana, moraju imati identične prostorne rezolucije. Slika 4.1.a), Stablo je veličine 640×415 elemenata slike, slika 4.2.a), Grana 640×426, slika 4.3.a) Portret 640×425, slika 4.4.a), Povrće 684×479 i slika 4.5.a), Vlak 640×454. Svaka od povećanih slika pojedinih originalnih je iste dimenzije kao i originalna. Prilikom pisanja koda u Matlab-u® prvo se učita originalna slika, odnosno referentna slika, na slijedeći način.

```
ref = imread ('stablo.png');
```

Zatim je na redu učitavanje povećane slike, odnosno slike koja se uspoređuje s referentnom, na slijedeći način.

```
A = imread ('stablo.bikubicna.png');
```

Nakon učitanih slika upisuju se naredbe za provjeru SSIM vrijednosti.

```
[ssimval, ssimmap] = ssim(A,ref);
```

```
fprintf('Vrijednost SSIM-a je %0.4f.\n', ssimval);
```

Ono što je prikazano u "command window"-u jest ispis vrijednosti SSIM-a;

```
"Vrijednost SSIM-a je 0.8416".
```

Rezultati SSIM mjerenja mogu se vidjeti u tablici 4.1.



Tablica 4.1. Prikaz rezultata SSIM vrijednosti

	Sl. 4.1. (Stablo)	Sl. 4.2. (Grana)	Sl. 4.3. (Portret)	Sl. 4.4. (Povrće)	Sl. 4.5. (Vlak)
Najbliži susjed	0.8482	0.9892	0.9487	0.9827	0.8416
Bilinearna int.	0.8413	0.9912	0.9468	0.9828	0.8311
Bikubična int.	0.8814	0.9926	0.9561	0.9865	0.8548

Iz dobivenih rezultata za SSIM vidljivo je da je za svaku sliku (posebno za sliku 4.1., 4.2., 4.3., 4.4., i 4.5.) u odnosu na bilinearnu interpolaciju i metodu najbližeg susjeda, bikubična interpolacija dala najbolji rezultat. Ukoliko se usporede SSIM vrijednosti za metodu najbližeg susjeda i za metodu bilinearne interpolacije, vidi se da su rezultati prilično slični, te je teško odrediti metodu koja sa sigurnošću daje bolje rezultate povećanja prostorne rezolucije. No, ukoliko je prilikom implementacije algoritama bitno smanjiti vrijeme procesiranja, onda je bolje koristiti metodu najbližeg susjeda jer je jednostavnija a samim time i brža za implementaciju od bilinearne interpolacije. Ukoliko se kao osnova za ocjenu kvalitete slike uzima isključivo SSIM, onda je najbolje koristiti bikubičnu interpolaciju. Vrijednost SSIM-a uvelike će ovisiti o sadržaju slike; ukoliko je slika puna detalja SSIM će biti manji, tj. Bliži 0; ukoliko slika ima malo detalja SSIM će biti bliži 1.

Prema [11] PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) predstavlja omjer između signala i šuma, izražen u decibelima. U Matlab-u ® se ova funkcija poziva nakon učitavanja referentne i simulirane slike na isti način kao i za SSIM.

```
ref = imread ('stablo.png');
```

```
A = imread ('stablo.bikubicna.png');
```

Funkciju koja izračunava PSNR pozivamo naredbom:

```
peaksnr = psnr (A, ref);
```

gdje je *peaksnr* varijabla u koju se sprema PSNR, a *psnr* je sama naredba za izračunavanje PSNR-a.

U tablici 4.2. prikazane su vrijednosti PSNR-a izražene u dB.

Tablica 4.2. Prikaz rezultata PSNR vrijednosti

	Sl. 4.1. (Stablo)	Sl. 4.2. (Grana)	Sl. 4.3. (Portret)	Sl. 4.4. (Povrće)	Sl. 4.5. (Vlak)
Najbliži susjed	18.1998	35.8776	31.6660	31.9478	26.0814
Bilinearna int.	18.5032	37.6955	31.9589	32.4497	26.1083
Bikubična int.	19.6504	39.4186	32.7590	33.1693	26.7127

Iz dobivenih rezultata za PSNR vidljivo je da je za svaku sliku (posebno za sliku 4.1., 4.2., 4.3., 4.4., i 4.5.) u odnosu na bilinearnu interpolaciju i metodu najbližeg susjeda, bikubična interpolacija dala najbolji rezultat. Daleko najbolji rezultat PSNR-a vidi se za sliku 4.2. Razlog tome je u sadržaju slike. Slika 4.2. prikazuje granu na kojoj veliku površinu zauzima monotona pozadina, tj. slika sadrži malo detalja, pa vrijednosti elemenata slike ne variraju mnogo, što omogućava dobre rezultate za PSNR. S druge strane, slika stabla 4.1. ima visoku razinu detalja pa su vrijednosti PSNR-a za nju vidljivo najmanji. Razlog tome je što na slici 4.1. vrijednosti elemenata jako variraju. Općenito da se zaključiti da je PSNR za slike sa malo detalja veći od slika koje imaju veliku razinu detalja.

Prilikom objektivne procjene kvalitete algoritama za povećanje prostorne rezolucije videosignala, veću važnost daje SSIM, iz razloga što SSIM uzima u obzir svojstva ljudskog vizualnog sustava, a PSNR ne. PSNR samo izračunava omjer signala i šum, bez obraćanja pažnje na svojstva ljudskog vizualnog sustava.

## 5. ZAKLJUČAK

Videosignali imaju sve širu upotrebu u svakodnevnom životu, prikazuju se na raznim uređajima, a često i u stvarnom vremenu. Videosignali se zbog svoje veličine kodiraju te im se smanjuje rezolucija kako bi bili pogodniji za prijenos između uređaja. Svrha prijenosa videosignala je da na odredišnom uređaju bude prikazan signal izvorne kvalitete, tj. prostorne rezolucije. Kako se signalu smanji rezolucija prije prijenosa, rezolucija se mora i povećati nakon prijenosa. Postoji više načina kako videosignalu povećati prostornu rezoluciju, a u ovome radu predstavljene su: metoda najbližeg susjeda, bilinearna interpolacija i bikubična interpolacija. Te metode testirane su na dva načina; određivanjem parametara SSIM i PSNR. Sve simulacije i testiranja signala obavljene su u programskom paketu Matlab®. U ovome radu su zbog jednostavnosti testiranja i implementacije algoritama, za primjere videosignala odabrane slike. Testiranjem na 5 različitih slika, oba parametra (SSIM i PSNR) pokazala su da metoda bikubične interpolacije daje najbolje rezultate. Ukoliko za implementiranje u stvarnom svijetu nije bitna kvaliteta povećanja rezolucije, nego brzina, tada je bolje koristiti metodu najbližeg susjeda, jer je najjednostavnija i zahtijeva najmanje procesorske snage. Bikubična interpolacija dat će bolje rezultate povećanja, ali obrada signala traje duže, te je sama metoda složenija. Razlika u rezultatima između bilinearne i bikubične interpolacije za sve primjere slika je bila vrlo mala. Nadalje, primjetna je bila razlika u rezultatima za različite videosignale. Videosignali koji su sadržavali veliku razinu detalja imali su niske vrijednosti SSIM i PSNR, dok su videosignali koji su imali male razine detalja imali visoke vrijednosti za SSIM i PSNR.

## 6. POPIS FORMULA

$$f(x,y) = a_{11}xy + a_{10}x + a_{01}y + a_{00} \quad (3-1)$$

Formula (3-1) predstavlja model za bilinearnu interpolaciju.

$$f\left(\frac{1}{2}, 0\right) = \frac{f(0,0) + f(1,0)}{2}, \quad (3-2)$$

Formula (3-2) predstavlja izračun srednje vrijednosti između koordinata u bilinearnoj interpolaciji.

$$f\left(\frac{1}{2}, 1\right) = \frac{f(0,1) + f(1,1)}{2} \quad (3-3)$$

Formula (3-3) predstavlja izračun srednje vrijednosti između koordinata u bilinearnoj interpolaciji.

$$f(xy) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 a_{ij} x^i y^j, \quad (3-4)$$

Formula (3-4) predstavlja model za bikubičnu interpolaciju.

$$SSIM(x,y) = [l(x,y)]^\alpha \cdot [c(x,y)]^\beta \cdot [s(x,y)]^\gamma \quad (4-1)$$

Formula (4-1) za izračunavanje SSIM-a.

$$l(x,y) = \frac{2\mu_x \mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1} \quad (4-2)$$

Formula (4-2) za izračunavanje svjetlosti.

$$c(x,y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2}, \quad (4-3)$$

Formula (4-3) za računanje kontrasta slike.

$$s(x,y) = \frac{\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x\sigma_y + C_3}. \quad (4-4)$$

Formula (4-4) za računanje strukture slike.

$$SSIM(x,y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)} \quad (4-5)$$

Formula (4-5), predstavlja pojednostavljenu formulu za računanje SSIM-a.

## 7. LITERATURA

- [1] Y,Zhang, G,Wu, P,Yap, Q,Feng, J,Lian, W, Chen, D, Shen; Hierarchical Patch-Based Sparse Representation - A New Approach for Resolution Enhancement of 4D-CT Lung Data
- [2] D,Vranješ, Algoritam za adaptivnu vremensku interpolaciju slika zasnovan na prostorno-vremenskim značajkama videosignala
- [3] M,Irani, S,Peleg; Improving Resolution by Image Registration
- [4] D,Glasner, S,Bagon, M,Irani; Super-Resolution from a single image
- [5] A,Ayvaci, H,Jin, Z,Lin, S,Cohen, S,Soatto; Video upscaling via Spatio-Temporal Self-Similarity.
- [6] I, Šogec; FPGA implementacija metode povećanja originalne slike korištenjem više snimki
- [7] Mathworks, 2017., dostupno na <https://www.mathworks.com/help/images/ref/imresize.html>, 26.6.2017.
- [8] Pexels,2017., dostupno na <https://www.pexels.com/> 26.6.2017
- [9] <http://www.imatest.com/docs/ssim/>, 26.6.2017.
- [10] <https://www.mathworks.com/help/images/ref/ssim.html>, 26.6.2017.
- [11] <https://www.mathworks.com/help/images/ref/psnr.html>, 26.6.2017.
- [12] <http://www.imagemagick.org/Usage/misc/>,26.6.2017.
- [13] <http://tech-algorithm.com/articles/nearest-neighbor-image-scaling/>,26.6.2017.
- [14] <https://www.scribd.com/document/341233896/interpolation-pdf>, 26.6.2017.
- [15] <https://ece.uwaterloo.ca/~z70wang/research/ssim/>, 3.9.2017.

[16] Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh and E. P. Simoncelli, "Image quality assessment: From error visibility to structural similarity," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 13, no. 4, pp. 600-612, Apr. 2004., 3.9.2017.

[17] <http://www.ni.com/white-paper/13306/en/>, 3.9.2017.

## 8. SAŽETAK

Problem povećanja prostorne rezolucije videosignala sve je rašireniji jer se videosignali prikazuju na sve većem broju različitih uređaja. Problem je još veći ako se uzima u obzir veličina takvih datoteka. One zauzimaju velike količine memorije uređaja na kojem se nalaze. Ukoliko se takvi signali prenose sa uređaja na uređaj, zauzimaju i velike količine kapaciteta mreže kojom se prenose. U svrhu smanjivanja količine zauzetog prostora za pohranu na uređajima na kojima se videosignali nalaze te u svrhu smanjivanja kapaciteta mreže koju videosignal zauzima prilikom prijenosa, pristupa se kodiranju i smanjivanju prostorne rezolucije videosignala. Kako bi na odredišnom uređaju bio primljen signal u originalnoj rezoluciji, videosignalu se povećava prostorna rezolucija. Moguće je isto obaviti na više načina, a ovaj rad predstavlja pregled algoritama za povećanje prostorne rezolucije videosignala. Odabrane su tri metode koje su posebno objašnjene; metoda najbližeg susjeda, bilinearna interpolacija i bikubična interpolacija, te su na osnovi 5 primjera videosignala (slika) implementirane te metode. Kvaliteta slika kojima je povećana prostorna rezolucija ocijenjena je korištenjem SSIM i PSNR metoda. Iako je odabir algoritma uvelike ovisan o samoj primjeni, na temelju rezultata SSIM i PSNR metoda, optimalne rezultate dala je bikubična interpolacija.



## 9. ABSTRACT

Video signal is recorded and displayed on many modern devices, such as smartphones, computers, television, smart watches etc. Video files take up a lot of memory space on the device they are saved on, and they also take up a lot of network capacity while they are being transmitted. The solution for this is encoding and decreasing the spatial resolution of video signals. However, the signal needs to be in its original quality when shown on the receiver device. This is when the signal needs to be decoded and its spatial resolution needs to be increased. There are many methods for spatial upscaling of video signals, of which three are explained in this paper; nearest neighbour, bilinear interpolation and bicubic interpolation. These methods were tested via SSIM and PSNR Matlab functions. The efficiency of these methods depends on the application, but the best results were found to be for bicubic interpolation, based on SSIM and PSNR.

## 10. ŽIVOTOPIS

Hrvoje Kokošarević rođen je 2.9.1995. u Starim Mikanovcima. Završio je Osnovnu školu Vladimira Nazora u Vinkovcima 2009., a Gimnaziju Matije Antuna Reljkovića u Vinkovcima 2014. godine. 2014. godine upisuje prvu godinu studija na Preddiplomskom sveučilišnom studiju Elektrotehnike na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku. Na drugoj godini opredjeljuje se na smjer Komunikacije i informatika, dok trenutno završava treću godinu Preddiplomskog sveučilišnog studija. Kroz osnovnoškolsko i srednjoškolsko obrazovanje pohađao je županijska natjecanja iz više predmeta; matematike, biologije, te geografije.