

PROJEKTNI ZADATAK

Implementacija algoritama za interpolaciju slike

Potrebno predznanje

- Poznavanje programskog jezika C
- 2D signali
- RGB i YUV prostori boja
- Filtriranje 2D signala u vremenskom domenu

Šta će biti naučeno tokom izrade zadatka

Tokom izrade ovog zadatka upoznaćete se sa problemom promene rezolucije slike. Naučićete na koji način je moguće povećati rezoluciju slike i na koji način različiti algoritmi utiču na kvalitet povećane slike. Realizovaćete dva prosta, ali u praksi često primenljiva algoritma za povećanje rezolucije slike: *Sample and hold* algoritam i algoritam bilinearne interpolacije. Naučićete i na koji način se ovi algoritmi primenjuju na gometrijske transformacije slike kao što je rotacija oko proizvoljne tačke.

Motivacija

Digitalne slike i video zapisi sadrže veliki broj podataka, čiji obim raste sa napretkom tehnike, što dovodi do prepreka prilikom prenosa multimedijalnog sadržaja, koji mora biti prenet u odgovarajućem roku, kao i bez gubitka kvaliteta. Kako bi se zadovoljili zahtevi kvaliteta, brzine prenosa i prilagođenja prenetih podataka ciljnim sistemima, obradi slike se pridaje sve veći značaj. Ušteda propusnog opsega mreže može se postići kodovanjem slike niske rezolucije na strani enkodera, koja se onda, na strani dekodera, pre samog prikazivanja krajnjem korisniku, uvećava do rezolucije modernih panela.

Povećanje slike do željene visoke rezolucije vrši se nekom od tehnika interpolacije. Jedan od važnih primera rastuće potrebe za interpolacijom je i prikaz TV signala standardne definicije (SD TV) na savremenim panelima koji su mahom veće rezolucije a dosta često i različitih proporcija (prikaz standardnog 4:3 SD signala na 16:9 HD panelu).

Pored navedenih primena interpolacija slike se koristi prilikom uveličavanja slike (*zoom*), izvršenja geometrijskih transformacija slike (kao što je rotiranje), popravljjanje-smetnji u slici (engl. *image inpainting*) ili estimacija pokreta sa ne-celobrojn timer tačnošću.

TEORIJSKE OSNOVE

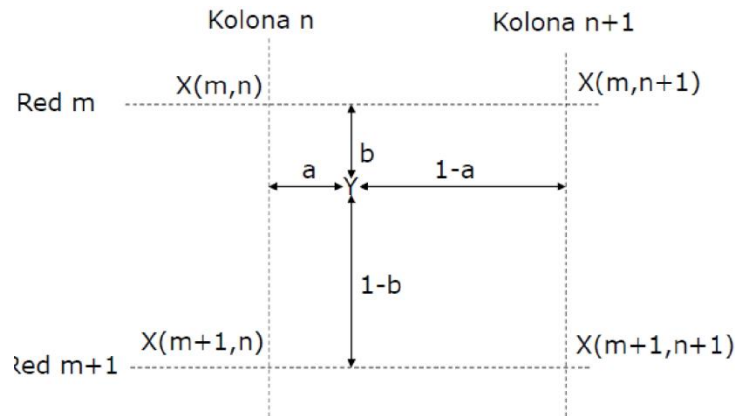
Cilj pojektnog zadatka je implementacija metoda za interpolaciju slike pri proizvoljnom faktoru uvećanja ili umanjenja, uz očuvanje oštine. Ukratko, interpolacija se svodi na određivanje vrednosti i nedostajućih podataka, na osnovu onih već poznatih, i predstavlja vezu između diskretnog i kontinualnog domena. Postoje različite interpolacione tehnike. Neke od najprostijih tehnika interpolacije koje se vrlo često koriste u praksi zbog jednostavnosti računanja jesu metode koje koriste konstantne konvolucione kernele za celu sliku. U ove metode između ostalih ubrajaju se interpolacija ponavljanjem piksela (engl. *Sample and Hold*) i bilinearna interpolacija. Pored ovih tehnika postoje i različiti složeni algoritmi koji kombinuju pomenute metode sa dodatnim algoritmima obrade slike ili prikupljenim informacijama o slici (npr. ivicama).

1 *Sample and hold* algoritam

Ovo je najjednostavniji algoritam u kojem se za interpoliranu vrednost uzima poznata vrednost iz najbliže tačke u osnovnom rasteru:

$$\begin{aligned}a < 0.5 \quad b < 0 &\rightarrow Y = X(m, n) \\a \geq 0.5 \quad b < 0 &\rightarrow Y = X(m, n+1) \\a < 0.5 \quad b \geq 0 &\rightarrow Y = X(m+1, n) \\a \geq 0.5 \quad b \geq 0 &\rightarrow Y = X(m+1, n+1)\end{aligned}$$

Vrednosti parametara m , n , a i b u jednačini odgovaraju indeksima prikazanim na slici 1.



Slika 1 - Prikaz interpolacije

Algoritam se može izraziti i jednostavnije:

$$I_i(p, q) = I\left(\left[\frac{p-1}{F} + 1\right], \left[\frac{q-1}{F} + 1\right]\right).$$

Na slici 2 je prikazana interpolacija sa SH algoritmom. Velika prednost ovog algoritma je jednostavnost (praktično nepotrebni procesorski resursi) a nedostatak je stepeničasta struktura ivica i neprirodno uniformisana tekstura slike (blokowska mustra).



Slika 2 - Rezultat interpolacije sa faktorom povećanja 4 koristeći SHAH metodu

2 Bilinearna interpolacija

Bilinearna interpolacija je nešto kompleksniji algoritam gde se koeficijenti interpolacije računaju na osnovu udaljenosti tačaka iz osnovnog rastera od interpolacione tačke. Osnovna ideja bilinearne interpolacije je da se prvo izvede linearna interpolacija po jednoj dimenziji slike, a potom po drugoj. Za razliku od prethodno opisane tehnike bilinearne interpolacija koristi 4 najbliže vrednosti tačaka, locirane u dijagonalnim pravcima od trenutnog piksela. Bilinearna interpolacija koristi oblast 2x2 poznatih vrednosti piksela koji okružuju nepoznati piksel. Interpolacija se zasniva na usrednjavanju te 4 vrednosti po formuli sledećoj formuli:

$$Y = (1-a)(1-b)X(m,n) + (1-a)bX(m+1,n) + a(1-b)X(m,n+1) + abX(m+1,n+1)$$

Vrednosti parametara m , n , a i b u jednačini odgovaraju indeksima prikazanim na slici 1.

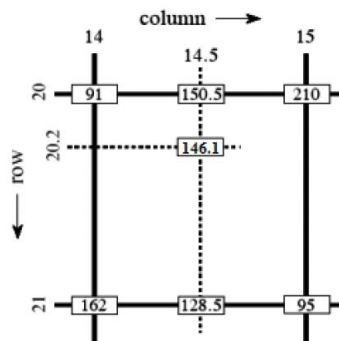
Vrednosti a i b se mogu izračunati po formuli:

$$a = n_s / Sh - \text{floor}(n_s / Sh) \quad b = m_s / Sv - \text{floor}(m_s / Sv)$$

Gde su:

- n_s/m_s – horizontalni/vertikalni indeks piksela u skaliranoj slici (pozicija)
- Sh/Sv – horizontalni/vertikalni faktor skaliranja

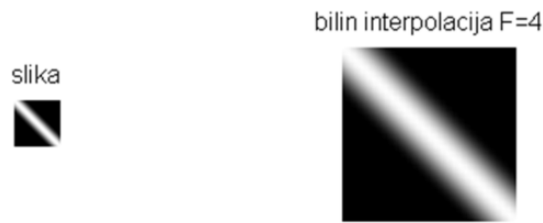
Primer izračunavanja jedne vrednosti piksela korišćenjem bilinearne interpolacije dat je na slici 3.



$$I_{20.2, 14.5} = (1 - 0.2) \cdot 150.5 + 0.2 \cdot 128.5 = 146.1$$

Slika 3 - Primer izračunavanja bilinearne interpolacije

Na slici 4 je prikazana interpolacija sa korišćenjem ovog algoritma. Uz veće zahteve u procesorskim resursima, postiže se bolja interpolacija ivica i prirodnija tekstura objekata.

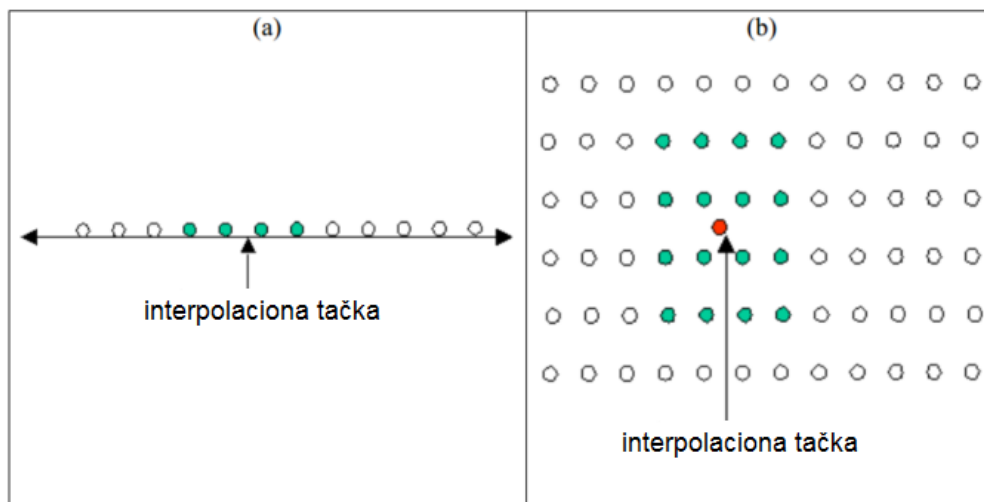


Slika 4 - Rezultat bilinearne interpolacije sa faktorom povećanja 4

Složeniji algoritmi interpolacije postižu bolji kvalitet sa sve većim procesorskim resursima. To se postiže povećanjem kvadrata interpolacije ($N=4,8$), to jest susednih tačaka na osnovu kojih se interpolira vrednost u interpolacionoj tački, i složenijim određivanjem koeficijenata interpolacije uzimajući u obzir strukturu objekata u slici.

3 Bikubična interpolacija

Bikubična interpolacija daje značajno bolji kvalitet interpolirane slike u odnosu na *Sample and hold* metodu na račun povećane složenosti izračunavanja. Kod bikubične interpolacije se koeficijenti interpolacije računaju na osnovu udaljenosti tačaka iz osnovnog rastera od interpolacione tačke. Pri interpolaciji koristi se 16 piksela iz originalnog rastera (4×4 okolina) i vrednosti piksela koji su bliži interpoliranom pikselu imaju veći uticaj na interpoliranu vrednost.



Slika 5 - Tačke koje učestvuju u interpolaciji kod kubične (a) i bikubične (b) interpolacije

Osnovna ideja bikubične interpolacije jeste da se prvo uradi kubična (jednodimenziona) interpolacija po jednoj dimenziji slike, a potom po drugoj. Kubična interpolacija predstavlja jednodimenzioni algoritam interpolacije opisan sledećom jednačinom:

$$Y(n) = \sum_{m=0}^3 X(m) * w(d)$$

$$w(d) = \begin{cases} \frac{3}{2}|d|^3 - \frac{5}{2}|d|^2 + 1 & |d| < 1 \\ -\frac{1}{2}|d|^3 + \frac{5}{2}|d|^2 - 4|d| + 2 & 1 \leq |d| < 2 \\ 0 & \text{inače} \end{cases}$$

gde je d udaljenost između interpoliranog piksela i piksela originalnog rastera, a $X(0..3)$ predstavljaju izdvojene 4 vrednosti oko vrednosti $Y(n)$. Izračunavanje vrednosti interpolacione tačke vrši tako što se nad 4 reda od po 4 tačke poziva kubična interpolacija. Dobijena 4 rezultata smestiti u niz od 4 elementa, i nad njima ponovo pozvati kubičnu interpolaciju.

Korišćenjem bikubične interpolacije dobija se bolja interpolacija detalja u odnosu na SH i bilinearnu interpolaciju uz veću složenost izračunavanja.

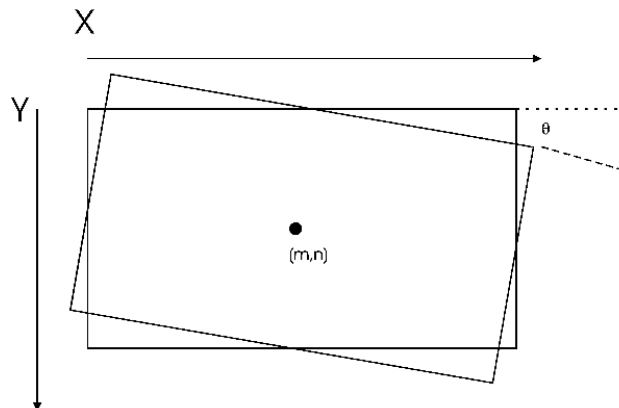
4 Rotacija slike

Još jedna operacija nad slikama pored promene veličine koja podrazumeva primenu interpolacionih tehnika jeste rotacija slike. Rotacija slike oko piksela sa koordinatama $(0, 0)$ (gornji levi ugao) se na prost način može izvršiti primenom sledeće jednačine:

$$X' = X * \cos(\theta) + Y * \sin(\theta)$$

$$Y' = Y * \cos(\theta) - X * \sin(\theta)$$

gde je θ željeni ugao rotacije. Nakon izračunavanja X' i Y' potrebno je u rezultujuću sliku na koordinate X i Y upisati vrednosti piksela ulazne slike sa koordinatama X' i Y' . S obzirom da X' i Y' najčešće nisu celi brojevi prilikom određivanja vrednosti piksela primenjuje se jedna od tehnika interpolacije.



Slika 6 - Rotacija slike oko proizvoljne tačke

Rotacija slike oko proizvoljne tačke vrši se upotrebom sledeće jednačine:

$$X' = X * \cos(\theta) - Y * \sin(\theta) - m * \cos(\theta) + n * \sin(\theta) + m$$

$$Y' = Y * \cos(\theta) + X * \sin(\theta) - m * \sin(\theta) - n * \cos(\theta) + n$$

gde m i n predstavljaju koordinate tačke oko koje se slika rotira.

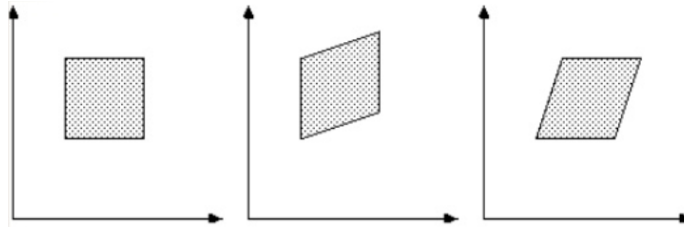
5 Iskošenje slike

Iskošenje slike predstavlja još jednu geometrijsku transformaciju slike. U okviru ove transformacije vrši se geometrijska transformacija paralelograma koji sadrži sliku, po horizontalnoj ili vertikalnoj osi, na sledeći način:

$$X' = X + Y * k1$$

$$Y' = Y + X * k2$$

gde X' i Y' predstavljaju koordinate piksela ulazne slike, X i Y koordinate piksela u izlaznoj (iskošenoj) slici a koeficijenti k1 i k2 predstavljaju faktor iskošenja i nalaze se u opsegu [-1, 1];



Slika 7 – originalna slika, slika zakrivljenja po vertikalnoj i po horizontalnoj osi

6 Efekat „Riblje oko“

U obradi slike, efekat „riblje oko“ predstavlja oštećenje slike nastalo zbog nesavršenosti sočiva kojim je slika ili video snimljen. Ovaj efekat se manifestuje kao geometrijsko izobličenje na krajevima slike.

Ovaj efekat se može modelovati na sledeći način:

$$X' - m = (X - m) * (1 + k1 * r^2 + k2 * r^4)$$

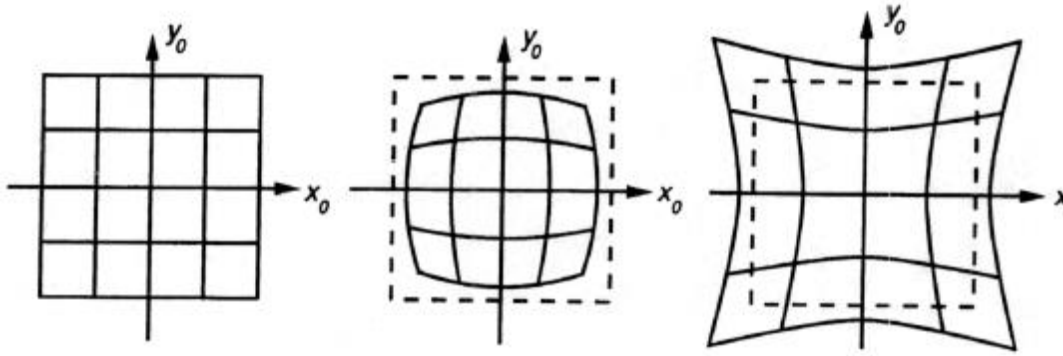
$$Y' - n = (Y - n) * (1 + k1 * r^2 + k2 * r^4)$$

$$r^2 = X_{norm}^2 + Y_{norm}^2$$

U navedenim jednačinama X i Y predstavljaju koordinate piksela u izlaznoj (izobličenoj) slici, X' i Y' koordinate piksela u ulaznoj slici, dok su m i n koordinate koje odgovaraju sredini slike. X_{norm} i Y_{norm} predstavljaju normalizovane vrednosti koordinata:

$$X_{norm} = (X - m) / X_SIZE$$

$$Y_{norm} = (Y - n) / Y_SIZE$$



Slika 8 - Slika bez izobličenja, slika za $k_1 < 0$ i $k_2 > 0$ i slika za $k_1 < 0$ i $k_2 < 0$

7 Zakrivljenje slike (talasanje i uvrtnje)

Efekat zakrivljenje slike predstavlja još jedno geometrijsko izobličenje slike, kod koga se sadržaj slike menja koristeći neku od različitih zadatih funkcija koje dovode do talasanja ili uvrtnja slike.

Efekat talasanja može biti horizontalni i vertikalni u zavisnosti na koju osu se primenjuje, kao i longitudinalni ili transverzalni u zavisnosti od odnosa amplitude i pravca prostiranja.

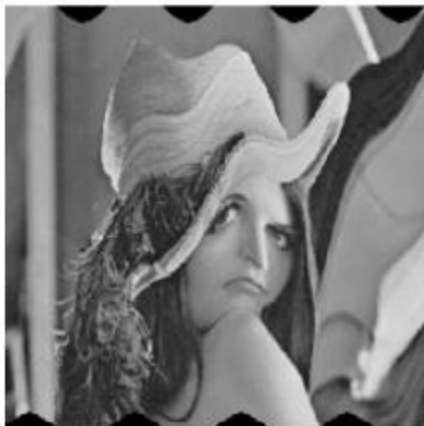
Vertikalni transferzalni talas može se primeniti na sledeći način:

$$X' = X + k_1 * X_SIZE * \sin(2 * \pi * Y / (Y_SIZE * k_2))$$

Dok se longitudinalni talas dobija kada se primeni sledeća transformacija:

$$Y' = Y + k_1 * Y_SIZE * \sin(2 * \pi * X / (X_SIZE * k_2))$$

U navedenim jednačinama X i Y predstavljaju koordinate piksela u izlaznoj (izobličenoj) slici, X' i Y' koordinate piksela u ulaznoj slici. Dodatno k_1 predstavlja parametar koji određuje amplitudu talasa, dok k_2 određuje frekvenciju. Horizontalni talasi se primenjuju na isti način, samo na Y koordinatu.



Slika 9 - Efekat talasanja, transferzalni (levo) i longitudinalni (desno)

Efekat uvrtnja predstavlja uvrtnje sadržaja slike oko određene tačke. Za razliku od rotiranja, pikseli koji imaju različitu udaljenost od ose rotacije, rotiraju se za različite uglove.

$$X' = (X - m) * \cos(\theta) + (Y - n) * \sin(\theta) + m$$

$$Y' = -(X - m) * \sin(\theta) + (Y - n) * \cos(\theta) + n$$

$$\theta = k1 * \pi * r$$

$$r = \sqrt{(X - m)^2 + (Y - n)^2}$$

U navedenim jednačinama X i Y predstavljaju koordinate piksela u izlaznoj (izobličenoj) slici, X' i Y' koordinate piksela u ulaznoj slici. Parametar k1 predstavlja željeni faktor rotacije. Vrednosti m i n predstavljaju koordinate tačke oko koje se slika rotira



Slika 10 - Primer efekta "uvrtanje"

ZADATAK

U okviru ovog projektnog zadatka potrebno je realizovati sistem za promenu rezolucije slike upotrebom različitih tehnika interpolacije. Projektni zadatak se radi i boduje **individualno**. Saradnja medju studentima nije dopuštena.

Nakon uspešno implementiranog rešenja zadatog problema, potrebno je napisati kratak izveštaj. Izveštaj se sastoji od najviše 7 strana uključujući naslovnu stranu i sadržaj. Prilikom izrade izveštaja studentima se ne dozvoljava da medjusobno saradjuju ni u kom pogledu.

Za pisanje izveštaja poželjno je koristiti šablon za ispitne zadatke sa sajta Katedre za računarsku tehniku i računarske komunikacije.

Naslovna stranica treba da sadrži: naziv fakulteta, ime usmerenja-katedre, naziv predmeta, naslov projekta, prezime i ime studenta, broj indeksa i datum podnošenja izveštaja. Nakon ove stranice sledi stranica sadržaja (spisak tabela, slika i skraćenica nisu obavezni i ne računaju se u pomenutih 7 strana). Glavni deo izveštaja treba da počne postavkom problema koji se rešava, a zatim, u grubim

crtama, sledi: opis korišćenih algoritama procesiranja signala, primeri procesiranih slika korišćenjem različitih algoritama interpolacije za različite ulazne slike i vrednosti parametara.

Po završetku projekta biće organizovana usmena odbrana. U predviđenom vremenu student treba da prezentuje svoje rešenje, opiše detalje implementacije i demonstrira rezultate obrade.

Projektni zadatak nosi **15 bodova**. Rok za izradu projektnog zadatka jeste petak **15.06.2018**. Termin odbrane će biti naknadno zakazan. Projekat je moguće braniti i nakon zadanog termina uz dodavanje negativnih poena zbog kašnjenja.

Zadatak 1

Realizovati funkciju

- `void sampleAndHold(uchar input[], int xSize, int ySize, uchar output[], int newXSize, int newYSize);`

Koja vrši skaliranje slike upotrebom *Sample and hold* algoritma opisanog u prethodnom odeljku.

Parametri funkcije su:

- `input` – ulazna slika u RGB formatu
- `xSize` – horizontalna dimenzija ulazne slike u pikselima
- `ySize` – vertikalna dimenzija ulazne slike u pikselima
- `output` – izlazna slika u RGB formatu
- `newXSize` – horizontalna dimenzija izlazne slike u pikselima
- `newYSize` – vertikalna dimenzija izlazne slike u pikselima

Prilikom poziva funkcije neophodno je inicijalizovati memoriju za izlaznu sliku. Veličinu izlazne slike potrebno je izračunati na osnovu dimenzija ulazne slike i faktora skaliranja. Faktor skaliranja po vertikalnoj dimenziji dat je parametrom `params[0]`, a po horizontalnoj sa `params[1]`.

Obradu vršiti nad slikom u RGB formatu.

Unutar dokumentacije prikazati rezultate skaliranja za različite faktore i ulazne slike.

Zadatak 2

Realizovati funkciju

- `void bilinearInterpolate(uchar input[], int xSize, int ySize, uchar output[], int newXSize, int newYSize);`

Koja vrši bilinearnu interpolaciju slike na osnovu algoritma opisanog u prethodnom odeljku.

Parametri funkcije su:

- `input` – ulazna slika u RGB formatu
- `xSize` – horizontalna dimenzija ulazne slike u pikselima
- `ySize` – vertikalna dimenzija ulazne slike u pikselima
- `output` – izlazna slika u RGB formatu
- `newXSize` – horizontalna dimenzija izlazne slike u pikselima
- `newYSize` – vertikalna dimenzija izlazne slike u pikselima

Prilikom poziva funkcije neophodno je inicijalizovati memoriju za izlaznu sliku. Veličinu izlazne slike potrebno je izračunati na osnovu dimenzija ulazne slike i faktora skaliranja. Faktor skaliranja po vertikalnoj dimenziji dat je parametrom `params[0]`, a po horizontalnoj sa `params[1]`.

Obradu vršiti nad slikom u RGB formatu.

Unutar dokumentacije prikazati rezultate skaliranja za iste faktore skaliranja i ulazne slike kao u zadatku 1.

Zadatak 3

Realizovati funkciju

- `void bicubicInterpolate(uchar input[], int xSize, int ySize, uchar output[], int newXSize, int newYSize);`

Koja vrši bilinearnu interpolaciju slike na osnovu algoritma opisanog u prethodnom odeljku.

Parametri funkcije su:

- `input` – ulazna slika u RGB formatu
- `xSize` – horizontalna dimenzija ulazne slike u pikselima
- `ySize` – vertikalna dimenzija ulazne slike u pikselima
- `output` – izlazna slika u RGB formatu
- `newXSize` – horizontalna dimenzija izlazne slike u pikselima
- `newYSize` – vertikalna dimenzija izlazne slike u pikselima

Prilikom poziva funkcije neophodno je inicijalizovati memoriju za izlaznu sliku. Veličinu izlazne slike potrebno je izračunati na osnovu dimenzija ulazne slike i faktora skaliranja. Faktor skaliranja po vertikalnoj dimenziji dat je parametrom `params[0]`, a po horizontalnoj sa `params[1]`.

Prilikom realizacije funkcije napraviti pomoćnu funkciju koja računa kubičnu interpolaciju na osnovu zadate 4 tačke i udaljenosti intrpolacione tačke od prve od zadate 4 tačke.

- `void cubicInterpolate(uchar points[4], double d);`

Unutar dokumentacije prikazati rezultate skaliranja za iste faktore skaliranja i ulazne slike kao u zadatku 1.

Zadatak 4

Realizovati funkciju

- `void imageRotate(uchar input[], int xSize, int ySize, uchar output[], int m, int n, double angle);`

Koja vrši rotaciju slike oko tačke sa koordinatama (m, n) za ugao *angle*. Izlazna slika je istih dimenzija kao i ulazna. Piksele u okviru izlazne slike za koje su izračunate koordinate van opsega ulazne slike popuniti crnom bojom. Za određivanje vrednosti piksela za koje izračunate koordinate u originalnoj slici ne predstavljaju ceo broj, koristiti *Sample and hold* algoritam interpolacije.

Prilikom poziva funkcije neophodno je inicijalizovati memoriju za izlaznu sliku. Parametre m i n postaviti tako da se nalaze na sredini slike. Ugao rotacije dat je parametrom `params[0]`.

Obradu vršiti nad slikom u RGB formatu.

Unutar dokumentacije prikazati rezultate rotacije za različite uglove i ulazne slike.

Zadatak 5

Realizovati funkciju

- `void imageRotateBilinear(uchar input[], int xSize, int ySize, uchar output[], int m, int n, double angle);`

Koja vrši rotaciju slike oko tačke sa koordinatama (m, n) za ugao *angle*. Izlazna slika je istih dimenzija kao i ulazna. Piksele u okviru izlazne slike za koje su izračunate koordinate van opsega ulazne slike popuniti crnom bojom. Za određivanje vrednosti piksela koristiti bilinearnu interpolaciju.

Prilikom poziva funkcije neophodno je inicijalizovati memoriju za izlaznu sliku. Parametre m i n postaviti tako da se nalaze na sredini slike. Ugao rotacije dat je parametrom `params[0]`.

Obradu vršiti nad slikom u RGB formatu.

Unutar dokumentacije prikazati rezultate rotacije za jednake vrednosti uglova i ulazne slike kao u zadatku 3.