

UNIVERZITET U SARAJEVU
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET U SARAJEVU
ODSJEK ZA TELEKOMUNIKACIJE

Razvoj korisničkog interfejsa za pretraživanje slika na bazi Fourierovih deskriptora

ZAVRŠNI RAD
I CIKLUSA STUDIJA

Mentor:
Red. prof. dr Melita Ahić-Đokić

Kandidat:
Halać Delila

Sarajevo, 2015.

**Red. prof. dr Melita Ahić-Đokić, dipl.el.inž.
Viši Asistent mr. Emir Sokić, dipl.el.inž.
Odsjek za telekomunikacije**

TEMA ZA ZAVRŠNI RAD

studenata I ciklusa studija koji studiraju na ETF-u u skladu sa principima
Bolonjskog procesa na Odsjeku za telekomunikacije (šk.2014/15)

Tema 1: Razvoj korisničkog interfejsa za pretraživanje slika na bazi Fourierovih deskriptora

Student: (Halać Delila)

Sažetak:

U okviru rada je potrebno dizajnirati, razviti i testirati fleksibilan korisnički interfejs (GUI) koji omogućava pretraživanje baze slika na osnovu oblika/sadržaja. Potrebno je implementirati sljedeće mogućnosti:

- mogućnost pretraživanja slika na bazi konture/oblika,
- mogućnost dodavanja, formiranja i indeksiranja novih baza slika,
- mogućnost implementacije i integracije novih deskriptora,
- mogućnost dodavanja i izbora novih mjera sličnosti,
- mogućnost izračunavanja performansi dohvata (dijagrami preciznosti i odziva, bull-eye vrijednost, brzina dohvata itd.).

Preporučuje se korištenje MATLAB razvojnog paketa.

Polazna literatura:

- [1] Milan Sonka, Vaclav Hlavac, Roger Boyle: „Image Processing, Analysis, and Machine Vision“, Thomson, 2008
- [2] Edward A. Lee, Pravin Varaiya: „Structure and Interpretation of Signals and Systems“, Electrical Engineering and Computer Science University of California, Berkeley, 2000
- [3] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, Steven L. Eddins: „Digital Image Processing using MATLAB“, PEARSON Prentice Hall, 2009
- [4] Luciano da Fontura Costa, Roberto Marcondes Cesar Jr.: „Shape Analysis and Classification: Theory and Practice“, CRC Press LLC, 2001
- [5] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods: „Digital Image Processing“, PEARSON Prentice Hall, 2001
- [6] Sven Loncaric: „A Survey of Shape Analysis Techniques“, Faculty of Electrical Engineering and Computing, University of Zagreb, 1998
- [7] Yang Mingqiang, Kpalma Kidiyo, Ronsin Joseph: „A Survey of Shape Feature Extraction Techniques“, Pattern Recognition, Peng-Yeng (Ed.), 2008
- [8] Kidiyo Kpalma, Joseph Ronsin: „An Overview of Advances of Pattern Recognition systems in Computer Vision“, I-Tech Education and Publishing, 2007

[9] Dengsheng Zhang, Guojun Lu: „A Comparative Study on Shape Retrieval Using Fourier Descriptors with Different Shape Signatures“, Proc. International Conference on Intelligent Multimedia and Distance Education, 2001

[10] Bastian Leibe and Bernt Schiele. Analyzing appearance and contour based methods for object categorization. In Computer Vision and Pattern Recognition, 2003. Proceedings. 2003 IEEE Computer Society Conference on, volume 2, pages II 409. IEEE, 2003.

Datum

Red. prof. dr Melita Ahić-Đokić

SAŽETAK

Cilj završnog rada je razvoj aplikacije za pretraživanje slika na osnovu Fourierovih deskriptora. Pošto u razvoju aplikacije najvažniju ulogu imaju Fourierovi deskriptori u ovom radu bit će posvećena pažnja proceduri formiranja konturnih Fourierovih deskriptora. Pored Fourierovih deskriptora koji uživaju najveću popularnost, obrađeni su i najznačajniji momenti kao što su: Geometrijski invarijantni momenti, Ortogonalni momenti i mnoge druge metode koje mogu zamijeniti upotrebu Fourierovih deskriptora.

Razvoj aplikacije bit će rađen u programskom paketu MATLAB R2012b upotrebom dodatka *guide*. Pored detaljno opisane procedure razvijanja grafičkog interfejsa, izvršena je analiza rezultata pretraživanja i korištenih težinskih funkcija. Za lakšu nadogradnju aplikacije napisana su upustva za dodavanje novih baza, deskriptora, težinskih koeficijenata i mjera sličnosti.

Na kraju završnog rada nalazi se Prilog I u kome se mogu pronaći primjeri korištenja aplikacije.

ABSTRACT

The main goal of this paper is development of application for image search based on Fourier descriptors. Since the application is based on using Fourier descriptors, in this paper will be given detailed procedure for forming contours of Fourier descriptors. Besides these descriptors in this paper will be exposed most important moments like: Geometric invariant moments, Orthogonal moments, and many other methods which can successfully replace Fourier descriptors.

Application will be developed using the program called MATLAB R2012b and a tool called *guide*. After, the procedure of making application step-by-step is successfully described, it is made the analysis of results. Also, for easier upgrading of application there are instructions for adding new base, descriptor, weighting function and similarity measure.

At the end of this paper you can find some examples of using the application.

Sadržaj

1 Uvod	6
1.1 Ciljevi	6
1.2 Struktura završnog rada	8
2 Pretraživanje slika na osnovu oblika	9
2.1 Uvod	9
2.2 Konturno bazirani deskriptori	9
2.2.1 Globalne metode	9
2.2.1.1 Signature oblika	10
2.2.1.2 Konturni Momenti	10
2.2.1.3 Spektralne tehnike	10
2.2.2 Strukturalne metode	11
2.2.2.1 Lančani kodovi	11
2.3 Regijski bazirani deskriptori	11
2.3.1 Globalne metode	11
2.3.1.1 Geometrijski invarijantni momenti	12
2.3.1.2 Ortogonalni momenti	12
2.3.1.3 Generički Fourierovi deskriptori	13
2.3.2 Strukturalne metode	13
2.4 Zaključak	13
3 Procedura formiranja konturnih Fourierovih deskriptora	15
3.1 Uvod	15
3.2 Izdvajanje konture i otklanjanje šuma	15
3.3 Resempliranje konture/normalizacija broja tačaka konture	15
3.4 Izdvajanje signature oblika	17
3.4.1 Centroid rastojanje	17
3.4.2 Kompleksne koordinate	18
3.4.3 Funkcija zakriviljenosti	18
3.5 Diskretna Fourierova transformacija i normalizacija Fourierovih koeficijenata	18
3.5.1 Normalizacija Fourierovih koeficijenata	19
3.5.1.1 Normalizacija Fourierovih koeficijenata signature kompleksne koordinate	19
3.5.1.2 Normalizacija Fourierovih koeficijenata signature radijalnog rastojanja	19
3.6 Poređenje Fourierovih deskriptora	20
3.7 Mjere sličnosti	20
3.8 Težinski koeficijenti (Weighting coefficients)	23
3.8.1 CSF - Funkcija osjetljivosti kontrasta	23
3.8.2 Rayleigh model	25
3.8.3 LogNormal model	25
3.9 Zaključak	27

4 Grafičko okruženje za pretraživanje slika na osnovu oblika	28
4.1 Uvod	28
4.2 Grafički prikaz aplikacije	28
4.3 Fizički prikaz aplikacije	28
4.4 Baze slika (Image database)	30
4.4.1 MPEG-7 Skup B	30
4.4.2 Swedish Leaf skup	31
4.4.3 ETH-80 skup	31
4.4.4 Kimia99 skup	31
4.5 Izbor upitne slike (Query Image)	33
4.6 Izbor deskriptora (Search by descriptor)	33
4.7 Broj koeficijenata (Number of coefficients)	33
4.8 Mjere sličnosti (Similarity measure)	33
4.9 Upustva za dodavanje novih parametara	34
4.9.1 Upustvo za dodavanje nove baze	34
4.9.2 Upustvo za dodavanje novog deskriptora	34
4.9.3 Upustvo za dodavanje nove mjere sličnosti	35
4.9.4 Upustvo za dodavanje novog težinskog koeficijenta	35
4.10 Analiza rezultata pretraživanja	35
4.10.1 Izračunavanje Bulls-Eye vrijednosti	35
4.10.2 Formiranje dijagrama preciznosti i odziva (PR diagram)	36
4.11 Zaključak	37
5 Prilog I	38
5.1 Primjeri korištenja aplikacije	38
5.2 Primjeri rezultata pretraživanja	40
Popis slika	42
Popis tabela	43
6 Literatura	44

POGLAVLJE 1

1 Uvod

Živimo u vremenu u kojem je skoro nemoguće zamisliti život bez multimedijalnih sadržaja. Slike i videozapisi su dio naše svakodnevnice, dok su videozapisi uglavnom više korišteni za zabavu i televizijske sadržaje, slike su postale zastupljene u skoro svim sferama života. Mogu se pronaći u raznim umjetničkim djelima i reklamama, u geografiji, medicini, arhitekturi, biologiji, historiji i u mnogim drugim oblastima.

S napretkom tehnologije, digitalni foto-aparati kao i mobiteli sa kamerom visoke rezolucije postali su dostupni skoro svima, pa je skoro svaka osoba postala proizvođač multimedijalnih sadržaja koji se mogu lako distribuirati i objavljivati putem interneta. Samim tim došlo je do naglog povećanja broja slika, koje se sve više spremaju u velike baze, kao što su Facebook i Google Images. Većina ovih primjena zahtjeva brzo i efikasno pronalaženje željenih slika unutar određenih baza, pa je pretraživanje slika na osnovu sadržaja postalo jedan od glavnih problema današnjice.

Prvobitno su se slike iz velikih baza tražile na osnovu teksta tzv. *Text-based image retrieval*. Prednost ovog pristupa je bila što se pomoću određene riječi vrlo lako pronalazila željena slika. S ubrzanim razvojem računara i tehnologije spremanje slika u baze uglavnom nije praćeno odgovarajućom tekstualnom notacijom, što predstavlja problem prilikom pretraživanja, a ručno opisivanje svake slike očigledno nije predstavljalo pogodno rješenje ovog problema. Također veliki nedostatak ovog pristupa je da rezultati pretraživanja uveliko zavise od sposobnosti korisnika da pravilno definiše upit.

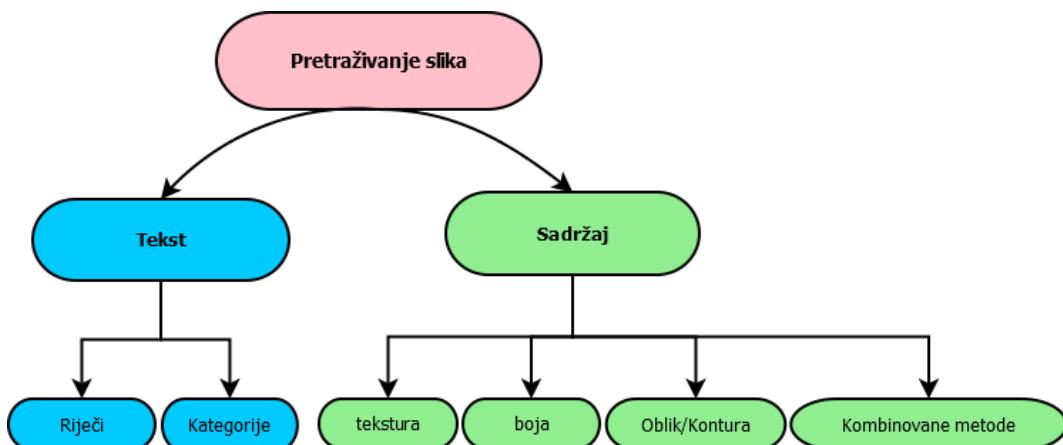
Kako ovaj pristup nije zadovoljavao potrebe korisnika, javila se ideja da se prethodno automatski definisu određene informacije o slici koje nazivamo indeksiranje (obilježavanje). Naime, ovo ne predstavlja lahak zadatak jer slike ne sadrže jednoznačno određene informacije. Da bi indeksiranje bilo moguće potrebno je razviti tehnikе (algoritme) koje vrše identifikaciju vizuelnih obilježja slika koje se jednim imenom nazivaju *Pretraživanje slika na osnovu sadržaja* ili *Content Based Image Retrieval - CBIR*. Pretraga se može vršiti na osnovu konture slike, boje, teksture ili kombinovane metode (Slika 1.1). Nakon indeksiranja slike formiraju se vektori obilježja koji predstavljaju numeričke reprezentacije vizuelnih obilježja, a pretraživanje se vrši tako što se računa rastojanje između vektora obilježja upitne slike (eng. *Query image*) i svih slika iz baze.

Digitalne slike su zapisane u obliku matrica pa se analiza i obrada slika svodi na različite matematičke operacije nad matricama. Pretraživanje treba da bude brzo i tačno, ali ova dva uslova u praksi su često protivrječna. Kako se upitna slika poredi sa ostalim slikama iz baze ovaj proces može biti dosta spor, naročito ako su baze jako velike. Tačnost rezultata pretrage zavisi od više faktora kao što su korišteni vektori obilježja, metrike udaljenosti i sl.

1.1 Ciljevi

Još od početka 90-tih godina prošlog stoljeća pretraživanje slika na osnovu sadržaja postaje jako zanimljivo područje istraživanja. Razvijale su se različite metode pretrage kako u komercijalne tako i u istraživačke svrhe. Na slici 1.1 prikazan je dijagram različitih načina za pretragu slika na osnovu sadržaja i teksta.

Pretraživanje slika na osnovu boje svodi se na pravljenje histograma boja, koji se konstruiše prebrojavanjem broja piksela svake boje i smještaju se u tačno određene kućice

*Slika 1.1: Različite metode za pretragu slika*

na histogramu koje se zovu binovi. Za svaku sliku se pravi histogram boje, a pronalaženje željene slike se svodi na upoređivanje histograma boja i pronalaska najsličnijeg onome koji je postavljen kao upit.

Tekstura na slici se odnosi na vizuelna obilježja koja mogu imati osobinu homogenosti. Za intuitivno opisivanje teksture koriste se pojmovi poput glatkoća, hraptavost, usmjerenost, periodičnost itd. Postoje dvije grupe deskriptora za pretragu slika na bazi tekture **deskriptori zasnovani na statistici**: Tamurini deskriptori, Woldova dekompozicija i drugi i **deskriptori zasnovani na transformacijama**: Fourierova transformacija, Gaborova transformacija, Wavelet transformacija i druge. Poredajući sa drugim deskriptorima tekture, Gaborov deskriptor se pokazao kao najprecizniji za pretragu slika.

Ipak, u ovom radu najveća pažnja bit će posvećena pretrazi slika na osnovu oblika/kontura i razvoju korisničkog interfejsa za pretragu slika baziranom na konturnim Fourierovim deskriptorima. Aplikacija će korisniku omogućavati:

- mogućnost pretraživanja slika na bazi konture/oblika,
- mogućnost dodavanja, formiranja i indeksiranja novih baza slika,
- mogućnost implementacije i integracije novih deskriptora,
- mogućnost dodavanja i izbora novih mjeri sličnosti,
- mogućnost izračunavanja performansi dohvata (dijagrami preciznosti i odziva, bullseye vrijednost, brzina dohvata itd.).

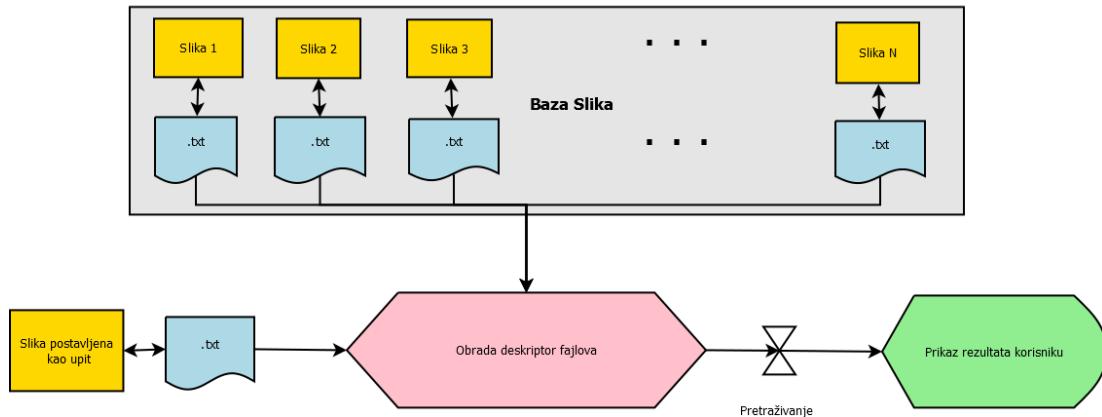
Za izradu aplikacije bit će korišten GUI (*Guide User Interface*) koji se pravi pomoću paketskog alata *guide* koji se nalazi u sklopu programa MATLAB R2012b. Cilj aplikacije je da što brže, efikasnije i preciznije prikaže rezultate pretrage uz prethodno odabrane parametre pretraživanja. Korisnik će također imati mogućnost pregleda Bulls-Eye dijagrama i vremena dohvata određenih performansi kao što je vrijeme sortiranja, vrijeme kreiranja deskriptor fajla i slično.

Pretraživanje slika je opisano sljedećom procedurom:

- korisnik bira *Query image*, sliku koja se postavlja kao upit. Paralelno sa prikazom slike pravi se deskriptor fajl u kome se nalaze svi bitni podaci o slici.
- korisnik bira parametre kao što su: baza slike, tip deskriptora, broj koeficijenata deskriptora, mjeru sličnosti i težišne koeficijente,

- odabrani deskriptor za sliku postavljenu kao upit se poredi sa deskriptorima iz željene baze pomoću izabrane mjere sličnosti,
- rezultati poređenja se sortiraju od najmanje distance (najsličnije slike) prema najvećoj distanci,
- rezultati se prikazuju korisniku.

Rad aplikacije je baziran na kreiranju deskriptor fajla za svaku sliku iz baze i sliku postavljenu kao upit. Pri obradi deskriptor fajlova vrši se iščitavanje relevantnih podataka za pretragu slike (Slika 1.2).



Slika 1.2: Princip rada aplikacije

1.2 Struktura završnog rada

Završni rad je podijeljen na 4 poglavlja i 1 prilog.

U **prvom** poglavlju predstavljena je osnovna tema rada, razvoj i mogućnosti korisničkog interfejsa za pretraživanje slika i osnovni algoritmi na bazi FD. Izloženi su ciljevi koje rad treba ispuniti.

U **drugom** poglavlju, obrađene su osnovne metode za pretraživanje slika na osnovu oblika/konture. Obrađene su najvažnije metode za razvoj aplikacije.

U **trećem** poglavlju data je detaljna procedura formiranja konturnih Fourierovih deskriptora. Objasnjene su mjere sličnosti korištene u aplikaciji i detaljno su razrađeni težinski koeficijenti koje korisnik ima mogućnost odabratи prilikom izbora opcija petraživanja.

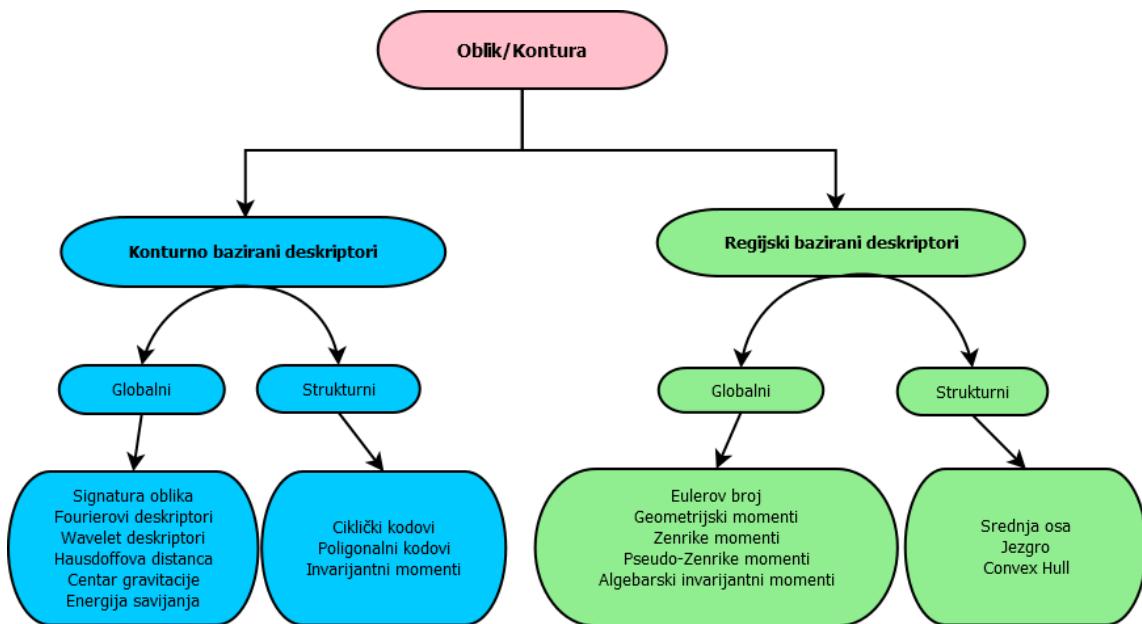
U **četvrtom** poglavlju prikazan je fizički i grafički izgled aplikacije i dat je kratak pregled korištenih baza i detaljna upustva za dodavanje nove baze, deskriptora, mjere sličnosti i težinskog koeficijenta. U ovom poglavlju se nalazi pregled analize rezultata pretraživanja. U **Prilogu I** dati su primjeri korištenja aplikacije.

POGLAVLJE 2

2 Pretraživanje slika na osnovu oblika

2.1 Uvod

U cilju da se dobiju što precizniji rezultati pretraživanja, posljednjih godina došlo je do razvijanja različitih tehniki, koristeći oblik/konturu na slici. Bitno je napomenuti da niti jedna od tehniki u potpunosti ne pokriva sve aspekte, što znači da ne postoji univerzalna tehnička koja bi davala idealne rezultate za sve vrste slika, već svaka od njih daje adekvatne rezultate za neku od vrsta slika. Drugim riječima, poređenje različitih deskriptora se svodi na poređenje krušaka i jabuka. U ovom poglavlju bit će predstavljene osnovne tehniki za pretraživanje slika na osnovu oblika zajedno sa svojim prednostima i nedostacima prikazane na slici 2.1.



Slika 2.1: Podjela Oblika/Konture

2.2 Konturno bazirani deskriptori

Za različite primjene često je dovoljno poznavati samo konturu slike, a ne i njenu unutrašnjost. Konturno bazirani deskriptori se formiraju isključivo na osnovu neprekidne (kontinualne) konture pa samim tim nemaju nikakvih informacija o unutrašnjosti objekta. U opštem slučaju postoje dva glavna pristupa ovim deskriptorima: *kontinualni pristup* (globalni pristup) i *diskretni pristup* (strukturni pristup). U okviru **kontinualnog pristupa** kontura se ne dijeli na manje segmente već se promatra kao cjelina. U **diskretnom pristupu**, vrši se segmentacija granica na dijelove tzv. *primitive*.

2.2.1 Globalne metode

U nastavku bit će obrađene neke od glavnih globalnih metoda.

2.2.1.1 Signature oblika

Signatura oblika je bilo koja jednodimenzionalna funkcija koja predstavlja dvodimenzionalnu konturu. Prilikom formiranja takve funkcije cilj je što jednostavnije i preciznije opisati 2D konturu i po mogućnosti je učiniti invarijantnom na translaciju, rotaciju, skaliranje i izbor početne tačke. Kako su signature oblika osjetljive na šum i izobličenja skoro se nikad ne primjenjuju samostalno, već se nad signaturom vrši neka od transformacija kao npr. Fourierova transformacija, kako bi se uklonili ovi nedostaci.

Postoje mnoge signature oblike kao što su: kompleksne koordinate, radijalno rastojanje, ugao tangente, površinska funkcija, reprezentacija trougaonim površinama, polarne koordinate, zakrivljenost, kumulativni ugao, ugaone radijalne koordinate, rastojanje od najudaljenije tačke i druge.

2.2.1.2 Konturni Momenti

Konturni momenti mogu biti korišteni s ciljem da se smanje dimenzije konture [14]. Pretpostavimo da je kontura predstavljena signaturom oblika $z(i)$, tada se r -ti moment i μ_r moment mogu se računati kao:

$$m_r = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [z(i)]^r \quad (2.1)$$

$$\mu_r = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [z(i) - m_1]^r, \quad (2.2)$$

gdje je N broj tačaka konture. Normirani momenti

$$\bar{m}_r = \frac{m_r}{\mu_2^{r/2}} \quad (2.3)$$

$$\bar{\mu}_r = \frac{\mu_r}{\mu_2^{r/2}} \quad (2.4)$$

su invrijantni na translaciju, rotaciju i skaliranje. Konturni momenti su laki za implementaciju, međutim za momente višeg reda teško je odrediti fizički smisao.

Najpoznatije tehnike za opisivanje oblika na bazi *momenata* su: Geometrijski invarijantni momenti, Čebiševljevi momenti, Pseudo-Zernike momenti, Zernike momenti i drugi.

2.2.1.3 Spektralne tehnike

Spektralne tehnike podrazumijevaju da se kontura objekta transformiše u spektralni domen, čime se prevazilaze problemi osjetljivosti na šum i izobličenja.

Najznačajnije spektralne tehnike su Fourierovi deskriptori i Wavelet deskriptori.

Fourieovi deskriptori je tehnika koja se pojavila u drugoj polovini prošlog stoljeća, ali se još uvijek koristi. Ove deskriptore krase osobine poput jednostavnosti, intuitivnosti, otpornosti na šum, kompaktnost i mnoge druge. Konturni Fourierovi deskriptori se baziraju na upotrebi Fourierove transformacije nad signaturom oblika i invarijantni su na translaciju, rotaciju, skaliranje i izbor početne tačke. Performanse FD uveliko zavise od korištene signature.

Prednosti FD u odnosu na druge su:

- jednostavni za računanje,

- svaki deskriptor ima fizikalno značenje,
- jednostavna normalizacija, a time i poređenje oblika,
- invarijantni na translaciju, rotaciju, skaliranje i izbor početne tačke.

Pored navedenih osobina za predstavljanje oblika pomoću Fourierovih deskriptora dovoljno je koristiti 20 komponenata za razliku od drugih deskriptora koji koriste i do 60 komponenta, čime je znatno skraćeno vrijeme pretrage. Međutim FD imaju i mane, a njihov najveći nedostatak jeste nemogućnost lokalizacije lokalnih značajki [8].

2.2.2 Strukturalne metode

Strukturalne (diskretne) metode se baziraju na segmentaciji granica na dijelove tzv. *primitive*. Razlika među strukturnim metodama je u načinu odabira primitiva. Uobičajene strukturalne metode se temelje na poligonalnim aproksimacijama, razlaganju na glatke krive, lančanim kodovima, distribuciji tetiva i dr.

Rezultat razlaganja predstavljen je pomoću stringa u obliku (2.5) gdje s_i može biti element lančanog koda, granica krive, luk itd.

$$S = s_1, s_2, \dots, s_n \quad (2.5)$$

s_i također može imati informacije o dužini, maksimalnoj zakrivljenosti, srednjoj zakrivljenosti i dr. String može biti direktno upotrijebljen kao deskriptor ili polazna tačka za izvođenje složenijih deskriptora.

2.2.2.1 Lančani kodovi

Lančani kodovi predstavljaju objekat formiran nizom jediničnih segmenata sa određenom orijentacijom. Temelje lančanih kodova uveo je Freeman 1961. godine uvodeći metodu koja je dozvoljavala kodiranje proizvoljne geometrijske krive. U ovom pristupu proizvoljne krive su predstavljene sekvencom jediničnih vektora sa ograničenim brojem pravaca. Iz izabrane početne tačke lančani kod može biti ostvariv pomoću 4 pravaca, 8 pravaca ili sa N pravaca ($N > 8$ i $N = 2^k$), koji se u tom slučaju naziva Opšti lančani kod. Bitno je napomenuti da lančani kodovi moraju biti neovisni od izbora prvog piksela granice koju sačinjava lanac, što se postiže različitim tehnikama. Ova metoda je zbog svoje osjetljivosti na šumove često korištena kao početna tačka za složenije analize kao npr. može biti korištena u poligonalnoj aproksimaciji ili za traženje konture objekta.

2.3 Regijski bazirani deskriptori

Regijski bazirani deskriptori, za razliku od konturnih, uzimaju u obzir i područje unutar zatvorene konture. Najpoznatije tehnike regijski baziranih deskriptora su: srednja osa, konveksni trupovi, jezgro, generički Fourierov deskriptor i druge.

2.3.1 Globalne metode

U globalnim metodama slika se tretira kao cjelina, kao rezultat se dobiva numerički vektor koji služi za poređenje slika.

2.3.1.1 Geometrijski invarijantni momenti

Momenti se definišu kao nelinearni invarijantni funkcionali čije su komponente razne projekcije funkcije na prostor polinoma. Dakle moment m_{pq} slike $f(x, y)$ je dat sa:

$$m_{pq} = \iint_D P_{pq}(x, y) f(x, y) dx dy. \quad (2.6)$$

Hu je u svom radu 1962. godine prvi put koristio geometrijske invarijantne momente. Njegov pristup baziran je na radovima matematičara Boole, Cayley i Sylvester iz 19-tog stoljeća. Jednačina za geometrijske momente se dobije u slučaju kada se u (2.6) za polinomnu bazu iskoristi standardni red potencija

$$m_{pq} = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} x^p y^q f(x, y) dx dy, \quad (2.7)$$

gdje je $f(x, y)$ po dijelovima neprekidna funkcija slike. Za praktične primjene upotrebljava se diskretni oblik prethodne relacije:

$$m_{pq} = \sum_{x=0} \sum_{y=0} x^p y^q f(x, y), \quad (2.8)$$

gdje je $p, q = \{1, 2, \dots, N\}$. Pomoću momenata nižeg reda dobiveni su momenti koji su invarijantni na translaciju, rotaciju i skaliranje.

2.3.1.2 Ortogonalni momenti

Formula (2.7) može biti napisana u općoj formi zamjenom $x^p y^q$ sa $P_p(x)P_q(y)$. Ova ideja je poslužila za uvođenje ortogonalnih momenata - Legendre i Zernike momenti. Izraze za ove momente dobijemo zamjenom $x^p y^q$ u relaciji (2.8).

Legendreovi momenti uvedeni su kako bi se zaobišli problemi redundantnosti sadržane informacije i otežane rekonstrukcije ulaznog signala koji se javljuju zbog nezadovoljstvenog uvjeta ortogonalnosti geometrijskih momenata [10]:

$$L_{pq} = \frac{(2p+1)(2q+1)}{4} \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 P_p(x) P_q(y) f(x, y) dx dy, \quad (2.9)$$

gdje je:

$$P_p(x) = \frac{1}{2^p p!} \left(\frac{d}{dx} \right)^p (x^2 - 1)^p. \quad (2.10)$$

Dvostruki integral je moguće zamijeniti dvostrukom sumom:

$$L_{pq} = \frac{(2p+1)(2q+1)}{4} \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^M P_p(x_i) P_q(y_j) f(x_i, y_j). \quad (2.11)$$

Zernike momenti čine jednu kompletnu ortogonalnu bazu unutar jediničnog kruga $x^2 + y^2 = 1$. Zernikeova funkcija reda $p+q$ u polarnim koordinatama definisana je sljedećom relacijom:

$$Z_{pq}(r, \theta) = R_{pq}(r) e^{iq\theta}, \quad (2.12)$$

gdje je $R_{pq}(r)$ dato relacijom:

$$R_{pq}(r) = \sum_{k=0}^{(p-|q|)/2} \frac{(-1)^k (p-k)!}{k! (\frac{p+|q|}{2} - k)! (\frac{p-|q|}{2} - k)!} r^{p-2k}. \quad (2.13)$$

Za razliku od Legendreovih momentata Zernike momente su se pokazali znatno boljim po sposobnosti rekonstrukcije slike i niske osjetljivosti na šum.

2.3.1.3 Generički Fourierovi deskriptori

Generički Fourierovi deskriptori (GFD) spadaju u grupu regijskih baziranih deskriptora za prepoznavanje oblika. U određenim situacijama nije moguće izvršiti ekstrakciju neprekidne konture, u tom slučaju rješenje predstavlja GFD jer on ne zahtijeva postojanje neprekidne konture.

Formira se tako što se od 2D oblika napravi polarna slika sa centrom u centroidu slike, potom da bi se ostvarila invarijantnost na rotaciju ovakva se slika preslikava u rektangularnu formu (Slika 2.2.). Polarne koordinate (r, θ) dobivaju se iz Cartesian-ovih koordinata (x, y) :

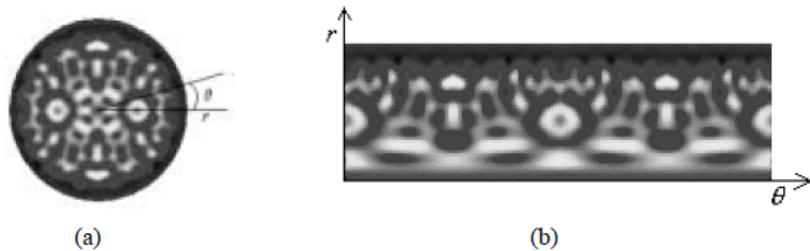
$$r = \sqrt{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2} \quad \text{i} \quad \theta = \arctan\left(\frac{y - y_c}{x - x_c}\right) \quad (2.14)$$

gdje (x_c, y_c) predstavlja težište Cartesian-ove slike.

Nad ovakvom slikom primjenjuje se 2D Fourierova transformacija data formulom:

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi(ux/M + vy/N)}. \quad (2.15)$$

Dobiveni koeficijenti se normalizuju sa tzv. masom oblika, odnosno površinom kruga (eng. *Area of circle*), što je analogno normalizaciji sa amplitudom koeficijenta nultog i prvog harmonika kod konurno baziranih Fourierovih deskriptora. Poređenje vektora obilježja se vrši nekom od mjera udaljenosti, najčešće je to Euklidovo rastojanje.



Slika 2.2: Slika (a) je polarna slika, slika (b) polarna slika predstavljena u Cartesian-ovom sistemu¹

Glavni nedostatak GFD je što se slika posmatra korištenjem radijalnih rastojanja, sarmim tim za izdužene oblike ovo nije pogodna metoda.

2.3.2 Strukturalne metode

Kao i kod konturnih metoda strukturalne metode segmentiraju sliku na dijelove tzv. *primitive*. Najpoznatije regionalne strukturalne metode su: srednje osa, jezgro, konveksni trup, medijalna osa, i druge.

2.4 Zaključak

Analiza i interpretacija slike ključni je problem u mnogim područjima primjene. Budući da su i uvjeti i sam sistem snimanja nesavršeni, dobivena slika nije idealan dvodimenziunalan prikaz originalne trodimenzionalne scene. Izvlačenje korisne informacije iz slike cilj

¹Slika preuzeta iz [14]

je primjene mnogobrojnih metoda raspoznavanja uzoraka i oblika. U ovom poglavlju su predstavljene neke od metoda za adekvatne rezultate pretrage. Zavisno od slike i situacije na korisniku je da odluči koju metodu će izabrati. Međutim, može se primijetiti da su konturno bazirani deskriptori više popularni u odnosu na regijske bazirane deskriptore. Razlog leži u percepciji ljudskog oka, jer ljudi najprije raspoznaju oblik na osnovu njihove konture, a zatim slijedi percepcija i ostalih detalja (unutrašnjost konture, tekstura, boja itd.).

Pri analizi globalnih i strukturalnih metoda, može se zaključiti da strukturalne metode zahtijevaju složeniji postupak, ali u situacijama kada nisu poznati cijeloviti podaci o slici strukturalne metode predstavljaju jedino rješenje.

U narednom poglavlju bit će predstavljena procedura poređenja dva oblika pomoću konturnih Fourierovih deskriptora.

POGLAVLJE 3

3 Procedura formiranja konturnih Fourierovih deskriptora

3.1 Uvod

Iako su GFD našli veliku primjenu u slikama sa nejasno izraženom konturom, pretraživanje slika u aplikaciji se vrši na bazi konturnih Fourierovih deskriptora. Na slici 3.1 je prikazana procedura poređenja dva oblika, stoga će u nastavku biti detaljnije objašnjen ovaj postupak.

3.2 Izdvajanje konture i otklanjanje šuma

Prvi korak pri formiraju konturnih FD jeste ekstrakcija konture i otklanjanje šuma. Osnovne metode za ekstrakciju konture su: *metoda praga, konturno bazirane metode i regijski bazirane metode*.

S obzirom na slike u korištenim bazama ekstraktovane konture su već date ili je njihova ekstrakcija trivijalna (crno-bijele slike sa jasno izraženim ivicama), u okviru razvoja aplikacije za ekstrakciju konture korištene su gotove funkcije u programskom paketu MATLAB.

Važnu ulogu pri analizi slike predstavlja otklanjanje šuma, koji nastaje uslijed neadekvatne akvizicije slike, grešaka pri ekstrakciji itd. Šum se može opisati kao varijacija svjetlosti ili boje na slici. Najviše pažnje bit će posvećeno šumu koji utiče na analitičko opisivanje oblika u fazi predprocesiranja slike.

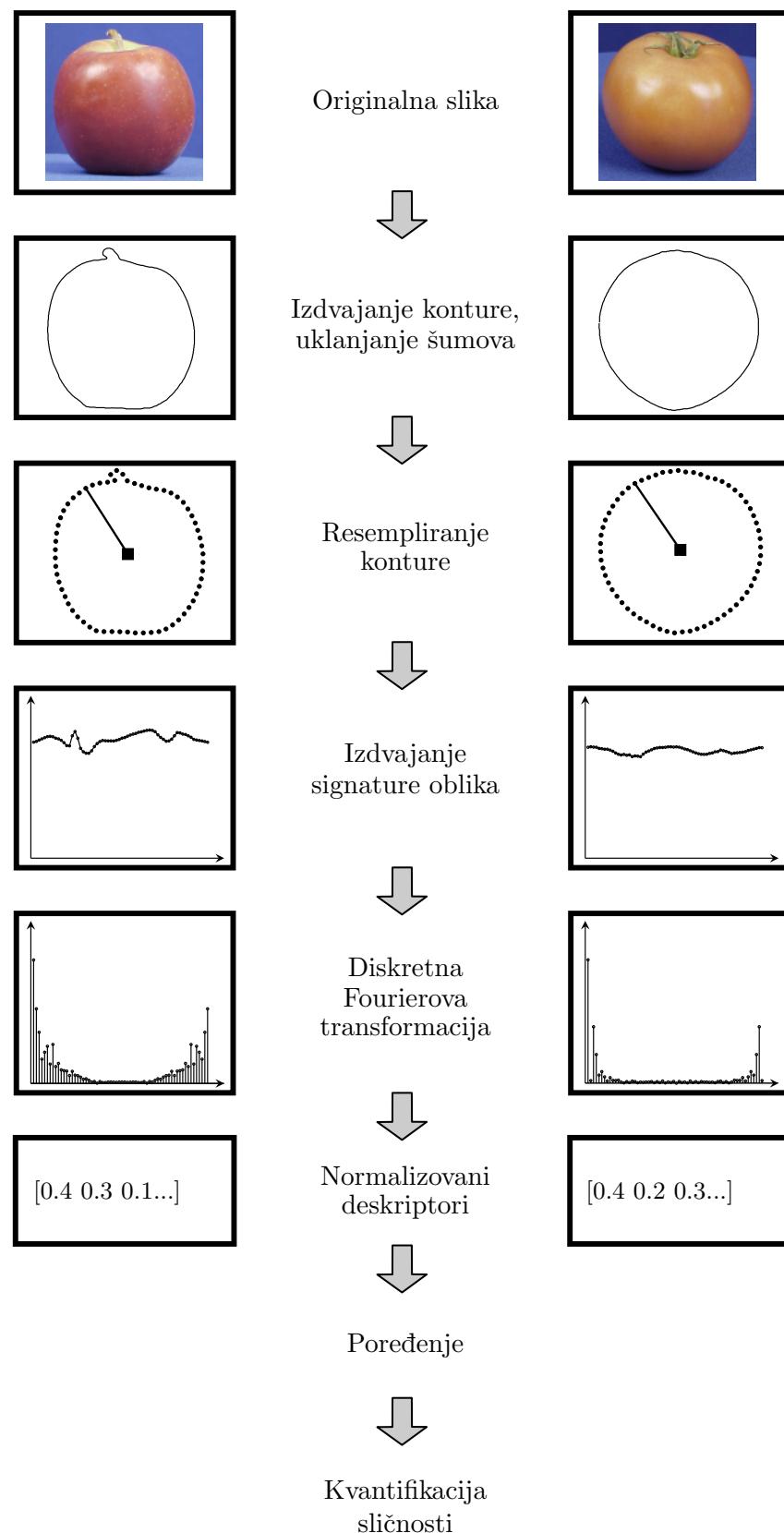
3.3 Resempliranje konture/normalizacija broja tačaka konture

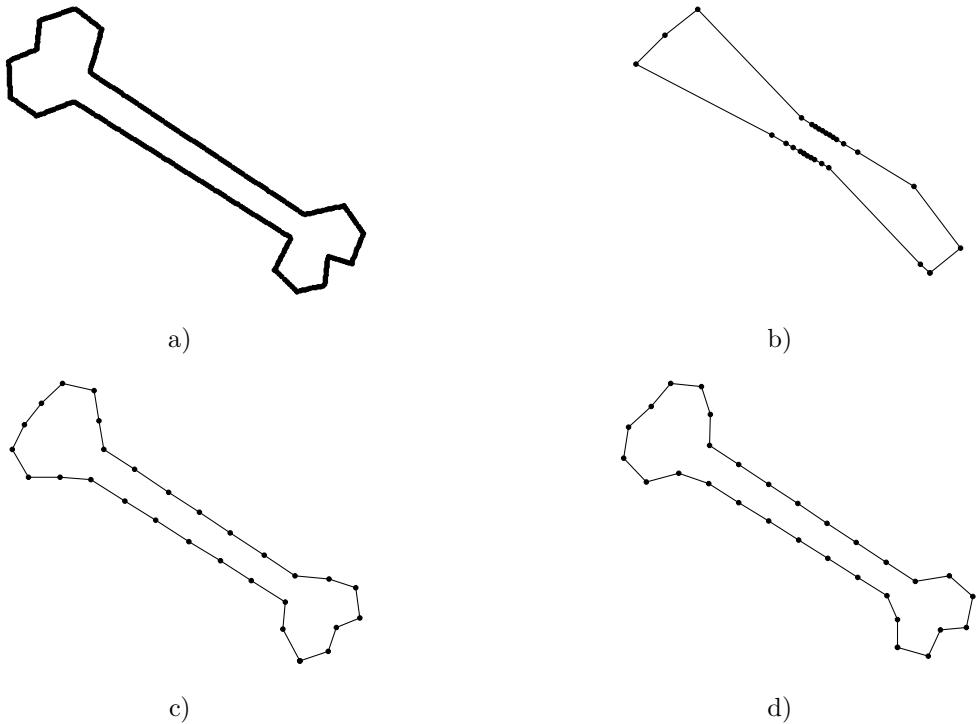
Broj tačaka konture zavisi od složenosti oblika, veličine i rezolucije slike, tako da je potrebno odabrat optimalan broj tačaka N. Što odaberemo više tačaka to imamo više informacija o slici i rezultati pretraživanja su tačniji, dok sa manjim brojem tačaka gubimo određene informacije, a dobivamo na računarskoj efikasnosti.

Postoje tri metode za normalizaciju konture [13]:

- *Metoda jednakog broja tačaka* - uzima se svaka $\lfloor K/N \rfloor$ -ta tačka na konturi (gdje je K broj tačaka),
- *Metod jednakog ugla* - uzimaju se tačke na konturi koji su $2\pi/N$ radijana razmaknute na konturi u odnosu na centroid, kao početak,
- *Metod jednakog luka* - uzimaju se tačke na razmaku P/N (P-obim konture).

Bitno je napomenuti da ne postoji idealan metod koji bi za sve oblike davao najbolje rezultate, već svaki od njih se koristi za različite oblike. Na slici 3.2 prvi i drugi metod daju slične rezultate, dok metod jednakog luka daje najbolje rezultate za ovaj primjer. Obično se za prikaz konture uzima 128 ili 256 tačaka jer taj izbor osigurava dovoljnu količinu informacija o slici i predstavlja stepen broja 2 što omogućava lakše i brže računanje brze Fourierove transformacije.

*Slika 3.1: Proces poređenja dva oblika.²*



Slika 3.2: Oblik predstavljen sa: a) 360 tačaka b) 30 tačaka metodom jednakog ugla c) 30 tačaka metodom jednakog broja tačaka d) 30 tačaka metodom jednakog luka.³

3.4 Izdvajanje signature oblika

Sljedeći korak u procesu formiranja konturnih deskriptora jeste izdvajanje signature oblika. Zavisno koja je signature oblika primijenjena dobit će se različiti rezultati pretrage. Kao što je spomenuto u sekciji 2.2.1.1 postoji mnogo vrsta signature dok će u ovom poglavlju posebna pažnja biti posvećena signaturema: centroid rastojanju/radijalnom rastojanju, kompleksnim koordinatama i funkciji zakrivljenosti.

3.4.1 Centroid rastojanje

Centroid rastojanje predstavlja funkciju kojom je izražena udaljenost koordinata konture od težišta oblika (x_c, y_c) . Pretpostavimo da su koordinate konture date sa (x_n, y_n) , a težište oblika sa:

$$x_c = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_n \quad \text{i} \quad y_c = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} y_n \quad (3.1)$$

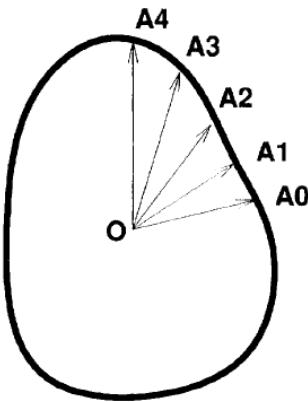
Na slici 3.3 se vidi da centroid rastojanje predstavlja udaljenost svake koordinate tačke $(A_0, A_1, A_2, A_3, A_4\dots)$ od njegovog težišta O što je predstavljeno sljedećom formulom:

$$RD_n = \sqrt{(x_n - x_c)^2 + (y_n - y_c)^2} \quad n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (3.2)$$

Očigledno je da je ova signature invariantna na translaciju jer pomjeranje oblika se svodi na pomjeranje centroma, pa funkcija radijalnog rastojanja ostaje nepromjenjena.

²Slika preuzeta iz [8]

³Slika preuzeta iz [8]



Slika 3.3: Signatura centroid rastojanje - predstavlja udaljenost svake koordinate tačke oblika ($A_0, A_1, A_2, A_3, A_4\dots$) od njegovog težišta O .⁴

3.4.2 Kompleksne koordinate

Kompleksne koordinate predstavljaju koordinate tačaka konture u formi kompleksnih brojeva pri čemu se radi postizanja invarijantnosti na translaciju težište oblika posmatra kao koordinatni početak.

$$Z_n = [x_n - x_c] + j[y_n - y_c], \quad (3.3)$$

gdje (x_n, y_n) predstavljaju koordinate konture, a (x_c, y_c) je težište oblika dano relacijom (3.1)

3.4.3 Funkcija zakrivljenosti

Konturu možemo predstaviti i pomoću uglova koje gradi tangenta sa konturom. Funkcija zakrivljenosti predstavlja drugi izvod konture i prvi izvod tangente konture. Definisana je kao diferenciranje sukcesivnih uglova tangente konture u odnosu na horizontalnu osu izračunatih u prozoru širine w :

$$k(t) = \frac{d\theta}{dt}, \quad (3.4)$$

pri čemu je:

$$\theta = \arctan \frac{y(t) - y(t-w)}{x(t) - x(t-w)}. \quad (3.5)$$

Za mnoge digitalne krive, a naročito za poligonalne krive, $\theta(t)$ je step funkcija pa $k(t)$ skoro svugdje ima vrijednost nula, dok je beskonačna u diskretnim skokovima, što je čini pogodnom samo za primjenu na ravnijim (glatkim) konturama.

3.5 Diskretna Fourierova transformacija i normalizacija Fourierovih koeficijenata

Nad izdvojenom signaturom oblika Z_n se izračunava diskretna Fourierova transformacija, a zatim se vrši normalizacija Fourierovih koeficijenata.

⁴Slika preuzeta iz [6]

Diskretna Fourierova transformacija se računa prema formuli:

$$a_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} Z_k e^{-j2\pi nk/N}. \quad (3.6)$$

Prednosti **diskretne Fourierove transformacije**:

- olakšava normalizaciju signature oblika na translaciju, rotaciju, skaliranje i izbor početne tačke,
- otklanjanje šuma se jednostavno postiže isključivanjem viših harmonika,
- sadrži inherentnu hijerarhijsku strukturu, pri čemu niži harmonici opisuju grubu sliku a viši detalje i eventualno šum,
- omogućava ekstrakciju izuzetno kompaktnih deskriptora (dovoljno je 20tak koeficijenata za kvalitetno opisivanje oblika).

3.5.1 Normalizacija Fourierovih koeficijenata

Normalizacijom FD postižemo njihovu invarijantnost na translaciju, rotaciju, izbor početne tačke i skaliranje. Treba naglasiti da normalizacija FD uveliko zavisi od korištene signature oblika iz koje su dobiveni FD.

3.5.1.1 Normalizacija Fourierovih koeficijenata signature kompleksne koordinate

Iz formule (3.3) očigledno je da su kompleksne koordinate **invarijantne na translaciju**. **Invarijantnost na rotaciju i izbor početne tačke** se postiže odbacivanjem faznog dijela Fourierovih koeficijenata a_n i zadržavanjem samo amplitude $|a_n|$.

Invarijantnost na skaliranje se dobiva normalizacijom svih koeficijenata sa amplitudom prvog harmonika a_1 jer će promjena skale utjecati na sve koeficijente osim na a_0 koji je jednak nuli.

Kako spektar nije parna funkcija ne smije se zanemariti druga polovina koeficijenata. Fourierovi deskriptori formirani korištenjem signature kompleksnih koordinata su dati izrazom:

$$F = \left\{ \left| \frac{a_2}{a_1} \right|, \left| \frac{a_3}{a_1} \right|, \dots, \left| \frac{a_{N-1}}{a_1} \right| \right\}. \quad (3.7)$$

3.5.1.2 Normalizacija Fourierovih koeficijenata signature radijalnog rastojanja

Signature radijalnog rastojanja je **invarijantna na translaciju i rotaciju**, jer rotiranjem i transliranjem oblika rotira se i translira njen težište pa u konačnici funkcija radijalnog rastojanja ostaje nepromijenjena.

Invarijantnost na izbor početne tačke se najjednostavnije postiže odbacivanjem faznog dijela Fourierovih koeficijenata a_n i korištenjem samo amplitude $|a_n|$.

Invarijantnost na skaliranje se najlakše postiže dijeljenjem svih koeficijenata sa amplitudom nultog (a_0).

Kako je spektar parna funkcija dovoljno je posmatrati samo prvu polovinu koeficijenata

a_n . Fourierovi deskriptori korištenjem signature radijalnog rastojanja su dati izrazom:

$$F = \left\{ \left| \frac{a_1}{a_0} \right|, \left| \frac{a_2}{a_0} \right|, \dots, \left| \frac{a_{N/2}}{a_0} \right| \right\}. \quad (3.8)$$

U praktičnim primjenama za kvalitetan opis slike dovoljno je koristiti oko 20 tak koeficijenata, pa se tipičan broj koeficijenata M kreće od 10 do 40 [16]. Korištenjem manjeg broja koeficijenata M se postiže manja osjetljivost na šum, kompaktniji deskriptor i brže poređenje, ali se gube značajne informacije o slici.

Najčešći oblik Fourierovog deskriptora za signaturu radijalnog rastojanja je dat sa:

$$F = \left\{ \left| \frac{a_1}{a_0} \right|, \left| \frac{a_2}{a_0} \right|, \dots, \left| \frac{a_M}{a_0} \right| \right\}. \quad (3.9)$$

gdje je M željeni broj koeficijenata.

3.6 Poređenje Fourierovih deskriptora

Na osnovu dobijenih reprezentacija slika potrebno je ocijeniti njihovu sličnost. Obično se u prostoru obilježja bira neka metrika ili pseudo-metrika koja odražava sličnost slika. Poređenje oblika prema sličnosti se svodi na poređenje njihovih odgovarajućih deskriptora, time što je manja udaljenost među deskriptorima slike su sličnije.

3.7 Mjere sličnosti

Izbor odgovarajućeg rastojanja je većinom stvar korisnika i cilj je izabrati ono koje daje najbolje performanse, odnosno za koje se ostvaruje najpovoljniji rezultat poređenja.

Mjere udaljenosti koje zadovoljavaju uslove metrike se nazivaju *metrika*, mjere udaljenosti koje ne zadovoljavaju se nazivaju *divergencije*. Za potrebe pronalaženja slike ne moraju biti nužno zadovoljeni uslovi metrike. Jasno je da su preduvjeti za ispravno sortiranje oblika prema sličnosti ispunjenost uslova metrike, međutim da bi se pronašao najsličniji oblik u bazi taj uslov nije obavezan. Naročito je to izraženo kod strukturalnih metoda, gdje se oblici porede u formi segmenata.

Neka su data dva oblika sa odgovarajućim Fourierovim deskriptorima:

$$F^I = \{f_1^I, f_2^I, \dots, f_M^I\}, \quad (3.10)$$

$$F^{II} = \{f_1^{II}, f_2^{II}, \dots, f_M^{II}\}, \quad (3.11)$$

gdje je M broj željenih koeficijenata u spektru.

Minkowski rastojanje se definiše kao:

$$D(F^I, F^{II}) = \sqrt[p]{\sum_{i=1}^M |f_i^I - f_i^{II}|^p}. \quad (3.12)$$

Za $p = 1$ dobivamo *City-block* rastojanje

$$D(F^I, F^{II}) = \sum_{i=1}^M |f_i^I - f_i^{II}|. \quad (3.13)$$

Kada je $p = 2$ dobivamo Euklidsko rastojanje dano formulom:

$$D(F^I, F^{II}) = \sqrt{\sum_{i=1}^M |f_i^I - f_i^{II}|^2}. \quad (3.14)$$

Za $p \rightarrow \infty$ slijedi Čebiševljevo rastojanje:

$$D(F^I, F^{II}) = \max_i |f_i^I - f_i^{II}|. \quad (3.15)$$

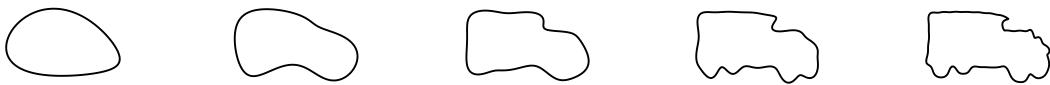
Postoji mnogo vrsta mjera sličnosti, a najpopularnije su prikazane u tabeli 1. Ipak najveću popularnost uživaju *City - block*, χ^2 i *Euklidovo* rastojanja. U radu [15] je pokazano da se najbolje performanse postižu korištenjem *City - block* i χ^2 . Jasno je da su vremena izračunavanja svih mjera sličnosti u tabeli 1 zanemarivo male u odnosu na ostale operacije u aplikaciji, pa se bira mjeru sličnosti koja ostvaruje najbolje rezultate pri pretraživanju na osnovu oblika.

R.br.	Naziv	Izraz
1	Minkowski L_p	$D(\mathbf{F}^I, \mathbf{F}^{II}) = \sqrt[p]{\sum_{i=1}^M f_i^I - f_i^{II} ^p}$
2	City-block L_1	$D(\mathbf{F}^I, \mathbf{F}^{II}) = \sum_{i=1}^M f_i^I - f_i^{II} $
3	Euklid L_2	$D(\mathbf{F}^I, \mathbf{F}^{II}) = \sqrt{\sum_{i=1}^M f_i^I - f_i^{II} ^2}$
4	Čebišev L_∞	$D(\mathbf{F}^I, \mathbf{F}^{II}) = \max_i f_i^I - f_i^{II} $
5	Sorensen - Bray Curtis	$D(\mathbf{F}^I, \mathbf{F}^{II}) = \frac{\sum_{i=1}^M f_i^I - f_i^{II} }{\sum_{i=1}^M (f_i^I + f_i^{II})}$
6	Soergel	$D(\mathbf{F}^I, \mathbf{F}^{II}) = \frac{\sum_{i=1}^M f_i^I - f_i^{II} }{\sum_{i=1}^M \max(f_i^I, f_i^{II})}$
7	Canberra	$D(\mathbf{F}^I, \mathbf{F}^{II}) = \sum_{i=1}^M \frac{ f_i^I - f_i^{II} }{f_i^I + f_i^{II}}$
8	Lorentzian	$D(\mathbf{F}^I, \mathbf{F}^{II}) = \sum_{i=1}^M \ln(1 + f_i^I - f_i^{II})$
9	Kulcinski	$D(\mathbf{F}^I, \mathbf{F}^{II}) = \frac{\sum_{i=1}^M \min(f_i^I, f_i^{II})}{\sum_{i=1}^M f_i^I - f_i^{II} }$
10	Ruzicka	$D(\mathbf{F}^I, \mathbf{F}^{II}) = \frac{\sum_{i=1}^M \min(f_i^I, f_i^{II})}{\sum_{i=1}^M \max(f_i^I, f_i^{II})}$
11	Harmonijska sredina	$D(\mathbf{F}^I, \mathbf{F}^{II}) = \left(2 \sum_{i=1}^M \frac{f_i^I \cdot f_i^{II}}{f_i^I + f_i^{II}} \right)^{-1}$
12	Unutrašnji proizvod	$D(\mathbf{F}^I, \mathbf{F}^{II}) = \left(\sum_{i=1}^M f_i^I \cdot f_i^{II} \right)^{-1}$
13	Kosinusna	$D(\mathbf{F}^I, \mathbf{F}^{II}) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^M f_i^I \cdot f_i^{II}}{\sqrt{\sum_{i=1}^M (f_i^I)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^M (f_i^{II})^2}}$
14	χ^2	$D(\mathbf{F}^I, \mathbf{F}^{II}) = \sum_{i=1}^M \frac{(f_i^I - f_i^{II})^2}{f_i^I + f_i^{II}}$
15	Kvadrirani korijeni	$D(\mathbf{F}^I, \mathbf{F}^{II}) = \sum_{i=1}^M \sqrt{f_i^I} - \sqrt{f_i^{II}} ^2$
16	Divergencija	$D(\mathbf{F}^I, \mathbf{F}^{II}) = 2 \sum_{i=1}^M \frac{(f_i^I - f_i^{II})^2}{(f_i^I + f_i^{II})^2}$
17	Clark	$D(\mathbf{F}^I, \mathbf{F}^{II}) = \sqrt{\sum_{i=1}^M \left(\frac{ f_i^I - f_i^{II} }{f_i^I + f_i^{II}} \right)^2}$
18	Kullback-Leibler	$D(\mathbf{F}^I, \mathbf{F}^{II}) = \sum_{i=1}^M f_i^I \ln \frac{f_i^I}{f_i^{II}}$
19	Jeffrey	$D(\mathbf{F}^I, \mathbf{F}^{II}) = \sum_{i=1}^M (f_i^I - f_i^{II}) \ln \frac{f_i^I}{f_i^{II}}$

Tabela 1: Pregled mjera sličnosti

3.8 Težinski koeficijenti (Weighting coefficients)

U prethodnim poglavljima za analizu i obradu slika su iskorištena najvažnija tri parametra harmonijskih funkcija: amplituda, frekvencija i faza. Stoga je prirodno pokušati iskoristiti i informacije sadržane u frekvencijskoj raspodjeli amplitude Fourierovih koeficijenata. Očigledno je da niže frekvencijske komponente sadrže samo osnovne informacije o obliku i služe za grubu diskriminaciju, dok više frekvencijske komponente definiraju i opisuju detalje. Ovo je prikazano na slici 3.4. Međutim za adekvatan opis slike potrebno je koristiti i visoke i niske komponente. Pri ovoj konstataciji se mora paziti da se odabere optimalan broj komponenata. Sa prevelikim brojem visokih frekvencijskih komponenata računar može nepotrebno trošiti vrijeme na obradu detalja koji nisu prijeko potrebni za opis slike. Dok sa nedovoljnim brojem niskih komponenata se mogu izgubiti značajne informacije o slici i samim tim neće biti moguće kvalitetno rekonstruirati sliku.



Slika 3.4: Evolucija oblika pri rekonstrukciji sa $M = 4, M = 8, M = 16, M = 32, M = 64$ Fourierova koeficijenta. Energije oblika su 0.6899, 0.8047, 0.8707, 0.9313, 0.9655 respektivno

Neka je energija oblika definirana sa:

$$E_M = \sum_{i=1}^N |f_i|, \quad (3.16)$$

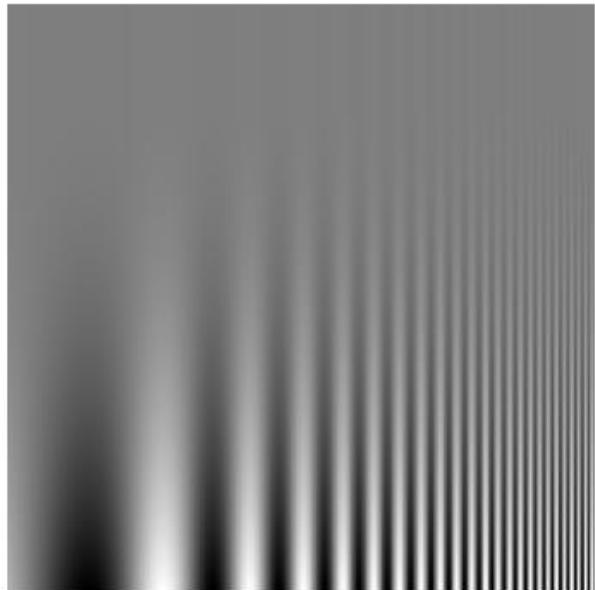
pri čemu, f_i predstavljaju Fourierove koeficijente.

Polazeći od činjenice da niži harmonici imaju višu amplitudu, a samim tim imaju i više energije može se pretpostaviti da nose i više informacija potrebne za adekvatan opis oblika. Međutim analizom slike 3.4 pri rekonstrukciji oblika sa četiri Fourierova koeficijenta ($M = 4$), može se primjetiti da nije moguće adekvatno identificirati polazni oblik, iako on sadrži skoro 70% energije polaznog oblika. Stoga, harmonici sa većom amplitudom ne moraju nužno biti važniji za opis oblika. Kako bi se naglasak stavio na one frekvencijske komponente koje su od većeg značaja za deskripciju oblika u radu [8] korištene su težinske funkcije nad Fourierovim deskriptorima.

3.8.1 CSF - Funkcija osjetljivosti kontrasta

Ljudsko oko ima važnu ulogu u našem životu, pored toga što pomoću njega opažamo razne objekte, omogućava nam da čitamo, gledamo slike, filmove i radimo svakodnevne aktivnosti. Naime, ljudski vizualni sistem također vrši pretragu, prepoznavanje i analizu oblika, što može utjecati na ocjenu rezultata pretrage. Jedan od načina na koji vizualni sistem opaža objekte jeste pomoću kontrasta. Objekti sa malim nivoom kontrasta u odnosu na njihovu pozadinu su teško prepoznatljivi. Stoga se definira *prag kontrasta*, ispod kojeg oko ne raspozna promjenu kontrasta. Suprotno od praga kontrasta se definira *osjetljivost kontrasta* [1]. Poznato je da je osjetljivost kontrasta vizualnog sistema zavisna od prostorne frekvencije, a veza između osjetljivosti kontrasta i frekvencije se naziva *funkcija osjetljivosti kontrasta* (eng. *Contrast sensitivity function* - CSF). Drugim riječima CSF vrši modulaciju praga kontrasta pomoću koje se sve frekvencije normalizuju na istu vrijednost praga kontrasta.

Visoke frekvencije odgovaraju brzim promjenama u intenzitetu piksela, uglavnom sadrže puno šuma i imaju oštре rubove. Većina "prirodnih" slika ima karakteristike koje se mijenjaju relativno sporo, pa je većina informacije sadržana u srednjim i nižim frekvencijama. Na slici 3.5 se može primjetiti da su linije najbolje vidljive u dnu slike, gdje je kontrast najviši, a najmanje vidljive na vrhu slike gdje je kontrast najmanji. Iz slike se potvrđuje činjenica da je ljudsko oko najsjetljivije na srednje frekvencije pa je prirodno očekivati da će računarski sistem za pretraživanje oblika dati bolje rezultate (ili bar rezultate koje su više u duhu ljudske percepcije) pri korištenju City-Block rastojanja ako se da prednost srednjim frekvencijama.



Slika 3.5: Ilustracija funkcije osjetljivosti kontrasta - CSF

CSF se računa prema formuli [1]:

$$csf(f) = a \cdot f \cdot e^{-bf} \sqrt{1 + ce^{bf}} \quad (3.17)$$

gdje su parametri:

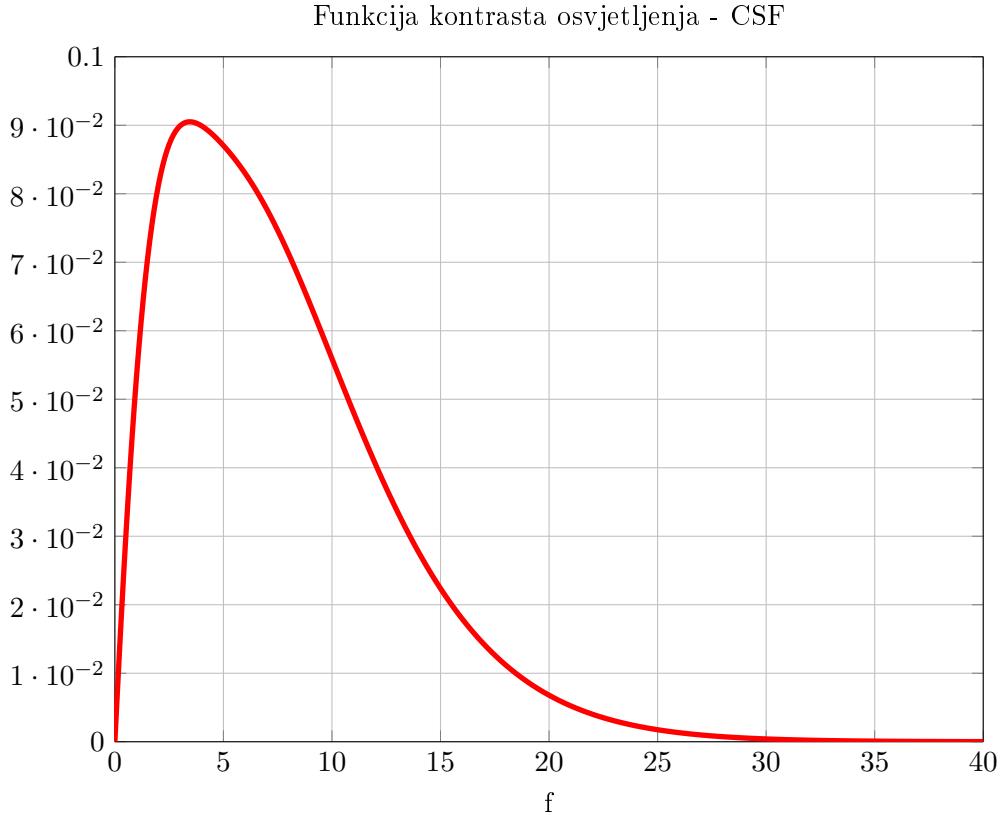
$$a = 540(1 + 0.7/L)^{-0.2} / [1 + 12/X/(1 + f/3)^2] \quad (3.18)$$

$$b = 0.3(1 + 100/L)^{0.15} \quad (3.19)$$

$$c = 0.06 \quad (3.20)$$

Za većinu primjena uzima se $X = 45^\circ$ i $L = 500[cd/m^2]$, a f je frekvencija izražena u *cpd* (eng. *cycle per degree of visual angle*). Izgled CSF funkcije prikazan je na slici 3.6.

Međutim pronalaženje optimalnih koeficijenata a , b i c korištenjem performansi dohvata kao kriterija nije lako, jer sva tri parametra agregirano utječe na oblik CSF funkcije, pa bi pretraživanje parametara uzrokovalo formiranje površi funkcije cilja sa mnogo lokalnih minimuma. Zbog toga se pomoću Rayleigh i LogNormalne funkcije pojednostavljuje traženje ovih parametara.



Slika 3.6: Izgled funkcije osjetljivosti kontrasta - CSF

3.8.2 Rayleigh model

Funkcija se računa prema formuli [7]:

$$csf_r(f) = \frac{f}{\sigma^2} e^{-\frac{f^2}{2\sigma^2}} \quad (3.21)$$

Za razliku od CSF modela, Rayleigh model ima samo jedan parametar σ - parametar skale, a težinska funkcija je po obliku dosta slična CSF funkciji (slika 3.7). Samim tim je dosta olakšano traženje potrebnih parametara, a pored toga položaj maksimuma, varijansa, i ostalih statističkih parametara se računaju pomoću poznatih matematičkih relacija. Na slici 3.7 je prikazana sličnost između CSF i Rayleigh funkcije.

3.8.3 LogNormal model

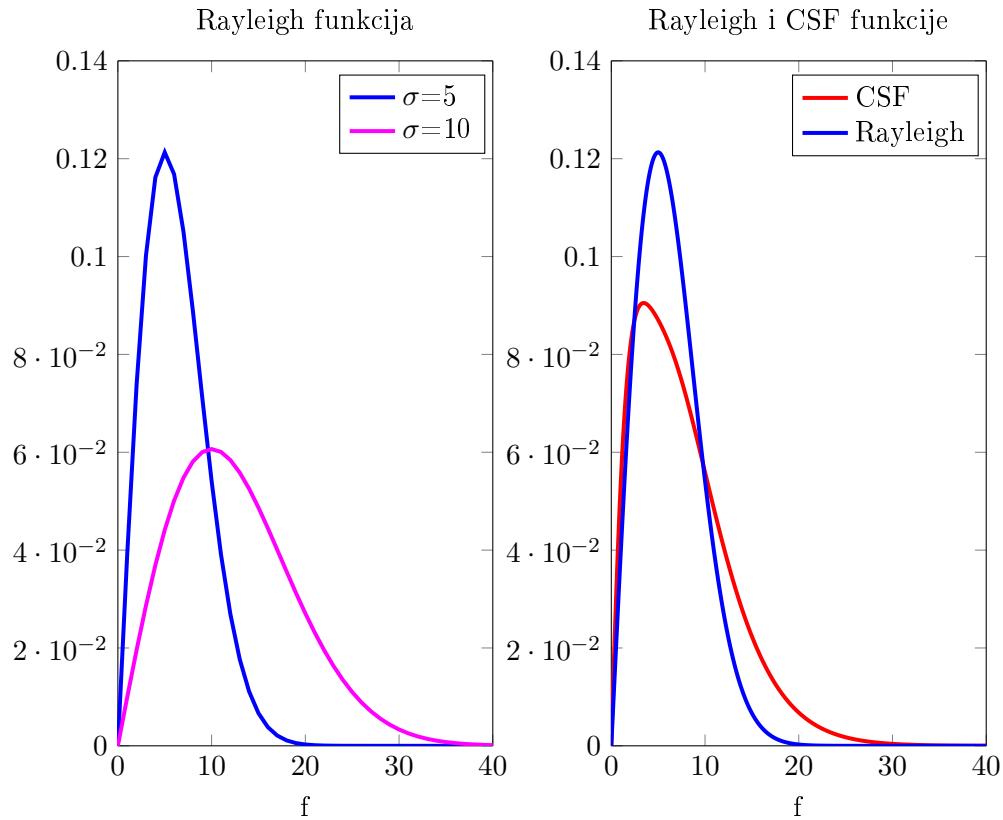
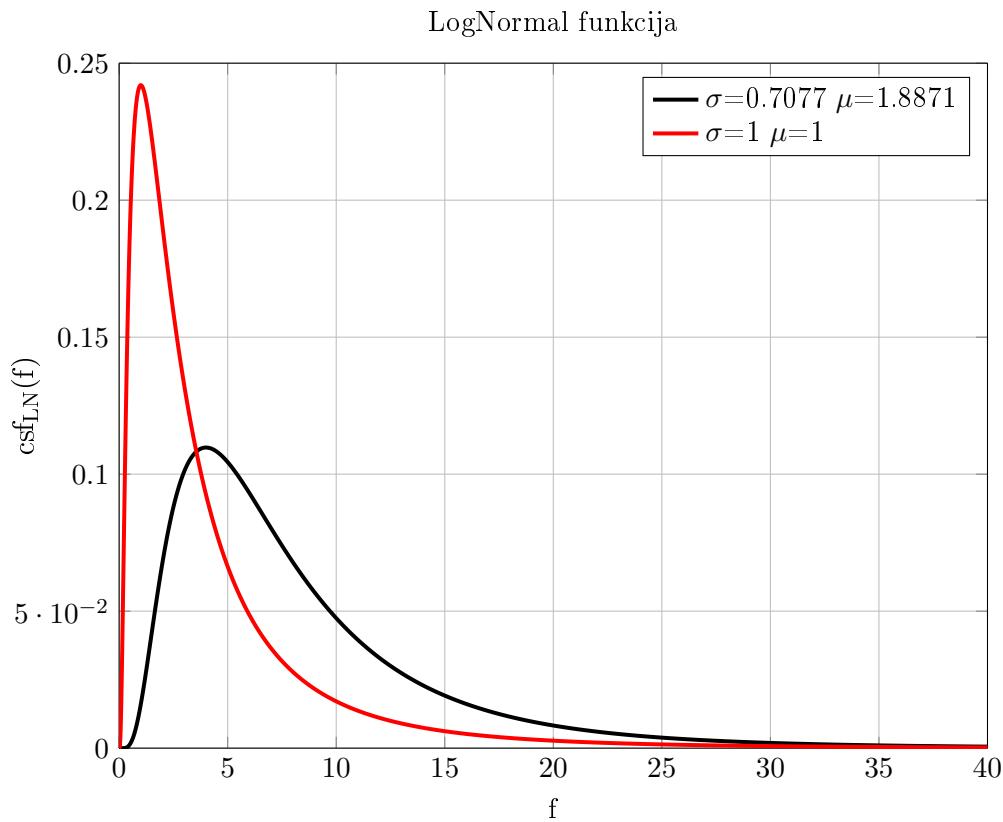
Funkcija se računa prema formuli:

$$csf_{LN}(f) = \frac{1}{f\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln f - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (3.22)$$

Za razliku od Rayleigh funkcije, LogNormal funkcija ima dva parametra: standardnu devijaciju σ i očekivanu vrijednost μ . Ipak za razliku od CSF modela računanje ovih parametara je dosta lakše. Baš kao i Rayleigh model ova funkcija je normirana na jedinicu. Na slici 3.8 prikazana je LogNormal funkcija za različite parametre.

City-Block rastojanje (mjera sličnosti) se računa prema formuli:

$$D(F^I, F^{II}) = \sum_{i=1}^M |f_i^I - f_i^{II}|. \quad (3.23)$$

*Slika 3.7: Rayleigh i poređenje Rayleigh - CSF funkcija**Slika 3.8: Lognormal funkcija*

U radu [8] predloženo je korištenje težinskih koeficijenata ω_i ($i = -M/2, \dots, M/2$) tako da se mjera sličnosti pomoću težinskih koeficijenata može računati kao:

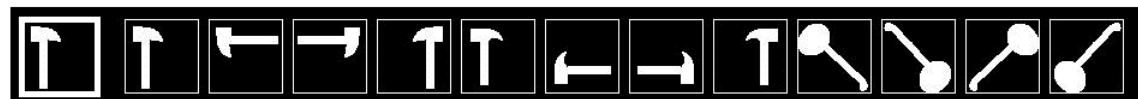
$$D(F^I, F^{II}) = \sum_{i=1}^M \omega_i |f_i^I - f_i^{II}|. \quad (3.24)$$

Suma težinskih koeficijenata je također normirana na jedinicu.

Eksperimentalnim mjeranjem u radu [8] je pokazano da korištenjem funkcije osjetljivosti kontrasta (CSF) ili neke slične njoj kao Rayleigh i LogNormal statistički značajno ne utječe na performanse pronalaženja, ali uvijek se mogu podesiti težinski koeficijenti na promatranom skupu tako da se poprave trenutne performanse. Ono što se može potvrditi jeste da su rezultati pretraživanja korištenjem težinskih koeficijenata mnogo više u skladu sa ljudskom percepcijom oka. Primjer rezultata pretraživanja bez težinskih koeficijenata i sa težišnim koeficijentima je dat na slici 3.9. Primjećuje se da rezultati pretraživanja sa CSF težišnim koeficijentima mnogo više liče upitnoj slici (kašike su dosta sličnije čekiću nego što je šišmiš).



Hammer-4.gif bez težišnih koeficijenata



Hammer-4.gif sa CSF težišnim koeficijentom

Slika 3.9: Prikaz prvih 12 rezultata pretraživanja sa i bez težišnih koeficijenata

3.9 Zaključak

U ovom poglavlju su predstavljene osnovne prednosti Fourierovih deskriptora kao što su invarijantnost na translaciju, rotaciju, skaliranje i izbor početne tačke, potom neosjetljivost na šum i jednostavnost za izvođenje i poređenje.

Međutim, kako niti jedan deskriptor nije idealan i Fourierovi deskriptori imaju svoje nedostatke. Odbacivanjem faznog dijela Fourierovih koeficijenata se postiže invarijantnost na izbor početne tačke i rotacije, ali se gubi značajna količina informacija sadržana u isto j. Signatura radijalnog rastojanja nije optimalna, jer nelinearno izobličuje konturu oblika. Normalizacija skale korištenjem samo jednog Fourierovog koeficijenata značajno zavisi od tačnosti izračunavanja tog koeficijenta [8]. Svi ovi nedostaci se mogu prevazići različitim metodama, tako npr. uz određena pravila možemo zadržati fazu Fourierovih koeficijenata, a da još uvijek postižemo invarijantnost na izbor početne tačke i rotacije.

Nakon upoznavanja sa osnovnim pojmovima pretraživanja slika na osnovu oblika i provedene procedure poređenja dva oblika pomoću konturnih Fourierovih deskriptora, sljedeća poglavlja bit će posvećena razvoju aplikacije za pretraživanje slika i analizi dobivenih rezultata.

POGLAVLJE 4

4 Grafičko okruženje za pretraživanje slika na osnovu oblika

4.1 Uvod

Posljednjih godina razvojem tehnologije došlo je do naglog napretka u oblasti obrade i analize slika. S razvojem pametnih telefona (eng. *smartphones*) i kamere visoke rezolucije skoro svaka osoba je postala proizvođač multimedijalnih sadržaja, tako da se broj slika sve više povećao. Slike su se sve više spremale u ogromne baze i njihov pronađazak je postao jedan od glavnih problema današnjice. Kao rješenje ovog problema napravljeni su razni programi za pretraživanje slika na osnovu oblika, a jedan od najpoznatijih pretraživača poznat širom svijeta je Google Images.

Nakon upoznavanja sa detaljnom procedurom formiranja konturnih Fourierovih deskriptora u ovom poglavlju bit će predstavljeno grafičko okruženje za pretragu slika na osnovu oblika u programskom paketu MATLAB.

Cilj svakog pretraživača slika jeste da zadovolji potrebe korisnika, a najbitniji zahtjev koji treba ispuniti je tačnost/preciznost rezultata pretrage. Pored ovog zahtjeva bitno je da korisnik ima mogućnost odabira različitih opcija pri pretrazi kako bi dobio relevantne rezultate. Također pri pretraživanju slika potrebno je da vrijeme pretrage bude svedeno na minimum, a da preciznost rezultata bude maksimalna. Razvoj takvog programa za pretraživanje slika na bazi Fourierovih deskriptora je cilj ovog završnog rada.

4.2 Grafički prikaz aplikacije

Na slici 4.1 prikazano je na koji način radi aplikacija. Nakon što korisnik odabere potrebne parametre (baza, deskriptor, broj koeficijenata, mjera sličnosti i težinske koeficijente) i učita upitnu sliku vrši se pretraga.

Za sve korištene baze napravljen je deskriptor fajl za svaku sliku koji sadrži osnovne informacije o njoj kao što su:

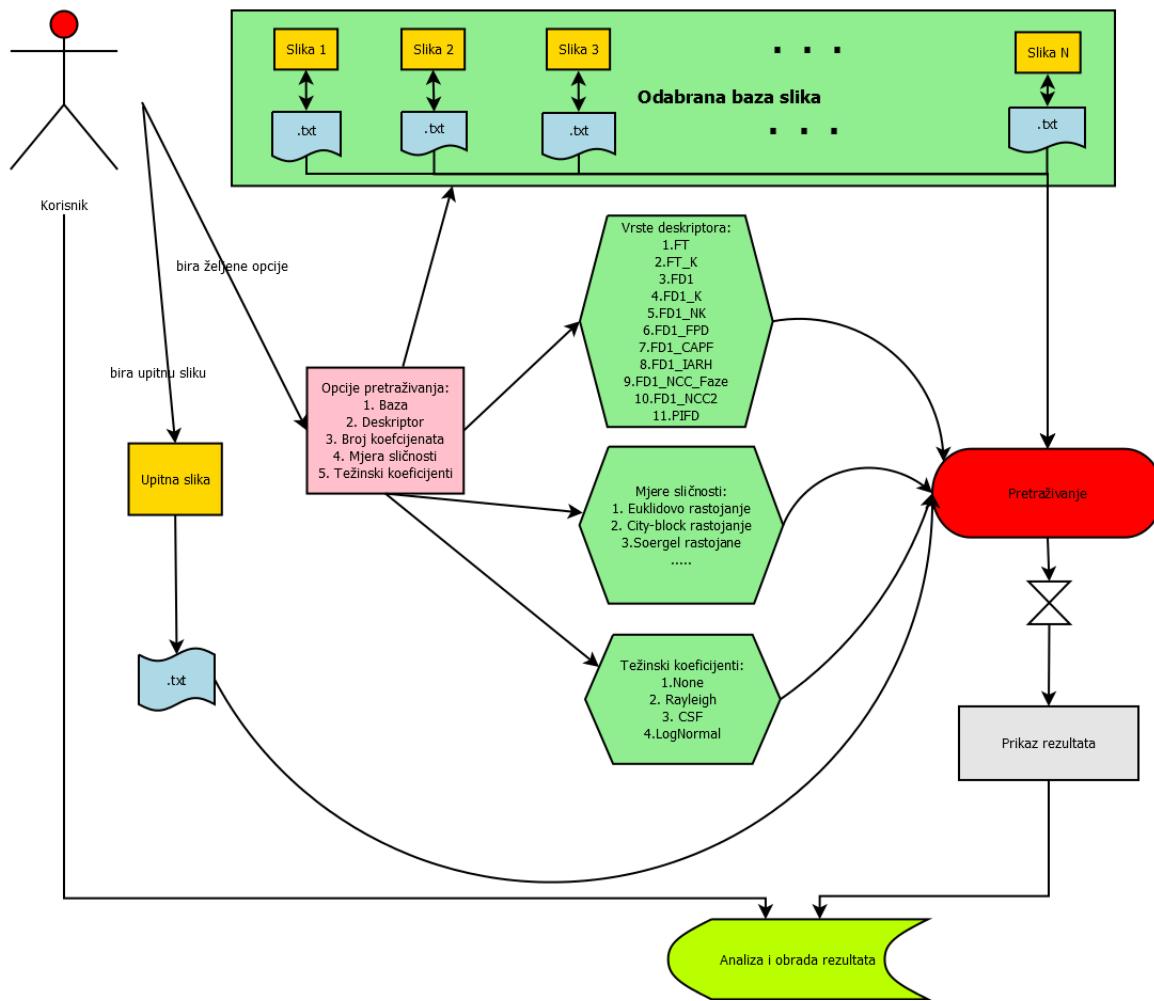
- ime slike,
- ekstenzija,
- dimenzije slike u $[x, y]$ formatu,
- različite signature oblika poput RD, CC, IARH, CPAF itd.,
- različite deskriptore poput NCC, PIFD, AFD, ...

Istovremeno sa izborom i prikazom upitne slike formira se deskriptor fajl za odabranu sliku. Prilikom pretrage slike iz deskriptor fajla se izdvajaju samo oni parametri odabrani od strane korisnika potrebni za pretragu.

4.3 Fizički prikaz aplikacije

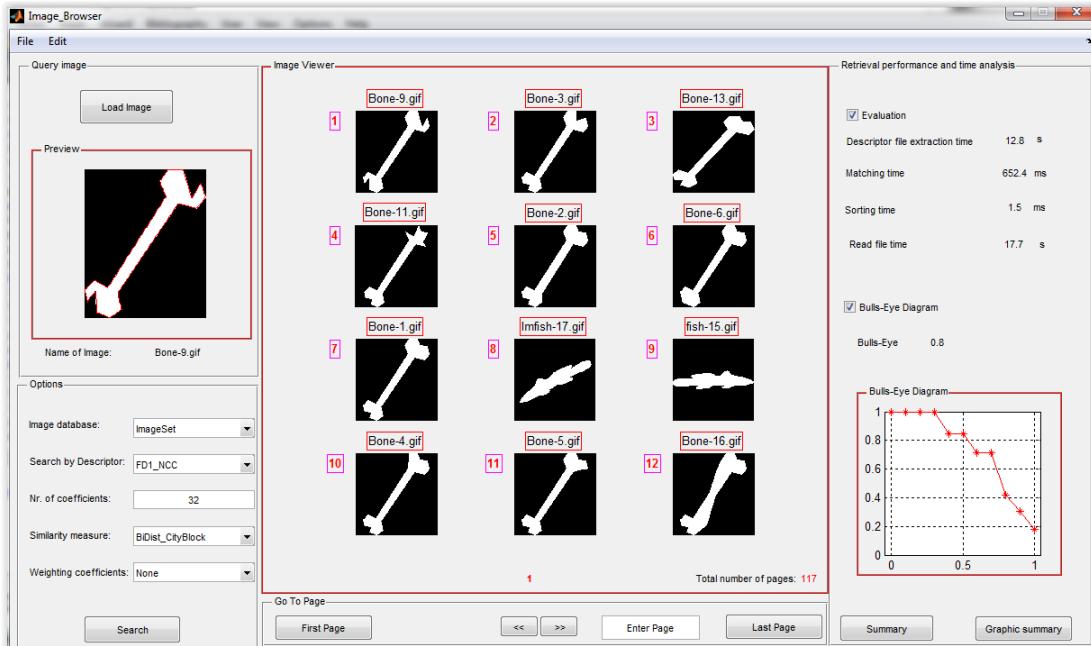
Aplikacija se sastoji iz pet osnovnih segmenata:

1. U prvom panelu *Query image* korisnik bira sliku iz željene baze koju postavlja kao upit pretrage.



Slika 4.1: Grafički interfejs programa Image Browser

2. Drugi panel *Options* omogućava korisniku izbor opcija za željenu bazu slika koju želi pretraživati, deskriptor po kojem će se vršiti pretraga, broj koeficijenata konture, mjeru sličnosti i izbor težišnih koeficijenata. Nakon izbora ovih opcija i klikom na dugme *Search* dobiju se rezultati pretrage.
3. Panel *Image Viewer* prikazuje rezultate pretrage slika.
4. U panelu *Go to Page* korisnik može odabratи na koju stranicu želi ići.
5. *Retrieval performance and time analysis* panel nudi mogućnost prikaza rezultata i određenih statističkih pokazatelja.

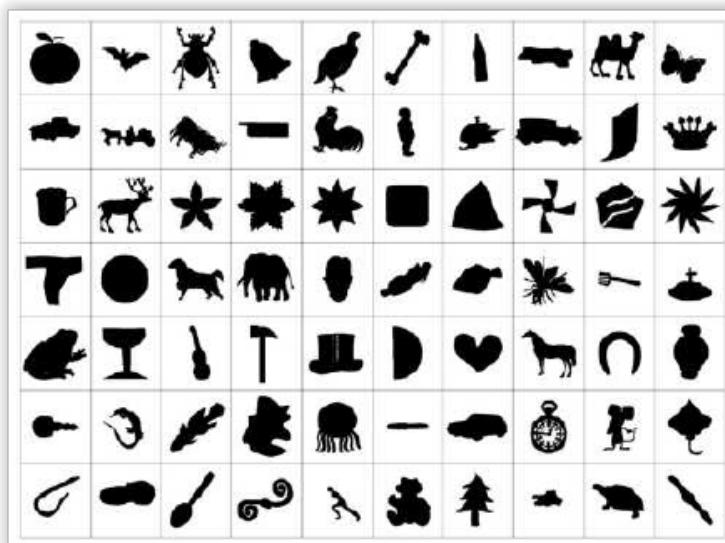


Slika 4.2: Fizički interfejs programa Image Browser

4.4 Baze slika (Image database)

Tokom izrade aplikacije napravljene su četiri baze sa deskriptor fajlovima, a ostavljena je mogućnost dodavanja novih baza.

4.4.1 MPEG-7 Skup B



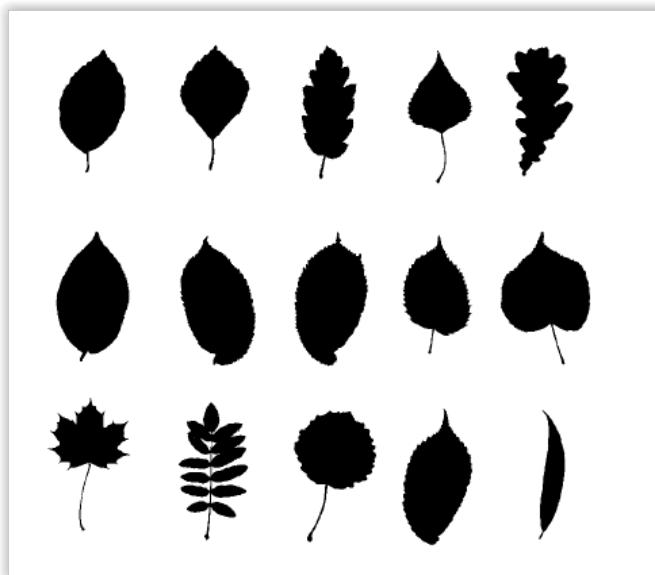
Slika 4.3: Reprezentativni elementi MPEG-7 Skupa B

Ova baza se sastoji od 1400 slika koje su klasificirane u 70 klasa pri čemu se u svakoj

klasi nalazi 20 različitih oblika. Ovaj skup se sastoji od ilustrovanih oblika iz stvarnog života. Slike su crno-bijele boje što omogućava lakšu ekstrakciju konture, a prilično su zahtjevne za obradu pomoći konturnih i regijski baziranih deskriptora. Reprezentativni elementi se nalazi na slici 4.3.

4.4.2 Swedish Leaf skup

Swedish Leaf skup je besplatno dostupna baza slika napravljena od strane Linkoping Univerziteta i predprocesirana i binarizirana od strane Xu i ostalih [11]. Baza se sastoji od 15 klasa pri čemu se svaka klasa sastoji od 75 različitih listova. Izuzetno je zahtjevna za obradu zbog velike sličnosti među klasama. Na slici 4.4 se može primjetiti velika sličnost između pojedinih klasa. Stoga su konture pojedinih listova skoro identične, što otežava proces pretraživanja.



Slika 4.4: Reprezentativni elementi Swedish Leaf skupa

4.4.3 ETH-80 skup

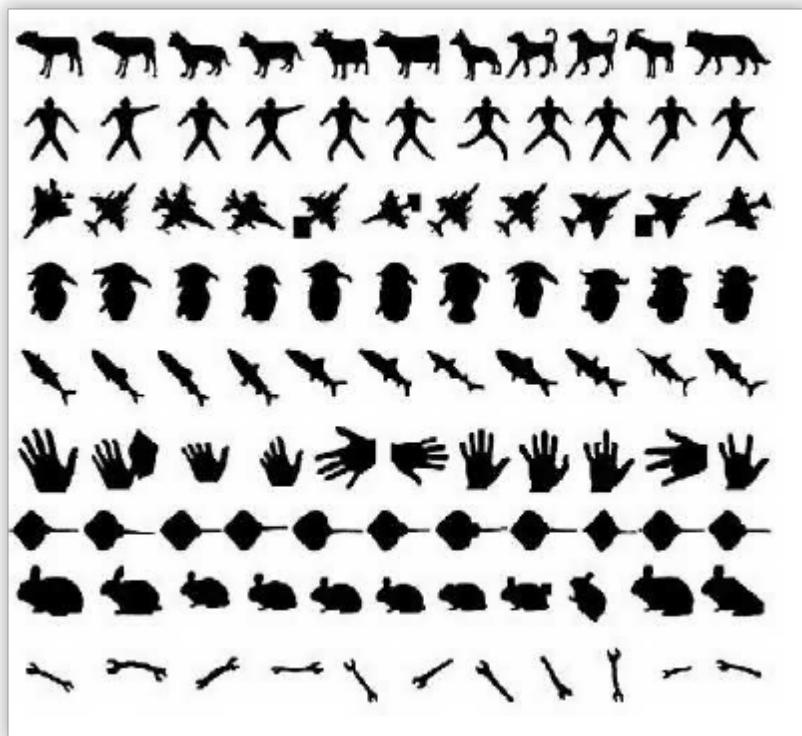
Skup ETH-80 je razvijen od strane Leiba i ostalih [5] na ETH Zurich. Sastoji se od 8 kategorija od po 10 objekata pri čemu svaki objekat ima 41 sliku u boji slikanu iz različitog ugla. Baza se sastoji od ukupno 3280 slika. Reprezentativni elementi se nalaze na slici 4.5.

4.4.4 Kimia99 skup

Ovaj skup sadrži 11 oblika raspoređenih u 9 kategorija. Kako skup sadrži okluziju, nedostajuće objekte i artikulaciju objekata, prilično je zahtjevan za algoritme koji nisu strukturalno bazirani. Reprezentativni elementi se nalaze na slici 4.6.



Slika 4.5: Reprezentativni elementi ETH-80 skupa



Slika 4.6: Reprezentativni elementi Kimia99 skupa

⁴Slika preuzeta iz [8]

4.5 Izbor upitne slike (Query Image)

Suština ovog panela je da korisniku omogući izbor upitne slike pomoću dugmeta *Load Image*. Za odabranu sliku pravi se deskriptor fajl i slika se prikazuje u panelu *Preview* zajedno sa izdvojenom konturom i nazivom slike.

4.6 Izbor deskriptora (Search by descriptor)

Nakon što je korisnik učitao upitnu sliku i odabrao željenu bazu, slijedi izbor deskriptora po kojem će se vršiti pretraga. U poglavlju 3. je detaljno opisan postupak dobivanja Fourierovih deskriptora. Stoga će ovdje bit dat osvrt na Fourierove deskriptore koje korisnik ima mogućnost odabrati prilikom pretraživanja, bez detaljnijeg objašnjavanja.

Prilikom izbora deskriptora korisnik ima mogućnost odabrati:

- FT - Fourierovu transformaciju baziranu na signaturi centroid rastojanja,
- FT_K - Fourierovu transformaciju na bazi signature oblika kompleksnih koordinata,
- FD1 - Fourierove deskriptore 1D iz signature centroida,
- FD1_K - Fourierove deskriptore 1D iz signature kompleksnih koordinata,
- FD1_NCC - Normalizovane Fourierove deskriptore bazirane na signaturi kompleksnih koordinata (NCC),
- FD1_FPD - Fourierove deskriptore na bazi signature *Furthest point distance*,
- FD1_CAPF - Fourierove deskriptore na bazi signature *Combined perimeter area function*,
- FD1_IARH - Fourierove deskriptore na bazi signature *Improved Arc-Height function*,
- FD1_NCC_Faze - Vektor NCC sa uključenim fazama za prethodno izvršenu normalizaciju na rotaciju i početnu tačku,
- FD1_NCC2 - NCC deskriptor normalizovan sa korijenom kvadrata (Larson),
- PIFD - Fazno-zadržavajuće Fourierove deskriptore bazirane na pseudo-oglednim tačkama.

4.7 Broj koeficijenata (Number of coefficients)

Pomoću ove opcije korisnik zadaje broj koeficijenata deskriptora. Svaki deskriptor se sastoji od određenog broja koeficijenata koji su spremljeni u deskriptor fajl. Unošenjem većeg broja koeficijenata dobija se više informacija o slici. Za kvalitetan opis slike pomoću Fourierovih deskriptora dovoljno je koristiti 20-tak koeficijenata.

4.8 Mjere sličnosti (Similarity measure)

Nakon normalizacije Fourierovih koeficijenata slijedi postupak određivanja sličnosti između upitne slike i svih slika iz baze. Koliko su slike međusobno slične određuje se pomoću mjera sličnosti. Što je manja udaljenost među deskriptorima slike su sličnije. Postupak računanja mjera sličnosti se može pronaći u poglavlju 3. Pregled formula i njihovih naziva je dat u tabeli 1. Sve mjere sličnosti iz tabele 1 su dostupne korisniku prilikom izbora opcija pretraživanja.

Termini korišteni u aplikaciji *Unidist* i *Bidist* se vezuju za način uzimanja koeficijenata Fourierovog deskriptora. *Unidist* podrazumijeva da se koeficijenti uzimaju samo sa jedne strane, dok *bidist* uzima polovinu koeficijenata sa jedne strane i polovinu koeficijenata sa druge strane.

4.9 Upustva za dodavanje novih parametara

4.9.1 Upustvo za dodavanje nove baze

Da bi nova baza bila dodana i spremna za korištenje potrebno je pratiti slijedeće korake:

1. Bira se baza slika koja se želi dodati i koristiti.
2. Nakon odabrane baze potrebno je napraviti deskriptor fajl za svaku sliku iz odabrane baze. Deskriptor fajlovi se prave pomoću m-fajlova *zapravljenetxtbaza*. Pored ovog fajla potrebno je m-fajlove *namepar*, *pozeljniparametri.txt*, *upisiufileNOVIREDemir*, i funkciju *strjoin* (verzija Matlab 2012b nema instaliranu ovu funkciju), kopirati u direktorij u kojem se nalaze slike.
3. Potom slijedi postupak kreiranja deskriptor fajlova za svaku sliku. Ovaj proces može trajati i do nekoliko sati jer se upisuju podaci potrebni za adekvatnu pretragu slika. Stoga vrijeme pravljenja deskriptor fajlova ovisi i od broja slika, za manju bazu je potrebno manje vremena.
4. Nakon kreirane baze sa deskriptor fajlovima potrebno je bazu unijeti u program. To se radi preko padajućeg menija *File* i opcijom *Add new base*. Ova opcija u txt fajl *Base.txt* dodaje novu bazu i prikazuje je u padajućem meniju za izbor baze.
5. Nakon što se na meniju pojavi nova baza, potrebno ju je implementirati u m-fajlu aplikacije i to na sljedeći način:
 - Prvo u callback-u *Izbor baze* je potrebno specificirati putanju gdje se nalazi nova baza,
 - potom u callback-u *Search* se postavlja parametar *pathgif* kojim se naglašava ekstenzija slika.
6. Nova baza je dodana i spremna za korištenje.

4.9.2 Upustvo za dodavanje novog deskriptora

Korisniku je ostavljena mogućnost dodavanja i implementiranja novih deskriptora. Prilikom dodavanja novih deskriptora potrebno je pratiti slijedeće korake:

1. Prije svega potrebno je novi deskriptor implementirati u klasu *Slika*.
2. Nakon implementiranja deskriptora u klasi *Slika* potrebno je u txt fajl *pozeljniparametri.txt* unijeti naziv novog deskriptora. Time se prilikom pravljenja deskriptor fajlova upisuje i novi deskriptor.
3. Potom je potrebno sve postojeće deskriptor fajlove u svim bazama ponovo napraviti prateći korak 1. u sekciji 4.10.
4. Nakon što je novi deskriptor dodan u sve postojeće deskriptor fajlove potrebno je unijeti novi deskriptor u aplikaciju. To se radi preko padajućeg menija *File* i izborom na opciju *Add new descriptor* preko kojeg se u txt fajlu *pozeljniparametri2.txt* dodaje naziv novog deskriptora i prikazuje se u padajućem meniju za izbor deskriptora.

5. Novi deskriptor je dodan i spremna za korištenje.

4.9.3 Upustvo za dodavanje nove mjere sličnosti

Za dodavanje nove mjere sličnosti potrebno je uraditi slijedeće:

1. U funkciji *MjereSlicnostiSredjeno.m* implementirati novu mjeru sličnosti.
2. Nakon toga potrebno je preko padajućeg menija *File* odabrati opciju *Add new similarity measure* preko koje se u txt datoteci *MjereSlicnosti.txt* dodaje naziv nove mjere sličnosti koja se prikazuje u padajućem meniju za izbor mjere sličnosti.
3. Nova mjeru sličnosti je dodana i spremna za korištenje.

4.9.4 Upustvo za dodavanje novog težinskog koeficijenta

Posljednja opcija koju korisnik bira jeste težinski koeficijent. Kao i za prethodne opcije ostavljena je mogućnost dodavanja novog težinskog koeficijenta. Prilikom dodavanja novog težinskog koeficijenta potrebno je pratiti slijedeće korake:

1. U funkciji *MjereSlicnostiSredjeno.m* treba implementirati novi težinski koeficijent.
2. Potom preko padajućeg menija *File* i izborom na opciju *Add new Weighting coefficient* upisuje se ime novog težinskog koeficijenta, nakon čega biva prikazan u padajućem meniju za izbor težinskog koeficijenta.
3. Novi težinski koeficijent je dodan i spremna za korištenje.

4.10 Analiza rezultata pretraživanja

4.10.1 Izračunavanje Bulls-Eye vrijednosti

Od velikog značaja za pretragu slika predstavlja analiza dobivenih rezultata. Nakon prikaza rezultata pretraživanja korisnik ima mogućnost pregleda analize rezultata pretrage u panelu *Retrieval performance and time analysis*.

Bulls-Eye vrijednost opisuje preciznost pretraživača u prvih nekoliko rezultata upita. Definira se kao procenat pronađenih relevantnih rezultata u 2K rezultata upita, gdje je K broj oblika u klasi u kojoj se vrši pretraživanje. Stoga, ako neki oblik pripada klasi koja ima 100 elemenata u bazi i ako je prilikom pretraživanja u prvih 200 rezultata pronađeno 40 relevantnih oblika, tada se Bulls-Eye vrijednost računa kao:

$$\text{BullsEye} = \frac{40}{100} = 40\% \quad (4.1)$$

Najbolja vrijednost je 100%.

Bulls-Eye vrijednost za algoritam testiran nad skupom N elemenata se obično daje kao srednja vrijednost svih Bulls-Eye vrijednosti:

$$\text{BullsEye} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\text{BullsEye})_i \quad (4.2)$$

Za bazu slika *ImageSet* korisniku je dostupan PR grafik i Bulls-Eye vrijednosti koji se aktiviraju klikom na dugme *Bulls-Eye value and PR diagram*.

4.10.2 Formiranje dijagrama preciznosti i odziva (PR diagram)

Prepostavimo da je u bazi sa N oblika potrebno pronaći m relevantnih oblika. Pretraživač će uporediti svih N oblika sa upitnim oblikom, a potom ih sortirati po udaljenosti počevši od onog oblika koji ima najmanju udaljenost. Nakon toga rezultati se prezentiraju korisniku. Dobar algoritam će najrelevantnije rezultate staviti na vrh sortirane liste.

Dva parametra koja su važna za ocjenu takvog upita su:

- Preciznost (P) - parametar koji definiše omjer broja dohvaćenih relevantnih oblika r i broja ukupnih dohvaćenih oblika u upitu n .

$$P = \frac{r}{n} \quad (4.3)$$

- Odziv (R) - parametar koji definiše odnos broja dohvaćenih relevantnih oblika r i ukupnog broja m svih relevantnih oblika u cijeloj bazi.

$$R = \frac{r}{m} \quad (4.4)$$

Preciznost govori da sistem ne grijesi puno, a odziv govori o sposobnosti sistema da pronađe relevantne oblike. Prepostavimo da se u nekom skupu nalazi $m = 4$ relevantna oblika i rezultati pretrage su dati u tabeli 2. Tada su odgovarajuće vrijednosti preciznosti i odziva date u 3 i 4 koloni tabele 2.

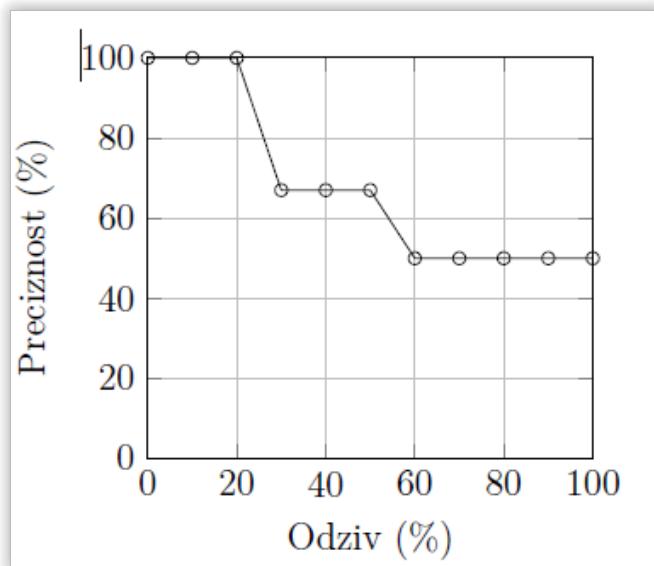
PR dijagram se najčešće crta na osnovu interpoliranih vrijednosti, tipično za vrijeme odziva [0.1, 0.2, ... 1.00]. Interpolirana preciznost za neki nivo odziva x predstavlja maksimalnu preciznost na bilo kojem nivou odziva većem ili jednakom od x . Primjer interpolirane preciznosti za slučaj upita iz tabele 2 je dat u tabeli 3, a odgovarajući PR dijagram na slici 4.7.

Rang	Naziv slike	Relevantnost	Odziv	Preciznost
1	apple-1	Da	1/4	1/1 = 100%
2	apple-3	Da	2/4	2/2 = 100%
3	face-14	Ne	2/4	2/3 = 66.6%
4	bone-7	Ne	2/4	2/4 = 50%
5	apple-4	Da	3/4	3/5 = 60%
6	turtle-3	Ne	3/4	3/6 = 50%
7	hat-4	Ne	3/4	3/7 = 42.8%
8	butterfly-5	Ne	3/4	3/8 = 37.5%
9	apple-6	Da	4/4	4/9 = 44%

Tabela 2: Primjer rezultata pretraživanja na osnovu oblika

⁵Slika preuzeta iz [8]

Odziv	Interpolirana preciznost
0.1	1.00
0.2	1.00
0.3	1.00
0.4	0.67
0.5	0.67
0.6	0.67
0.7	0.5
0.8	0.5
0.9	0.5
1.0	0.5

Tabela 3: Interpolirane vrijednosti*Slika 4.7: PR dijagram za rezultate iz tabele 3.5*

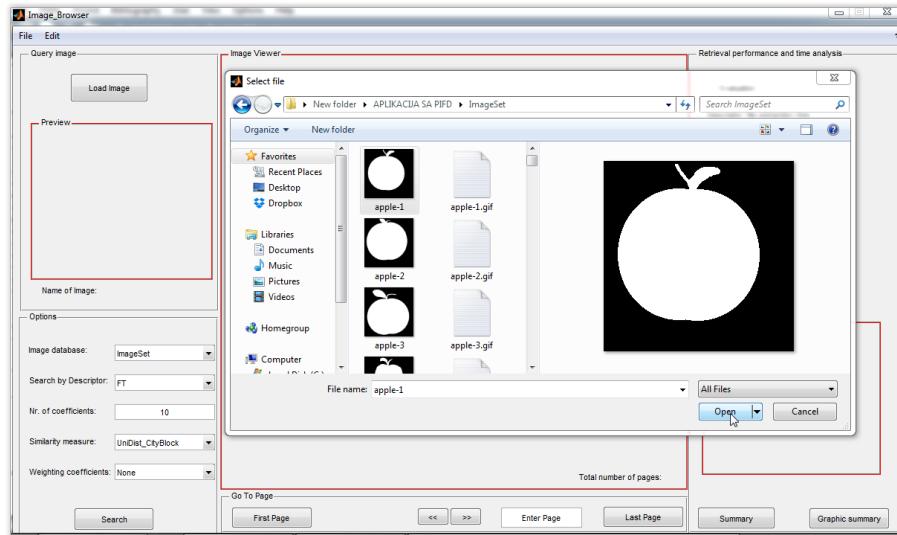
4.11 Zaključak

U ovom poglavlju izložene su osnovne mogućnosti aplikacije, i data upustva za dodavanje novih parametara. Također je ostavljena mogućnost nadogradnje aplikacije za buduću upotrebu. Kao što je u uvodnom poglavlju rečeno cilj završnog rada je bio razvijanje takve aplikacije za pretraživanje slika na bazi Fourierovih deskriptora koja pored osnovnih funkcija za pretraživanje ima mogućnosti dodavanja navedenih parametra. Pored implementiranih ciljeva aplikacija omogućava spremanje prvih 12 rezultata pretraživanja baze *ImageSet* u sliku formata *.jpg* pritiskom na dugme *Graphic Summary*. Pored ove mogućnosti pritiskom na dugme *Summary* korisnik može spremiti najznačajnije informacije o pretrazi u *txt* file kao što su: naziv upitne slike, baza, deskriptor, broj koeficijenata, težinski koeficijent, rezultati pretraživanja sortirani po udaljenosti, PR dijagram, Bulls-Eye vrijednost, najznačajnija vremena dohvata određenih performansi i dr. Na kraju dat je grafički prikaz preciznosti pretraživača u prvih nekoliko rezultata pretraživanja tzv. PR dijagram.

5 Prilog I

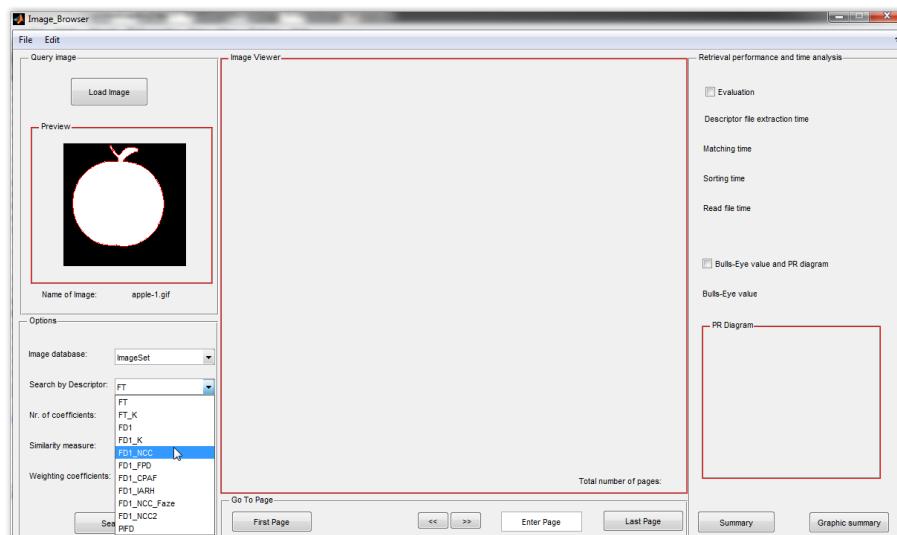
5.1 Primjeri korištenja aplikacije

Nakon pokretanja aplikacije *Image_Browser*, bira se slika pritiskom na dugme *Load Image* na osnovu koje će se vršiti pretraga (Slika 5.1).



Slika 5.1: Izbor upitne slike

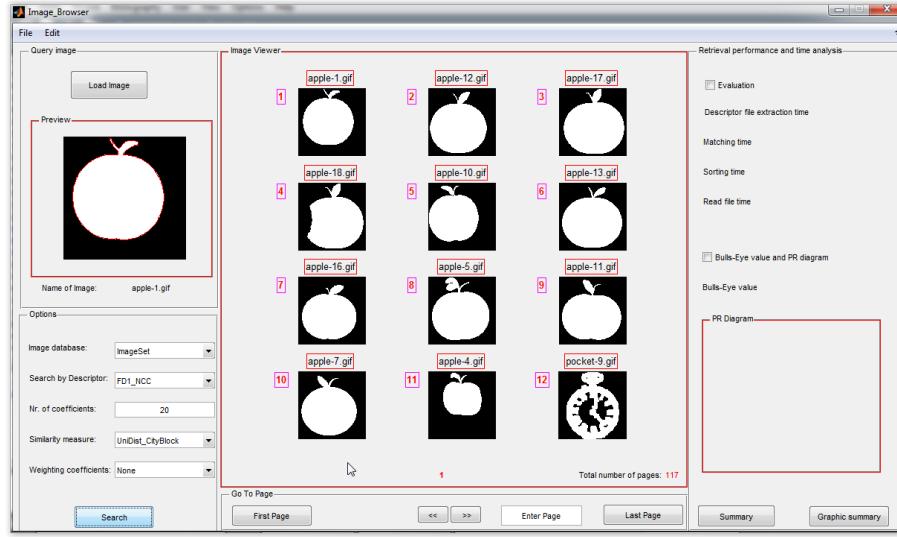
Nakon što se učita i prikaže upitna slika u panelu *Preview*, slijedi izbor željenih opcija za pretragu kao što je prikazano na slici 5.2. Opcije nisu postavljene na standardnu vrijednost.



Slika 5.2: Izbor željenih opcija

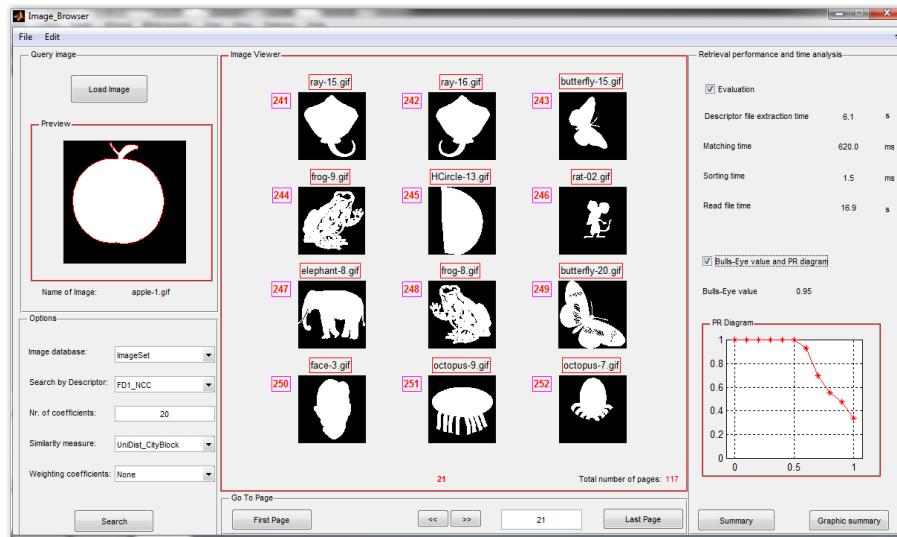
Sljedeći korak jeste pretraživanje slika klikom na dugme *Search*. Proces pretraživanja može potrajati izvjesno vrijeme zavisno od veličine baze i odabranih opcija pretrage. Poslije

završetka pretrage korisniku se prikazuju rezultati u panelu, *Image Viewer* (Slika 5.3).



Slika 5.3: Prikaz rezultata korisniku u panelu Image Viewer

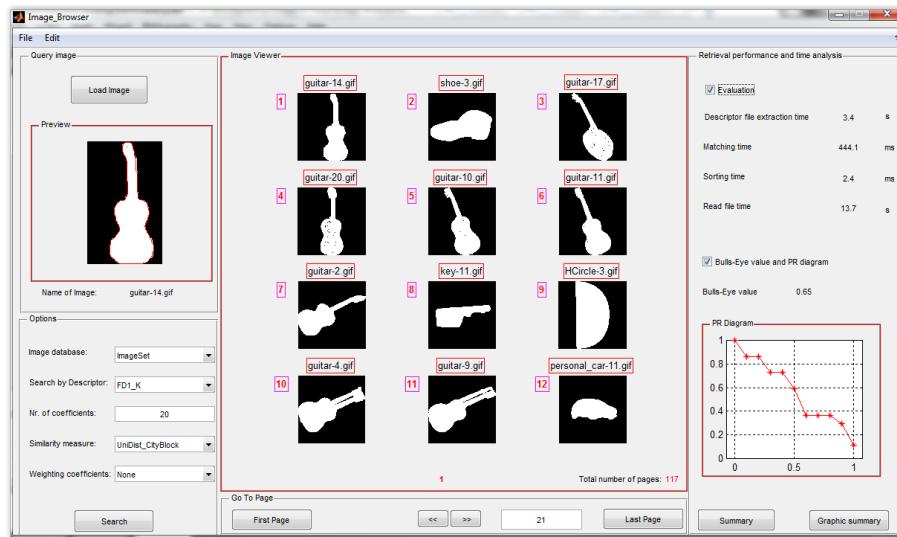
U panelu *Go to page* korisnik može ići na sljedeću, prethodnu, prvu ili posljednju stranicu ili može unijeti broj stranice koja će biti prikazana. Uključivanjem dugmeta *Evaluation* prikazuje se koliko je vremena potrošeno na određene operacije. Ovo je ilustrovano na slici 5.4.



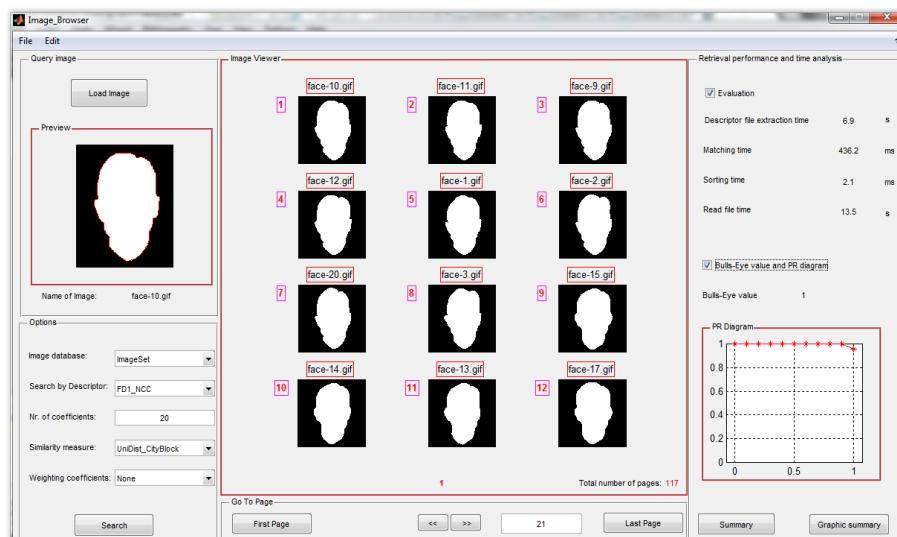
Slika 5.4: Prikaz 22 stranice, vremena izvršavanja određenih operacija i Bulls-Eye dijagram

Na kraju postoji mogućnost uključivanja Bulls-Eye vrijednosti i PR dijagrama klikom na dugme *Bulls-Eye and PR diagram* (Slika 5.4). Korisniku je ostavljena mogućnost izbora *Graphic summary* i *Summary* gdje se grafički sprema prvih 12 rezultata pretrage a *Summary* sprema u txt datoteku osnovne informacije o rezultatima pretrage.

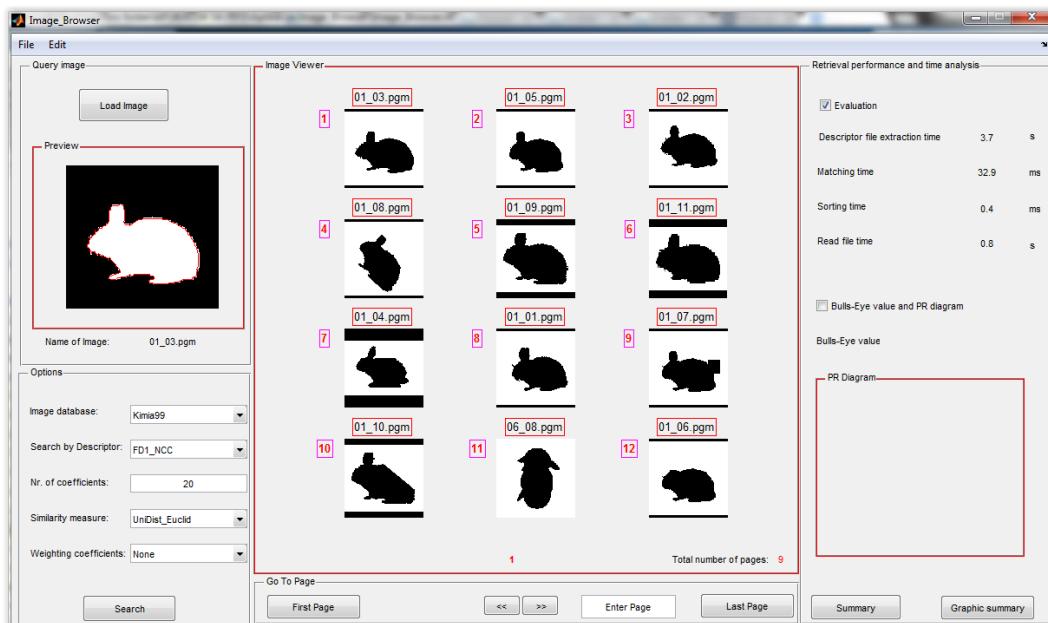
5.2 Primjeri rezultata pretraživanja



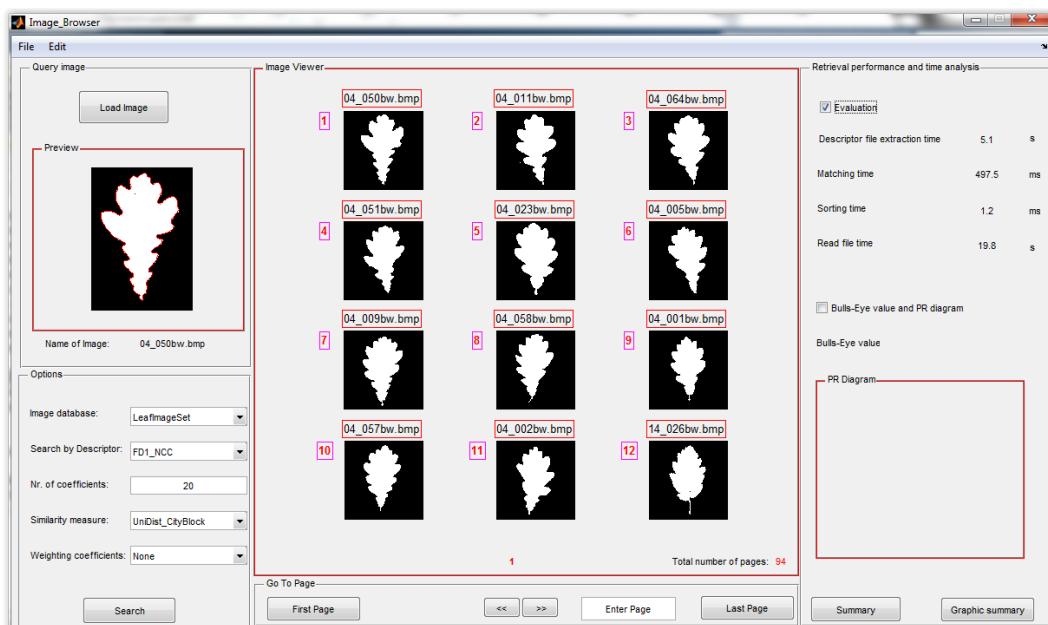
Slika 5.5: Rezultati pretraživanja za upitnu sliku guitar-14.gif iz baze Imageset



Slika 5.6: Rezultati pretraživanja za upitnu sliku face-10.gif iz baze Imageset



Slika 5.7: Rezultati pretraživanja za upitnu sliku 01_03.pgm iz baze Kimia99



Slika 5.8: Rezultati pretraživanja za upitnu sliku 04_050.bmp iz baze LeafImageSet

Popis slika

1.1	Različite metode za pretragu slika	7
1.2	Princip rada aplikacije	8
2.1	Podjela Oblika/Konture	9
2.2	Signatura-Centroid rastojanje	13
3.1	Signatura-Centroid rastojanje	16
3.2	Signatura - Centroid rastojanje	17
3.3	Signatura-Centroid rastojanje	18
3.4	Evolucija oblika pri rekonstrukciji sa $M = 4, M = 8, M = 16, M = 32, M = 64$ Fourierova koeficijenta. Energije oblika su 0.6899, 0.8047, 0.8707, 0.9313, 0.9655 respektivno	23
3.5	Ilustracija funkcije osjetljivosti kontrasta - CSF	24
3.6	Izgled funkcije osjetljivosti kontrasta - CSF	25
3.7	Rayleigh i poređenje Rayleigh - CSF funkcija	26
3.8	Lognormal funkcija	26
3.9	Prikaz prvih 12 rezultata pretraživanja sa i bez težišnih koeficijenata	27
4.1	Grafički interfejs programa Image Browser	29
4.2	Fizički interfejs programa Image Browser	30
4.3	Reprezentativni elementi MPEG-7 Skupa B	30
4.4	Reprezentativni elementi Swedish Leaf skupa	31
4.5	Reprezentativni elementi ETH-80 skupa	32
4.6	Reprezentativni elementi Kimia99 skupa	32
4.7	PR dijagram za rezultate iz tabele 3. ⁶	37
5.1	Izbor upitne slike	38
5.2	Izbor željenih opcija	38
5.3	Prikaz rezultata korisniku u panelu <i>Image Viewer</i>	39
5.4	Prikaz 22 stranice, vremena izvršavanja određenih operacija i Bulls-Eye dijagram	39
5.5	Rezultati pretraživanja za upitnu sliku <i>guitar-14.gif</i> iz baze <i>Imageset</i>	40
5.6	Rezultati pretraživanja za upitnu sliku <i>face-10.gif</i> iz baze <i>Imageset</i>	40
5.7	Rezultati pretraživanja za upitnu sliku <i>01_03.pgm</i> iz baze <i>Kimia99</i>	41
5.8	Rezultati pretraživanja za upitnu sliku <i>04_050.bmp</i> iz baze <i>LeafImageSet</i>	41

Popis tabela

1	Pregled mjera sličnosti	22
2	Primjer rezultata pretraživanja na osnovu oblika	36
3	Interpolirane vrijednosti	37

6 Literatura

- [1] Peter GJ Barten. *Contrast sensitivity of the human eye and its effects on image quality*. SPIE press, 1999.
- [2] Luciano da Fontoura Costa and Roberto Marcond Cesar Jr. *Shape analysis and classification: theory and practice*. CRC press LLC, 2001.
- [3] Rafael C Gonzalez, Richard Eugene Woods, and Steven L Eddins. *Digital image processing using MATLAB*. Pearson Education India, 2004.
- [4] Edward A Lee. *Structure and interpretation of signals and systems*. Lee & Seshia, 2011.
- [5] Bastian Leibe and Bernt Schiele. Analyzing appearance and contour based methods for object categorization. In *Computer Vision and Pattern Recognition, 2003. Proceedings. 2003 IEEE Computer Society Conference on*, volume 2, pages II–409. IEEE, 2003.
- [6] Sven Loncaric. A survey of shape analysis techniques. *Pattern recognition*, 31(8):983–1001, 1998.
- [7] Athanasios Papoulis and S Unnikrishna Pillai. *Probability, random variables, and stochastic processes*. Tata McGraw-Hill Education, 2002.
- [8] Emir Sokic. *Algoritmi za analizu oblika na bazi Fourierovih deskriptora*. PhD thesis, Elektrotehnički fakultet Sarajevo, 2015.
- [9] Milan Sonka, Vaclav Hlavac, and Roger Boyle. *Image processing, analysis, and machine vision*. Cengage Learning, 2014.
- [10] Michael Reed Teague. Image analysis via the general theory of moments*. *JOSA*, 70(8):920–930, 1980.
- [11] Guo-Qing Xu, Zhi-Chun Mu, and Bing-Fei Nan. Shape retrieval using improved arc-height function. In *Wavelet Analysis and Pattern Recognition (ICWAPR), 2012 International Conference on*, pages 73–77. IEEE, 2012.
- [12] Mingqiang Yang, Kidiyo Kpalma, and Joseph Ronsin. A survey of shape feature extraction techniques. *Pattern recognition*, pages 43–90, 2008.
- [13] Dengsheng Zhang and Guojun Lu. A comparative study on shape retrieval using fourier descriptors with different shape signatures. In *Proc. International Conference on Intelligent Multimedia and Distance Education (ICIMADE01)*, 2001.
- [14] Dengsheng Zhang and Guojun Lu. Enhanced generic fourier descriptors for object-based image retrieval. In *Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP), 2002 IEEE International Conference on*, volume 4, pages IV–3668. IEEE, 2002.
- [15] Dengsheng Zhang and Guojun Lu. Evaluation of similarity measurement for image retrieval. In *Neural Networks and Signal Processing, 2003. Proceedings of the 2003 International Conference on*, volume 2, pages 928–931. IEEE, 2003.
- [16] Dengsheng Zhang and Guojun Lu. Study and evaluation of different fourier methods for image retrieval. *Image and Vision Computing*, 23(1):33–49, 2005.