

**UNIVERZITET U BANJOJ LUCI  
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET**

Đuričić Jelena

**PRIMJENA KONTURNIH DESKRIPTORA U  
PRETRAŽIVANJU BAZA SLIKA**

**diplomski rad**

Banja Luka, septembar 2007.

**UNIVERZITET U BANJOJ LUCI  
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET**

Đuričić Jelena

**Primjena konturnih deskriptora u  
pretraživanju baza slika**

**diplomski rad**

Banja Luka, septembar 2007.

**Tema:** Primjena konturnih deskriptora u pretraživanju baza slika

**Ključne riječi:** Deskriptori oblika  
Digitalna obrada slike

**Komisija:** prof. dr Slavko Marić, predsjednik  
prof. dr Zdenka Babić, mentor  
mr Vladimir Risojević, član

Uz rad priložen je CD sa tekstom rada i prilogima

Kandidat:  
Đuričić Jelena

UNIVERZITET U BANJOJ LUCI  
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET  
KATEDRA ZA OPŠTU ELEKTROTEHNIKU

**Tema:** Primjena konturnih deskriptora u pretraživanju baza slika

**Zadatak:** Dati pregled deskriptora oblika koji se koriste u pretraživanju baza slika. Detaljno opisati Fourierove i wavelet deskriptore oblika. Realizovati program u MATLAB-u koji, na osnovu zadanog oblika, omogućava pretraživanje baza slika primjenom Fourierovih i wavelet deskriptora računatih na osnovu različitih signatura oblika: kompleksnih koordinata, centroidne distance, kurvature i kumulativne ugaone funkcije. Napraviti statističku analizu odabranih deskriptora

**Mentor:** prof. dr Zdenka Babić

**Kandidat:** Đuričić Jelena (78/97)

Banjaluka, septembar, 2007.

# SADRŽAJ

LISTA SKRAĆENICA .....	7
<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. PRONALAZENJE SLIKA NA OSNOVU OBLIKA .....</b>	<b>4</b>
2.2. <i>Konturni deskriptori</i> .....	5
2.3. <i>Normalizacija broja tačaka konture</i> .....	7
2.4. <i>Signature oblika</i> .....	10
2.5. <i>Mjere sličnosti</i> .....	14
<b>3. FOURIEROVI DESKRIPTORI .....</b>	<b>15</b>
3.1. <i>Fourierova transformacija</i> .....	15
3.2. <i>Definicija Fourierovih deskriptora</i> .....	15
3.3. <i>Osobine Fourierovih deskriptora</i> .....	17
3.3.1. <i>Translacija</i> .....	17
3.3.2. <i>Skaliranje</i> .....	19
3.3.3. <i>Rotacija</i> .....	20
3.3.4. <i>Početna tačka</i> .....	22
3.3.5. <i>Normalizacija FD</i> .....	22
<b>4. WAVELET DESKRIPTORI.....</b>	<b>26</b>
4.1. <i>Wavelet teorija</i> .....	26
4.1.1. <i>Uvod</i> .....	26
4.1.2. <i>Wavelet transformacija</i> .....	27
4.1.3. <i>Diskretna wavelet transformacija</i> .....	29
4.1.4. <i>Kratak pregled periodične wavelet teorije</i> .....	29
4.2. <i>Definicija Wavelet deskriptora</i> .....	30
4.2.1. <i>Dekompozicija signala WT</i> .....	30
4.2.2. <i>Definicija Wavelet deskriptora</i> .....	33
4.3. <i>Osobine WD</i> .....	35
4.3.1. <i>Translacija</i> .....	35
4.3.2. <i>Rotacija</i> .....	36
4.3.3. <i>Skaliranje</i> .....	37
4.3.4. <i>Normalizacija WD</i> .....	38

<b>5.</b>	<b>STATISTIČKA EVALUACIJA KONTURNIH DESKRIPTORA .....</b>	<b>41</b>
5.2.	<i>Grafički interfejs</i> .....	42
5.3.	<i>Statistička evaluacija FD</i> .....	45
5.3.1.	Promjena signatura.....	45
5.3.2.	Promjena broja tačaka .....	52
5.3.3.	Promjena broja deskriptora .....	59
5.3.4.	Zaključak.....	66
5.4.	<i>Statistička evaluacija WD</i> .....	70
5.4.1.	Promjena signatura.....	70
5.4.2.	Promjena broja tačaka .....	77
5.4.3.	Promjena reda dekompozicije .....	84
5.4.4.	Zaključak.....	91
<b>6.</b>	<b>ZAKLJUČAK.....</b>	<b>97</b>
	<b>PRILOG 1 - MATLAB FAJLOVI.....</b>	<b>100</b>
	<b>LITERATURA .....</b>	<b>128</b>

**Napomena:**

---

Uz rad je priložen CD. Fajlovi se nalaze u folderu '\MatLab fajlovi' i folderu '\Excel fajlovi'. Svi primjeri pokreću se preko GUI-a **Deskriptori**.

## **LISTA SKRAĆENICA**

- CBIR - Content Based Image Retrieval  
- pronalaženje slika na osnovu sadržaja
- FT - Fourierova transformacija
- DFT - Diskretna Fourierova transformacija
- FD - Fourierovi deskriptori
- STFT - Short Time Fourier Transformation  
- Kratkotrajna Fourierova transformacija
- WT - Wavelet transformacija
- CWT - Kontinualna wavelet transformacija
- DWT - Diskretna wavelet transformacija
- WD - Wavelet deskriptori

# 1. UVOD

Zahvaljujući brzom razvoju tehnike, danas živimo u multimedijalnom svijetu. Slike, video zapisi, dio su naše svakodennice. Za razliku od audio i video zapisa, koji se uglavnom koriste za zabavu i vijesti, slike imaju centralnu ulogu u nizu naučnih disciplina počev od istorije umjetnosti do medicine, preko astronomije, meteorologije i mnogih drugih oblasti.

Primjena digitalnih slika u svim sferama ljudskog života neprestano se širi. Sve više se fotografije prevode u digitalnu formu i kao takve čuvaju i obrađuju. Postupkom odmjerenja analognih slika, koji se često naziva digitalizacija, dobijaju se digitalne slike. Digitalna slika definiše se kao odmjerena, kvantovana funkcija dvije varijable koja je generisana optičkim sredstvima, odmjerena u jednako razmaknutim tačkama i kvantovana jednakim intervalima amplitude. Prema tome, digitalna slika se predstavlja dvodimenzionalnom matricom kvantovanih vrijednosti [1].

Digitalizovanje fotografija ima niz prednosti kako u naučnim i istraživačkim primjenama tako i u svakodnevnom životu. Pošto se digitalne slike predstavljaju matricama, obrada, analiza, interpretacija, kompresija i druge vrste manipulacije slikama, svode se na matematičke operacije nad matricama.

Pored toga, i sami digitalni uređaji postaju kvalitetniji i dostupniji. Razvoj tehnologije omogućio je jeftine uređaje visokih performansi koji imaju niz prednosti u odnosu na klasične fotografije. Današnji digitalni aparati, skeneri i kamere imaju visoke rezolucije i kvalitetne boje, a pored toga, i čuvanje takvih fotografija je mnogo jednostavnije i preglednije.

U mnogim oblastima generišu se i koriste veliki broj digitalnih slika. Jedna od prvih primjena su daljinske senzorske slike. To su digitalne slike dobijene satelitskim mjerenjima. Satelitima se snima Zemlja i mjeri refleksija od površine ili atmosferskih slojeva. Takođe snimaju se i termalne emisije u infracrvenom ili mikrotalasnom spektru, i to neki sateliti vrše snimanja samo jednog opsega, dok drugi simultano snimaju više opsega. U današnje vrijeme, postoji mnogo satelita koji obavljaju ovakva snimanja. Digitalne slike koje oni generišu koriste se u nizu naučnih istraživanja, u vojne svrhe, meteorološke i druge. Sve te slike se moraju arhivirati, obraditi i analizirati, a s obzirom na njihov broj, to predstavlja zahtjevan zadatak.

Naftne kompanije su takođe veliki proizvođači i potrošači digitalnih slika. Naftna istraživanja često započinju sa seizmičkim proučavanjima, koja se zasnivaju na ultrazvučnom snimanju i mjerenju geoloških formacija. Na ovaj način dobijaju se podaci koji se procesiraju u dvo ili trodimenzionalne slike. Pored toga, slike se snimaju u intervalima, pa se u ovakvim primjenama zahtjeva analiza, obrada i arhiviranje velikog broj digitalnih slika koje sadrže veliku količinu podataka, a osim toga često je potrebno kombinovanje podataka dobijenih iz više izvora.

Astronomija je takođe jedna od oblasti koja koristi i obrađuje veliki broj slika. Astronomske slike se dobijaju snimanjem u različitim opsezima spektra, a tako dobijene slike se međusobno porede i kombinuju da bi smo dobili odgovarajuće informacije. Znači i astronomija je oblast gdje je potrebno pretraživanje i analiza velikog broja slika, pa digitalne slike već osamdesetih godina preuzimaju primat u ovoj oblasti [2].



Biometrička identifikacija zasniva se na fizičkim osobinama koje su jedinstvene za svaku osobu. To uključuje identifikaciju preko otisaka prstiju, oblika ruke, rasporeda vena na rukama, skeniranja retine, prepoznavanja lica itd. Cilj biometričke identifikacije je pronalaženje osobe na osnovu određenih fizičkih karakteristika. Bilo koja od pomenutih metoda sastoji se u poređenju slika na kojima se nalaze opisane karakteristike sa slikama iz baze podataka. Digitalne slike ovaj posao čine mnogo jednostavnijim i bržim jer omogućavaju automatsko pretraživanje i poređenje [3].

Još jedna oblast koja koristi digitalne slike je medicina. U medicini, veliki broj dijagnostičkih postupaka zasniva se na analizi slika. Tu spadaju rentgentski snimci, CT, ultrazvučne slike, magnetna rezonanca, distribucija hemijskih elemenata u organima (PET) i mnoge druge. Digitalne slike čine analizu i interpretaciju mnogo jednostavnijom, a veliki izazov je i formiranje baza biomedicinskih slika za poređenje i istraživanje različitih oboljenja na osnovu sličnosti i razlika medicinskih snimaka.

U posljednje vrijeme visoko kvalitetni sistemi za akviziciju digitalnih slika postaju sve više dostupni svakom korisniku. Počev od uređaja za ličnu upotrebu kao što su digitalne kamere i skeneri velike rezolucije, preko profesionalnih skenera sa vrlo preciznom kalibracijom boje pa sve do kompleksnih medicinskih instrumenata kao što su digitalna mamografija ili digitalni radiološki senzori. Pored akvizicije digitalnih slika značajan faktor je i njihova kompresija. Sa povećanjem kvaliteta digitalnih uređaja povećava se i veličina digitalne slike, pa kompresija ima veliku ulogu u arhiviranju. Tehnike kompresije možemo podijeliti u dvije kategorije. Prvu čine tehnike bez gubitaka. One obezbjeđuju tačnu rekonstrukciju originalne slike uz smanjenje veličine faktorom 2 ili najviše faktorom 3. Drugu kategoriju čine tehnike kompresije sa gubicima. One fajla omogućavaju rekonstrukciju neke od aproksimacija originala bez unošenja vizuelne distorzije. Rekonstrukcije su, uslovno rečeno neprecizne, ali je moguća kompresija faktorom 10 ili više. Pored razvoja softvera i različitih tehnika kompresije i razvoj kompjuterskog hardvera znatno je uticao na sve veću primjenu digitalnih slika. Digitalne slike zauzimaju dosta memorijskog prostora, a pojavom sve više vrsta medija velikog kapaciteta i male cijene, problem memorijskog prostora je znatno umanjen. Memorija je samo jedan od faktora koji je ograničavao upotrebu digitalnih slika. Još jedan značajan faktor je rezolucija video displeja, koja je presudna u nizu primjena kao što je medicina gdje se zahtjevaju velike rezolucije (2000x2000 piksela), visoki kontrasti, veliki dinamički opseg i ograničena geometrijska distorzija [2].

Sve više naučnih oblasti koristi se digitalnim slikama kao sredstvom za rad. Razvoj tehnologije učinio je njihovu upotrebu jednostavnom i dostupnom. Međutim, većina primjena zahtjeva efikasno pronalaženje slika unutar baza (kolekcija), pa je prepoznavanje i klasifikacija digitalnih slika postala jedan od centralnih zadataka. Ovaj problem nije jednostavan. Slike naime, po svojoj prirodi ne sadrže jednoznačno definisane informacije. Da bi identifikacija i klasifikacija bila moguća, neophodno je prethodno definisati informacije koje su sadržane na slici. Definisanje sadržaja slike zovemo indeksiranje ili reprezentacija sadržaja slike. Tehnike koje nastoje da indeksiraju vizuelna obilježja digitalnih slika jednim imenom nazivaju se *pronalaženje slika na osnovu sadržaja - Content-Based Image Retrieval (CBIR)*. Sve ove tehnike teže da pronalaženje slika bude na osnovu osobina koje se mogu dobiti automatski. Upiti za pretraživanje su podijeljeni na tri nivoa zasnovana na složenosti. Prvi nivo čini pretraživanje po osnovnim karakteristikama- boji, teksturi i obliku. U okviru ovog nivoa, tehnike zasnovane na boji koriste uglavnom kolor histograme i kumulativne kolor

histograme. U ovom postupku svakoj slici koja se dodaje u bazu određuje se kolor histogram koji se čuva uz sliku. Pronalaženje odgovarajuće slike iz baze se zasniva na izdvajanju slike sa najbližim kolor histogramom. Teksture su korisne prilikom raspoznavanja područja sličnih boja (npr. nebo i more). Za mjerenje sličnosti tekstura u upotrebi su razne tehnike kao što su tehnike zasnovane na periodičnosti, direkcionalnosti ili alternativne tehnike koje koriste Gabor filtre i fraktale [4]. Indeksiranje po obliku podrazumjeva izdvajanje kontura objekata, njihovo indeksiranje i poređenje.

Upiti drugog nivoa, predstavljaju nadogradnju prvog nivoa koji pored pretraživanja po osnovnim karakteristikama uključuju i izvedene logičke osobine. Na taj način omogućeno je povezivanje pojedinih osnovnih karakteristika da bi se obezbijedila što preciznija reprezentacija sadržaja. Treći nivo uključuje dodavanje apstraktnih atributa reprezentacijama prva dva nivoa. Dok upiti prvog nivoa predstavljaju osnovu CBIR sistema, upiti drugog i trećeg nivoa čine osnovu za dalji razvoj CBIR sistema.

Cilj ovog rada je analiza konturnih deskriptora u pretraživanju baza slika. U narednoj glavi biće analizirana kontura objekta kao osnova za konturnu deskripciju. Kontura je predstavljena nizom koordinata tačaka. Broj tačaka konture zavisi od njenog oblika, rezolucije i dimenzija slike. Da bi pretraživanje bilo moguće neophodno je normalizovati konturu na određen broj tačaka. Izbor broja tačaka pri normalizaciji utiče na dalju obradu, pa je posebno analiziran kroz niz primjera.

Nakon normalizacije broja tačaka konture slijedi postupak određivanja signatura oblika (shape signatures). Signaturama oblika zovemo bilo koju jednodimenzionalnu funkciju koja opisuje dvodimenzionalni oblik granica. Postoji nekoliko načina za zapisivanje kontura kao što su: kompleksne koordinate, centroidna distanca, krivina, kumulativna ugaona funkcija itd. Svaka od nabrojanih signatura ima za cilj da na što bolji način zadrži bitne parametre oblika, a istovremeno neutrališe neke od nepoželjnih osobina. Izbor signatura takođe utiče na indeksiranje objekta pa će biti izvršena uporedna analiza različitih signatura.

Kada je objekat opisan signaturom, može se pristupiti deskripciji. Ona se zasniva na primjeni određene transformacije koja će zadržati osnovne informacije o obliku, a istovremeno potisnuti "nevažne informacije", tj. biti invarijantna na translaciju, rotaciju i skaliranje.

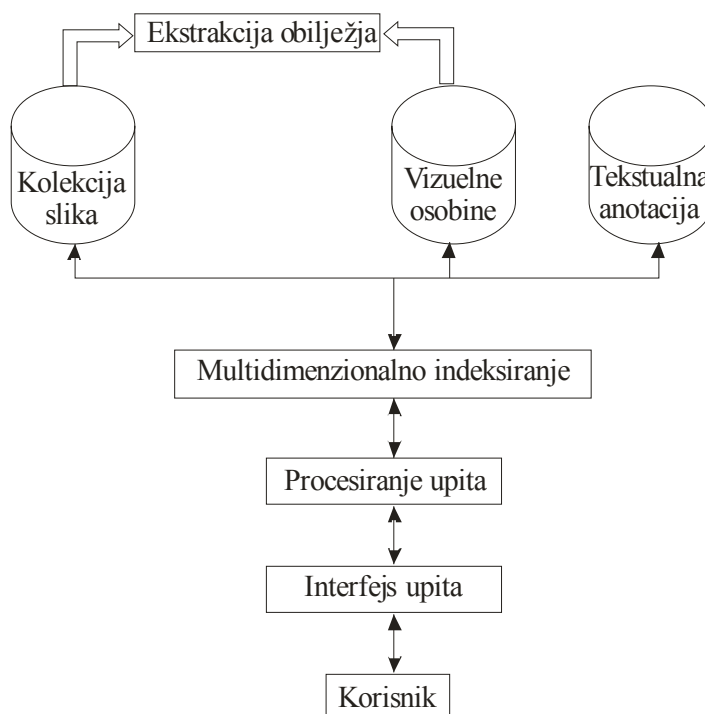
Postoji mnogo različitih konturnih deskriptora, a u ovom radu biće analizirani spektralni deskriptori. Ovi deskriptori su reprezentacija oblika dobijena nekom od spektralnih transformacija signatura. Dva najčešće korištena deskriptora su Fourierovi i Wavelet deskriptori. Efikasnost oba navedena deskriptora biće analizirana promjenom parametara. Za Fourierove deskriptore kao parametri analiziraće se vrsta signatura, broj tačaka i broj deskriptora, dok kod Wavelet deskriptora za parametre su izabrani signatura, broj tačaka i red wavelet transformacije. Da bi odredili efikasnost deskriptora izvršiće se njihova statistička procjena. Efikasnost će se ispitivati prema sposobnosti deskriptora za izdvajanje različitih klasa objekta kao i prema procentu ispravno pronađenih slika u bazi. Rezultati su pojedinačno sumirani za svaki deskriptor, a na kraju je izvršeno i njihovo međusobno poređenje.

## 2. PRONALAZENJE SLIKA NA OSNOVU OBLIKA

Početak devedestih godina, razvojem Interneta i novih tehnologija za izradu i obradu digitalnih slika, dolazi do znatnog povećanja broja digitalnih slika koje se proizvode u medicinskim, industrijskim, naučnim i drugim oblastima. Samim tim, problem pronalazanja odgovarajućih sadržaja unutar velikih baza slika postaje primarni problem.

Sam razvoj CBIR-a ima korijene već u 70-tim godinama kada se prvi put pojavljuju aplikacije za pronalazjenje slika prema sadržaju. Te prve aplikacije temeljile su se na tome da je uz svaku sliku u bazi upisan i tekst koji opisuje sadržaj slike. Programi za pronalazjenje su se zasnivali na pretraživanju teksta koji opisuje slike. Ove tehnike zovu se *text-based image retrieval*. Pomoću tekstualnih opisa slika, bilo je moguće sortiranje slika prema sadržaju, kategoriji, jednostavna navigacija i jednostavni upiti za izdvajanje. Međutim, generisanje teksta za opis nije moguće izvršiti automatski, pa se ovaj dio posla vršio ručno. Sa povećanjem broja i raznovrsnosti slika koje su svakim danom sve više bile u upotrebi, ove tehnike postaju nezadovoljavajuće.

Početak 90-tih godina, prvi put pojavljuju se tehnike izdvajanja slika na osnovu njihovog vizuelnog sadržaja. Kao što je već rečeno, sve ove tehnike jednim imenom zovu se CBIR. CBIR koristi vizuelna obilježja kao što su boja, oblik ili tekstura da bi predstavio i indeksirao sadržaj slike. Ovim tehnikama slike i njihov sadržaj predstavljene su multidimenzionalnim vektorima obilježja [5].



Slika 2.1. - Arhitektura sistema za pronalazjenje slika

Tipični CBIR sistem prikazan je na Slici 2.1. Kolekcija slika sadrži osnovne objekte koji služe kao baza za poređenje. Izdvajanjem obilježja i smještanjem u bazu formira se nova baza koja sadrži vektore koji opisuju odgovarajuće slike. Takođe, uz slike se mogu postaviti i tekstualni opisi koji će se koristiti prilikom pretraživanja i opisivanja. Postupak pronalazjenja sastoji se u tome da se multidimenzionalnim indeksiranjem sadržaja vrši opis odgovarajućih slika unutar baze i slika koje se pretražuju, a zatim se odgovarajućim upitima na osnovu zadatih kriterija izdvajaju i preko interfejsa korisniku prikazuju dobijeni rezultati [2].

Jedan od ključnih koraka ovog postupka je izdvajanje obilježja i formiranje multidimenzionalnih vektora. Obilježja koja se indeksiraju zavise od primjene odnosno vrste slika koje se nalaze u bazi. Za osnovna obilježja, boju, teksturu i oblik, razvijene su odgovarajuće tehnike koje ih automatski izdvajaju i na osnovu njih formiraju multidimenzionalne vektore - deskriptore.

Zbog naglog porasta obima multimedijalnih podataka, i sve veće potrebe za njihovim efikasnim indeksiranjem, pretraživanjem i pronalazjenjem, Međunarodna organizacija za standardizaciju (ISO) i Međunarodna komisija za elektrotehniku (IEC) su definisale *Interfejs za opis multimedijalnog sadržaja*, poznatog pod imenom MPEG-7 standard. Ovaj standard definiše opis multimedijalnih podataka, a njegovi osnovni normativi su deskriptori, deskripcione šeme, jezik za definisanje opisa i metode za kodiranje opisa. U vizuelnom dijelu MPEG-7 sandarda definisani su deskriptori boje, teksture, oblika i pokreta. Kao ni za ostale deskriptore, ni vizuelnim deskriptorima u MPEG-7 standardu nije definisan način izdvajanja obilježja kao ni upotreba za određivanje sličnosti slika, već su samo definisane sintaksa i semantika kako bi ih aplikacije usklađene sa standardom mogle dekodirati i obraditi. Što se tiče deskriptora oblika MPEG-7 definiše kako 2D tako i 3D deskriptore oblika, dok za reprezentaciju 2D oblika definiše deskriptore zasnovane na regionu i deskriptore zasnovane na konturi [6].

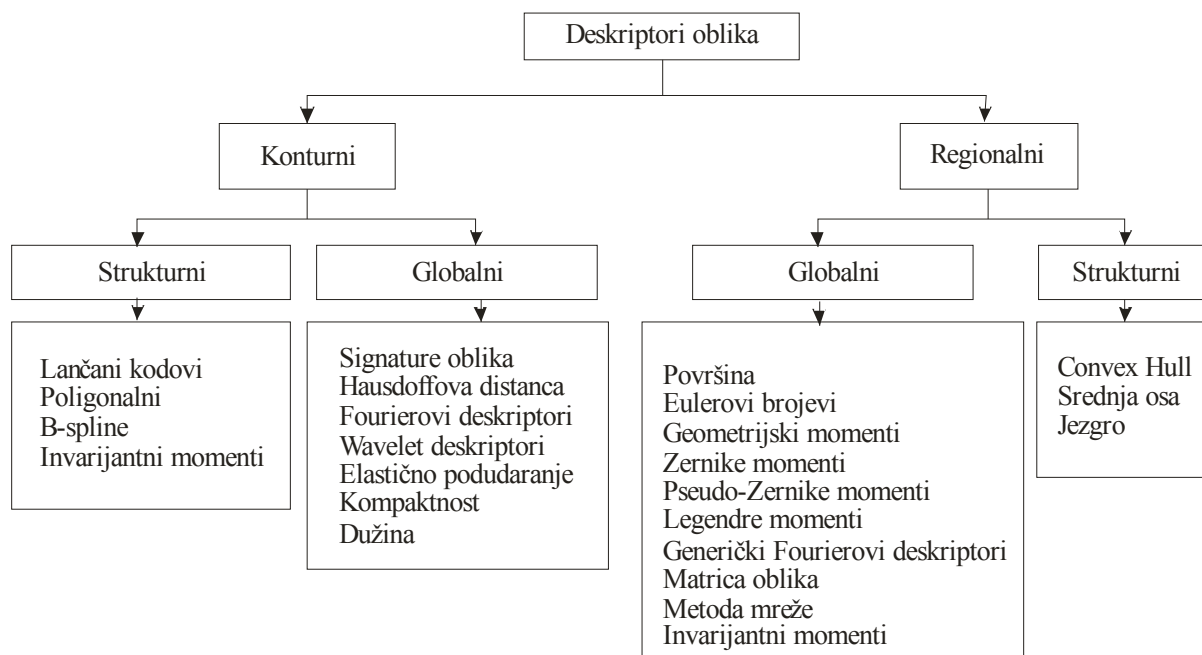
## 2.2. Konturni deskriptori

Indeksiranje slika na osnovu oblika u poslednje vrijeme nalazi sve više primjena<sup>1</sup>. Razvijene su mnoge tehnike deskripcije koje uzimaju u obzir različite karakteristike oblika pri formiranju deskriptora.

Na Slici 2.2 [7] prikazana je jedna od klasifikacija deskriptora oblika. Po osnovnoj podjeli deskriptore oblika dijelimo na konturne i regionalne. Konturni deskriptori formiraju se na osnovu zatvorene krive linije koja okružuje objekat - konture objekta, dok regionalni uzimaju u obzir područje unutar zatvorene konture. Oba načina imaju svoje prednosti i nedostake, a na izbor utiče konkretna primjena.

---

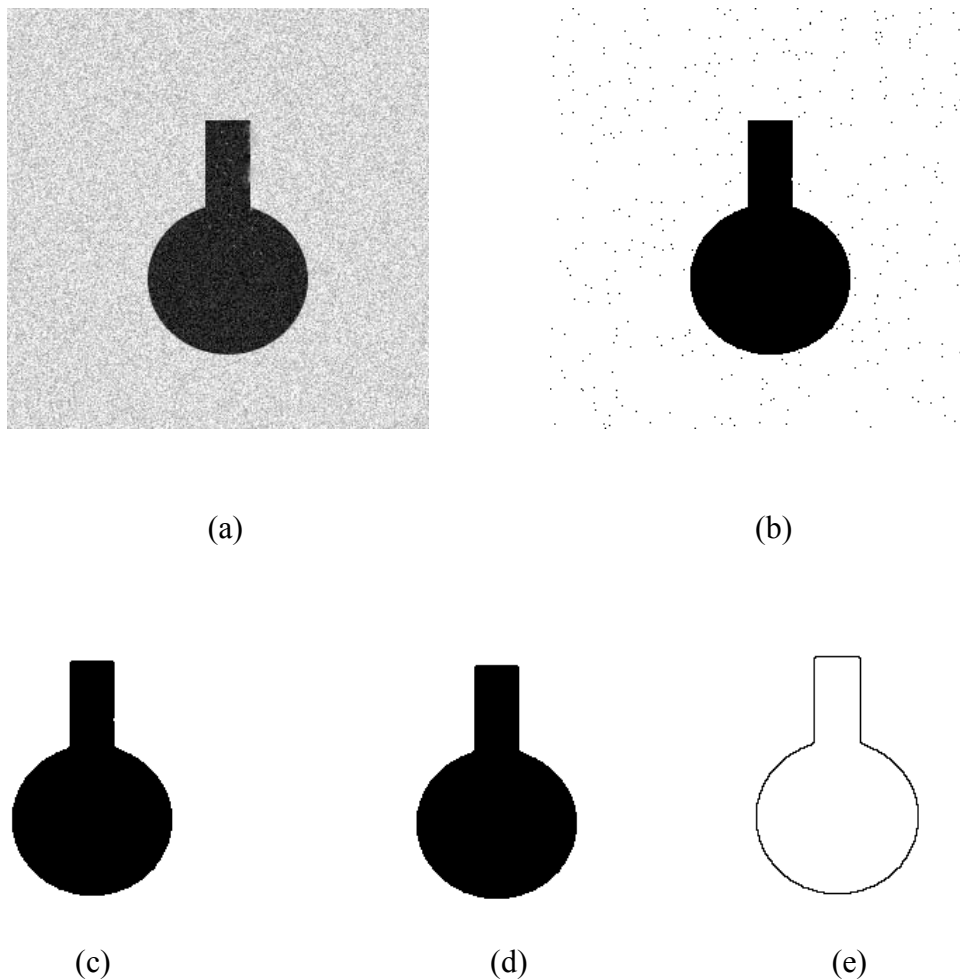
<sup>1</sup> Zaštitni znakovi i logo; Medicina (pronalaženje emfisema CT pluća, patološke promjene na zubnim snimkama, pronalaženje tumora...); Baze dokumenata (pronalaženje odgovarajućih arhitektonskih crteža, tehničkih, mašinskih crteža i sl.); Policija i zaštita (pronalaženje otisaka prstiju u bazi) [2]



Slika 2.2. - Podjela deskriptora oblika

Primjena konturnih deskriptora podrazumjeva da posjedujemo informacije o konturi objekta. Da bi te informacije dobili sa ulazne digitalne slike, potrebno je sliku pripremiti, tako da dobijeni podaci budu što tačniji i precizniji. Priprema slike podrazumijeva:

- binarizaciju - najjasniju i najprecizniju konturu dobićemo iz binarne slike, jer su za konturu nijanse i boje suvišne i nepotrebne.
- prigušivanje šuma - prilikom snimanja slika, skoro uvijek je prisutna određena degradacija šumom. Bilo da je nastao iz mehaničkih razloga, lošeg fokusiranja, osvjetljenosti ili u samom procesu digitalizacije, šum je potrebno prigušiti prije postupka deskripcije.
- povezivanje granice - postupak binarizacije i prigušivanja šuma, unosi određenu degradaciju samog oblika objekta na slici. Nastaju bjeline i procjepi koji mogu narušiti rub objekta koji je za postupak deskripcije od ključnog značaja. Zbog toga se, kao dio pripreme slike, radi i zatvaranje. Zatvaranje slike je morfološki postupak koji popunjava izolovane bijele piksele i na taj način objekat čini kompaktnim. Sam postupak zatvaranja je operacija u kojoj dilataciju slijedi erozija istim strukturnim elementom.
- izdvajanje konture - konturu možemo izdvojiti različitim metodama. Jedan od mogućih načina je primjenom morfoloških operacija. Rubni pikseli su oni koji imaju najmanje jedan susjedni piksel sa pozadinom. Erozija jednostavnim strukturnim elementom uklanja baš te rubne piksele, te se ta činjenica koristi prilikom dizajniranja morfološkog operatora za izdvajanje rubova. Naime, ako od originalnog objekta oduzmemo objekat koji smo prethodno podvrgli eroziji, kao rezultat dobijamo rub.



Slika 2.3. - (a) Ulazna slika; (b) Binarizacija; (c) Prigušivanje šuma; (d) Povezivanje; (e) Izdvajanje konture<sup>2</sup>

Od izdvojene konture objekta formira se funkcija koordinata. Funkciju koordinata konture predstavlja niz  $(x,y)$  koordinata konture, koji formiramo polazeći od proizvoljne početne tačke  $(x_0,y_0)$  i obilazeći konturu u smjeru kazaljke na satu.

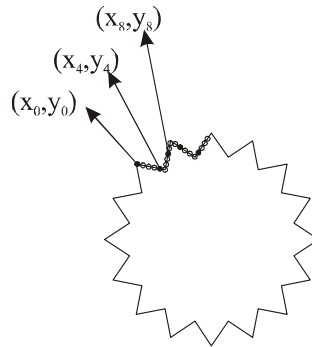
### 2.3. Normalizacija broja tačaka konture

Broj tačaka konture zavisi od složenosti oblika, veličine i rezolucije slike. Za samu deskripciju nije neophodno imati sve tačke konture. Smanjivanjem broja tačaka ubrzava se postupak izračunavanja deskriptora. S druge strane, prilikom poređenja objekta sa modelom, podrazumijeva se da su obe konture opisane istim brojem tačaka. Zbog svega navedenog broj tačaka konture se normalizuje na neku unaprijed definisanu vrijednost. Pri tom treba voditi računa da će od broja tačaka konture zavisti koliko detaljno možemo opisati i uporediti objekat.

<sup>2</sup> Fajl: Priprema.m

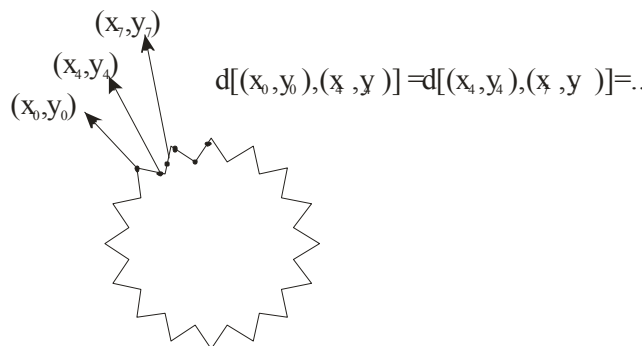
Generalno postoje tri metoda za normalizaciju konture [7] (1) odmjeravanje u jednakom broju tačaka, (2) odmjeravanje jednakim uglovima, (3) odmjeravanje jednakim dužinama.

Na Slika 2.4 prikazano je odmjeravanje sa jednakim brojem tačaka koje podrazumjeva da za tačke normalizovane konture uzimamo tačke originala koje su međusobno udaljene za isti broj tačaka  $L/K$  ( $L$ -ukupan broj tačaka konture,  $K$  - broj tačaka normalizovane konture)



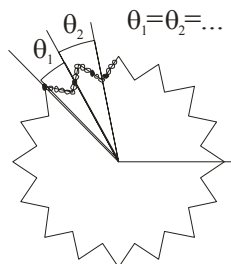
Slika 2.4. - Normalizacija sa jednakim brojem tačaka

Odmjeravanje jednakim dužinama, prikazano na Slika 2.65, podrazumjeva da biramo tačke koje imaju jednako rastojanje  $d=P/K$  ( $P$  dužina konture,  $K$  - broj tačaka normalizovane konture).



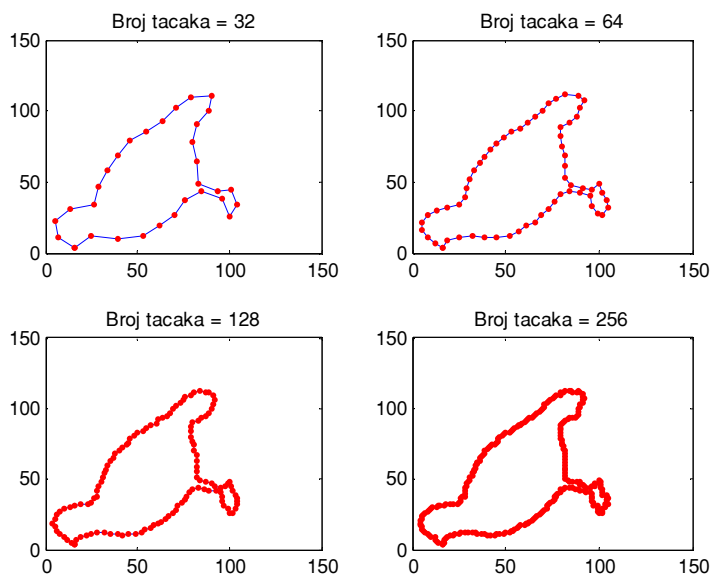
Slika 2.5. - Normalizacija sa jednakim dužinama

Na Slika 2.76 prikazano je odmjeravanje jednakim uglovima koje podrazumjeva da biramo tačke koje su udaljene za isti ugao  $\theta=2\pi/K$  ( $K$  - broj tačaka normalizovane konture).

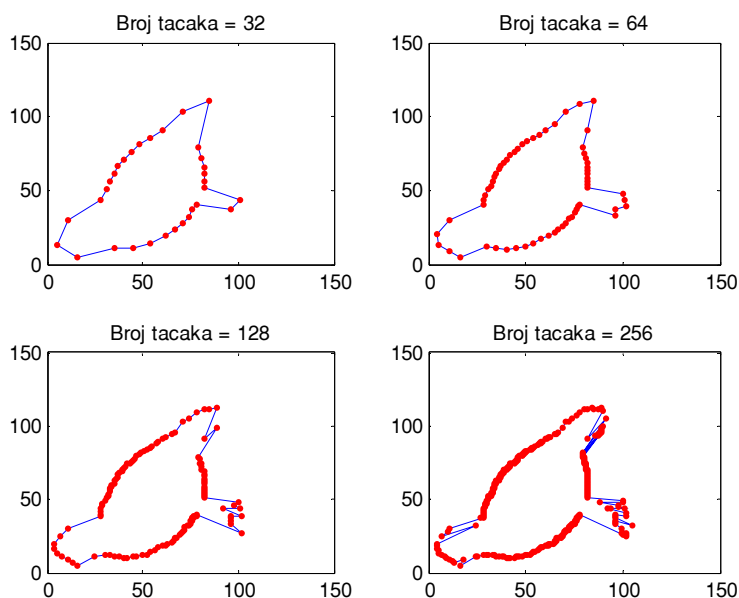


Slika 2.6. - Normalizacija sa jednakim uglovima

Prvi i drugi metod normalizacije daju slične rezultate, dok je metod jednakih uglova nešto lošiji. Razlog tome leži u činjenici da biranjem tačaka na taj način postoji mogućnost "zaobilaženja" naglih promjena oblika. Na Slika 2.7 prikazani su rezultati normalizacije primjenom metode jednakih dužina, dok Slika 2.8 prikazuje konturu normalizovanu primjenom metode jednakih uglova. Vidljivo je da bolje rezultate dobijamo prvom metodom. Naime, metoda jednakih uglova daje mali broj tačaka u ravnim dijelovima konture tj. dijelovima gdje je mala promjena ugla.



Slika 2.7. - Normalizacija konture sa jednakim brojem tačaka<sup>3</sup>



Slika 2.8. - Normalizacija konture sa jednakim uglovima<sup>4</sup>

<sup>3</sup> fajl: normalizacijaprimjer.m

<sup>4</sup> fajl: normalizacijaprimjer.m



## 2.4. Signature oblika

Signaturom oblika zovemo bilo koju jednodimenzionalnu funkciju koja predstavlja dvodimenzionalnu konturu. Prilikom formiranja takve funkcije, cilj je što jednostavnije i preciznije opisati bitne osobine oblika, i ako je to moguće, učiniti signaturu invarijantnom na translaciju, rotaciju, skaliranje. Postoje različite funkcije koje mogu predstavljati signature oblika, a u narednim tačkama biće analizirane [8,9]:

- kompleksne koordinate
- centroidna distanca
- kurvatura
- kumulativna ugaona funkcija

### Kompleksne koordinate

Funkcija kompleksnih koordinata predstavlja jednostavno zapisivanje koordinata rubinih piksela u obliku kompleksnog broja.

Za koordinate konture (x,y) imamo:

$$z(t) = x(t) + iy(t) \quad (2.1)$$

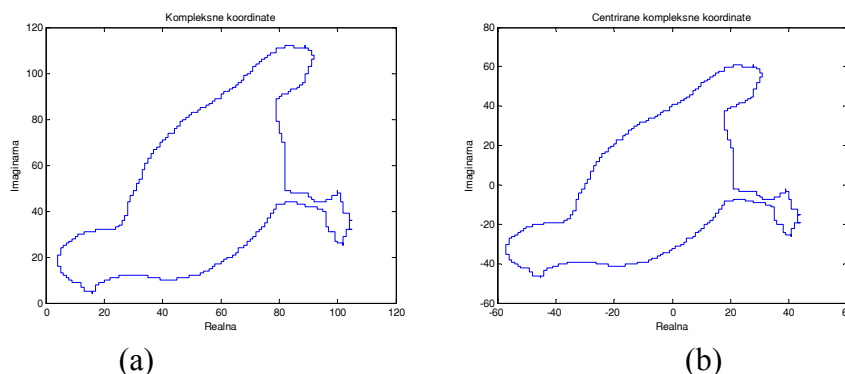
Da bi zapis oblika učinili invarijantnim na translaciju, koriste se pomjerene koordinate:

$$z(t) = [x(t) - x_c] + i[y(t) - y_c] \quad (2.2)$$

Gdje je  $(x_c, y_c)$  centar, koji određujemo kao srednju vrijednost koordinata ruba:

$$x_c = \frac{1}{L} \sum_{t=0}^{L-1} x(t), y_c = \frac{1}{L} \sum_{t=0}^{L-1} y(t), \quad L\text{-broj tačkaka ruba} \quad (2.3)$$

Na Slika 2.9(a) prikazana je kontura pomoću kompleksnih koordinata, dok Slika 2.9(b) prikazuje konturu preko centriranih kompleksnih koordinata.



Slika 2.9. - Kontura predstavljena pomoću (a) kompleksnih koordinata (b) centriranih kompleksnih koordinata<sup>5</sup>

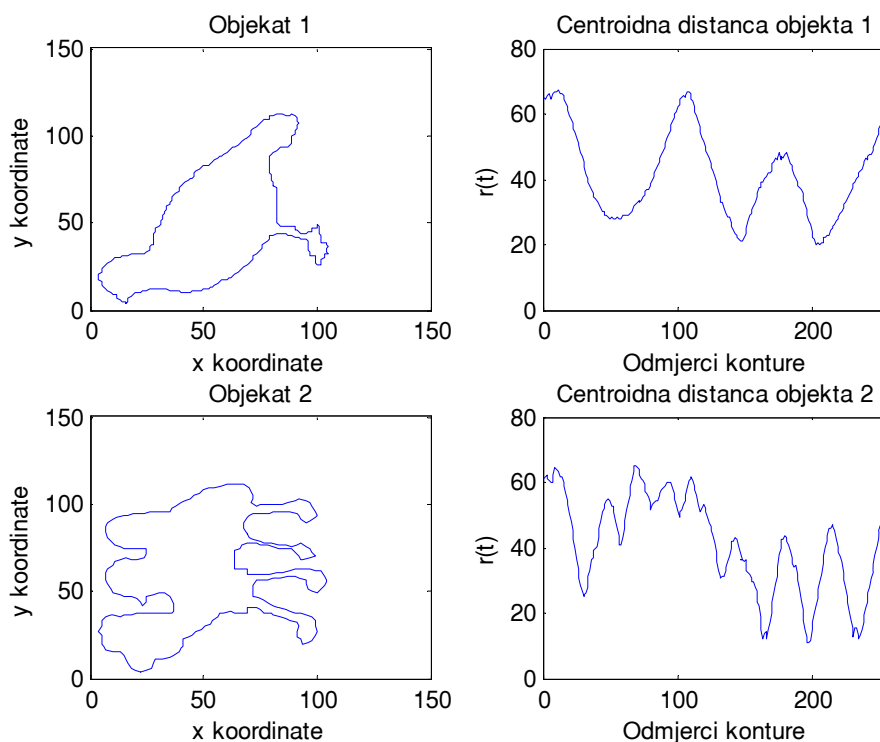
<sup>5</sup> fajl: signature.m

### Centroidna distanca

Centroidna distanca je funkcija koja predstavlja udaljenost rubnih tačaka od centra objekta.

$$r(t) = \sqrt{([x(t) - x_c]^2 + [y(t) - y_c]^2)}^6 \quad (2.4.)$$

Na Slika 2.10 dat je primjer centroidne distance dva objekta. Možemo uočiti da ova funkcija sitne detalje opisuje VF komponentama male amplitude, što je korisno jer im na taj način ne daje prevelik značaj.



Slika 2.10. - Kontura predstavljena preko centroidne distance<sup>7</sup>

### Kurvatura

Konturu možemo predstaviti i preko uglova koje gradi tangenta sa konturom. Kurvatura predstavlja drugi izvod ruba i prvi izvod tangente ruba. Kurvatura je definisana kao diferenciranje sukcesivnih uglova tangente ruba u odnosu na horizontalnu osu računatih u prozoru širine  $w$ .

<sup>6</sup>  $(x_c, y_c)$  koordinate centra oblika i određujemo ih prema formuli (2.3.)

<sup>7</sup> fajl: signature.m

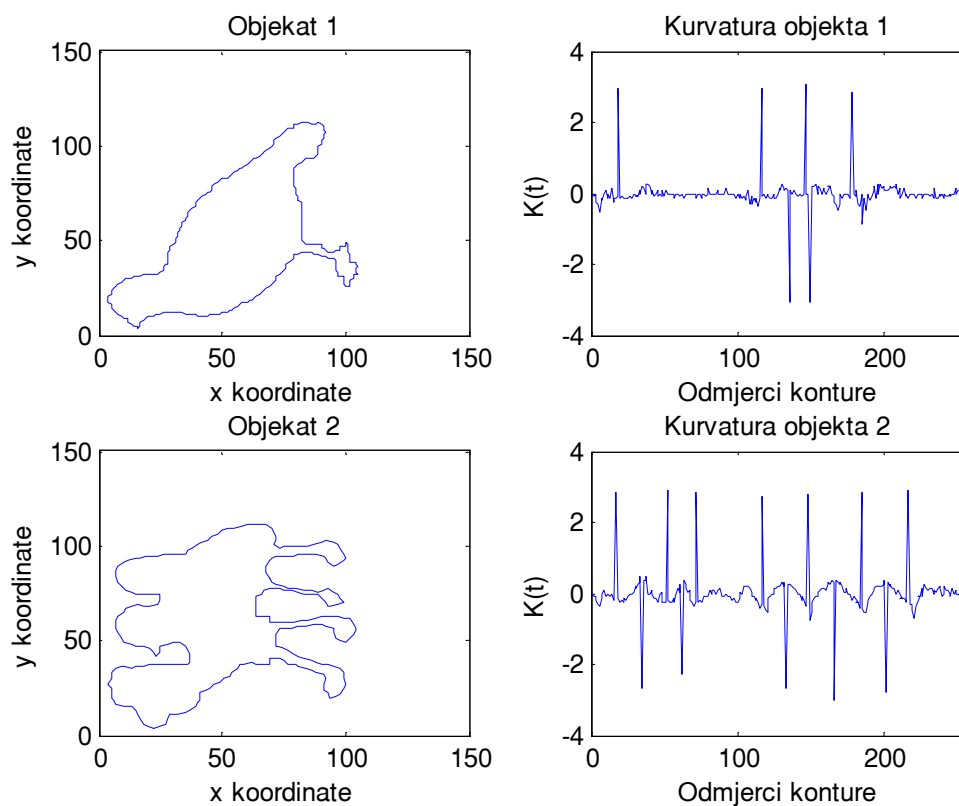
$$K(t) = \theta(t) - \theta(t-1) \quad (2.5.)$$

gdje je

$$\theta(t) = \arctan \frac{y(t) - y(t-w)}{x(t) - x(t-w)} \quad (2.6.)$$

Treba naglasiti da tangentna ugaona funkcija definisana izrazom (2.5.) ima diskontinuitete za veličine  $2\pi$ .

Na Slika 2.11 prikazane su kurvature dva objekta. Vidljivo je da kurvaturom dominiraju diskontinuiteti, a njihov broj je manji što je kontura ravnomjernija.



Slika 2.11. - Kontura prikazana preko kurvature<sup>8</sup>

### Kumulativna ugaona funkcija

Zbog nedostataka tangentne ugaone funkcije u vidu diskontinuiteta, uvodi se kumulativna ugaona funkcija  $\varphi(t)$ . Nju definišemo sa:

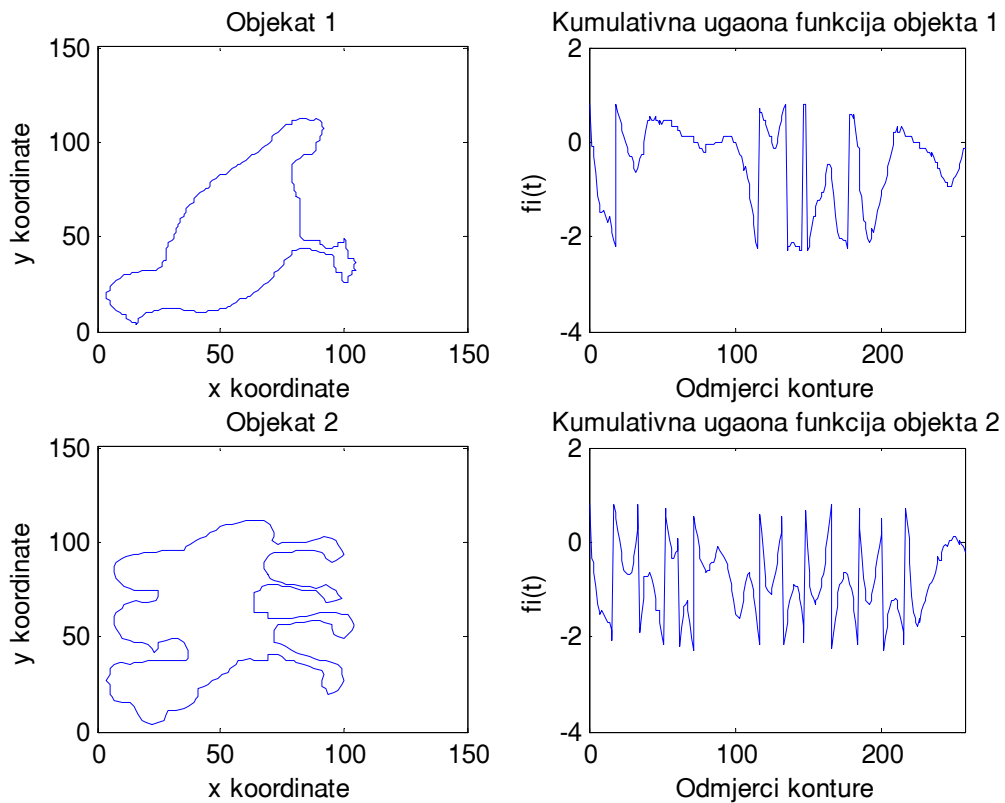
$$\varphi(t) = [\theta(t) - \theta(0)] \bmod(2\pi) \quad (2.7.)$$

<sup>8</sup> fajl: signature.m

Da bi smo ovu funkciju prilagodili ljudskoj intuiciji da je krug "bez oblika", uvodi se i normalizovana ugaona funkcija  $\psi(t)$  koja se definiše sa:

$$\psi(t) = \varphi\left(\frac{L}{2\pi}t\right) - t \quad (2.8.)$$

Slika 2.12 prikazuje kumulativne ugaone funkcije dva objekta. Uočavamo da je rješen problem diskontinuiteta koji su postojali kod kurvure, a pored toga vidimo da kumulativnom ugaonom funkcijom, za razliku od centroidne distance, dominiraju VF komponente.



Slika 2.12. - Kontura predstavljena kumulativnom ugaonom funkcijom<sup>9</sup>

<sup>9</sup> fajl: signature.m

## 2.5. Mjere sličnosti

Upiti za pretraživanje baza slika nešto se razlikuju od klasičnih upita. Osnovni princip izdvajanja je tzv. izdvajanje na osnovu sličnosti, gdje korisnik postavlja proizvoljnu sliku kao obrazac za pretraživanje. Na osnovu te slike formira se vektor obilježja i dalje se vrši poređenje tog vektora sa vektorima u bazi i prikazuju se dobijeni rezultati. Upite na osnovu sličnosti možemo grupisati u tri osnovne klase:

1. *Pronalaženje opsega*: traže se sve slike čija je osobina 1 u opsegu  $r_1$ , osobina 2 u opsegu  $r_2$ ...
2. *Pronalaženje k-najsličnijih susjeda*: pronalazi se k najbližijih slika zadatoj slici
3. *Unutrašnja distanca (ili  $\alpha$ -presjek)*: pronaći sve slike sa mjerom sličnosti boljim od  $\alpha$  u odnosu na zadatu sliku, ili sve slike sa distancom većom od  $d$  u odnosu na zadatu sliku

Prvi tip upita zahtjeva složen interfejs kao i kompleksni programski jezik za upite kao što je SQL. Treći tip upita zasniva se na distanci i mjeri sličnosti. Mjera sličnosti je nenegativna funkcija, koja je ograničena odozgo, i daje veće vrijednosti boljim podudaranjima. Drugi tip upita zasniva se na mjerama sličnosti, koje će biti obrađene u ovom radu.[2]

Funkcija distance (metrika)  $D(\cdot, \cdot)$ , koja predstavlja mjeru sličnosti, je po definiciji nenegativna, simetrična funkcija koja zadovoljava nejednakost trougla, i ima osobinu da je  $D(x,y)=0$  ako i samo ako je  $x=y$ . Postoji mnogo funkcija distanci, a jedna od najčešće korištenih je Euklidova distanca koja će biti korištena u ovom radu. Euklidova distanca dvodimenzionalnih vektora  $x$  i  $y$  definisana je sa:

$$D^{(2)}(x,y) = \sqrt{\sum_{i=1}^d (x[i]-y[i])^2} \quad (2.9)$$

Za mjerenje efikasnosti i tačnosti izdvajanja koriste se mjere koje se nazivaju preciznost i odziv. Pretpostavimo da se u bazi nalazi  $D$  slika koje zadovoljavaju postavljeni kriterij pretraživanja. Neka je pretraživanjem izdvojeno ukupno  $A$  slika, od čega je  $C$  tačnih rezultata pretraživanja. Preciznost  $P$  i odziv  $R$  se definišu sa:

$$P = \frac{|C|}{|A|} - \text{preciznost} \quad R = \frac{|C|}{|D|} - \quad (2.10)$$

### 3. FOURIEROVI DESKRIPTORI

#### 3.1. Fourierova transformacija

*Fourierova transformacija* (FT) predstavlja signal sumom kompleksnih eksponencijalnih funkcija. U kontinualnom prostoru Fourierov transformacioni par dat je relacijama:

$$\begin{aligned} F(u) &= \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) e^{-j2\pi ux} dx \\ f(x) &= \int_{-\infty}^{+\infty} F(u) e^{j2\pi ux} dx \end{aligned} \quad (3.1.)$$

Ako sad pretpostavimo da je  $f(x)$  diskretna funkcija, u 1D diskretnom prostoru transformacioni par *diskretne Fourierove transformacije* (DFT) dat je sa:

$$\begin{aligned} F(u) &= \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) e^{-j\frac{2\pi ux}{N}}; u = 0, 1, 2, \dots, N-1 \\ f(x) &= \sum_{u=0}^{N-1} F(u) e^{j\frac{2\pi ux}{N}}; x = 0, 1, 2, \dots, N-1 \end{aligned} \quad (3.2.)$$

gdje je  $N$  broj odmjeraka signala.

U opštem slučaju FT je kompleksna funkcija realne varijable (frekvencije) te se može predstaviti amplitudnom i faznom karakteristikom.

$$F(u) = |F(u)| e^{j\theta(u)} \quad (3.3.)$$

#### 3.2. Definicija Fourierovih deskriptora

Neka je  $s(t)$  jednodimenzionalna kompleksna funkcija, koja predstavlja signaturu

$$\vec{U}_k = x_k + jy_k; \quad k = 0:N-1 \quad (3.4.)$$

gdje je  $N$  - broj tačaka konture

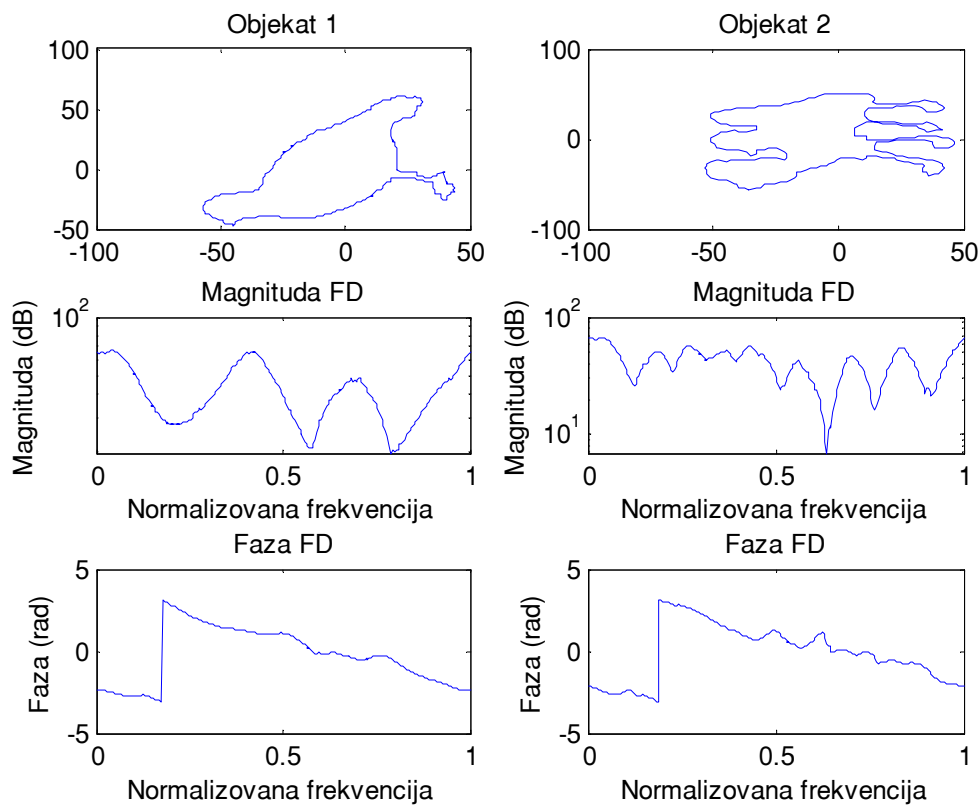
DFT vektora data je sa:

$$\tilde{F}_n = \frac{1}{N} \sum_{t=0}^{N-1} \tilde{U}_k e^{-j \frac{2\pi t n}{N}}$$

(3.5.)

Koeficijente ,  $n=0, 1, \dots, N-1$ , dobijene DFT signature konture nazivamo *Fourierovim deskriptorima* (FD) konture [1].

Na Slika 3.1 prikazane su magnitude i faze Fourierovi deskriptora dva objekta. Možemo uočiti da objekat sa više detalja - objekat 2 ima bogatiji spektar u odnosu na ravnomjerniji objekat.



Slika 3.1. - Fourierovi deskriptori<sup>10</sup>

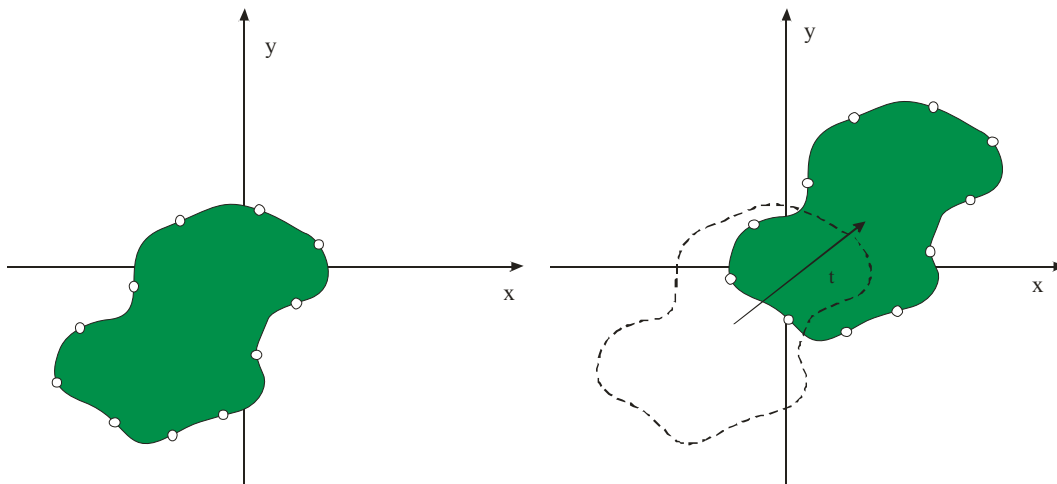
<sup>10</sup> fajl: FDprimjer.m

### 3.3. Osobine Fourierovih deskriptora

Važne osobine deskriptora su invarijantnost na translaciju, rotaciju i skaliranje. S obzirom da FD izvodimo iz neke signature oblika, invarijantnost samih deskriptora zavisi i od toga koju smo signaturu izabrali. FD dobijeni na osnovu kompleksnih koordinata nisu invarijantni, pa ćemo izvršiti analizu osobina FD uz pretpostavku da smo ih formirali iz njih.

#### 3.3.1. Translacija

Posmatrajmo dva objekta identičnog oblika konture, ali na različitim položajima. Pretpostavićemo da je, kao što je pokazano na Slika 3.2, drugi objekat transliran u odnosu na prvi za:



Slika 3.2. Translacija objekta

$$t = \Delta x + j\Delta y \quad (3.6)$$

Neka je  $\tilde{U}_k$  vektor koordinata konture prvog objekta, a

$$\tilde{F}_u = \sum_{k=0}^{N-1} \tilde{U}_k e^{-j\frac{2\pi}{N}uk} \quad (3.7)$$

vektor FD prve konture.

Vektor koordinata druge konture možemo napisati u obliku

$$\tilde{T}_k = \tilde{U}_k + t \quad (3.8)$$



pa je vektor FD za drugu konturu dat sa:

$$\tilde{G}_u = \sum_{k=0}^{N-1} \tilde{T}_k e^{-j\frac{2\pi}{N}uk} = \sum_{k=0}^{N-1} (\tilde{U}_k + t) e^{-j\frac{2\pi}{N}uk} = DFT[\tilde{U}_k] + \sum_{k=0}^{N-1} t e^{-j\frac{2\pi}{N}uk} \quad (3.9.)$$

Za  $u=0$ , drugi član u relaciji (3.9.) je

$$\sum_{k=0}^{N-1} t e^{-j\frac{2\pi}{N}0k} = Nt \Rightarrow \tilde{G}_0 = \tilde{F}_0 + Nt \quad (3.10.)$$

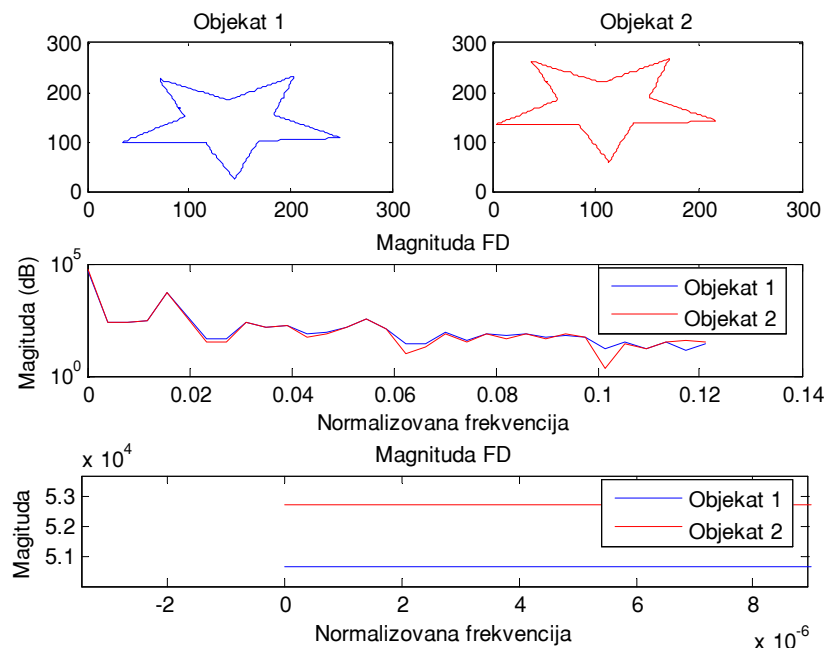
Za  $u>0$ , imamo da je

$$\sum_{k=0}^{N-1} t e^{-j\frac{2\pi}{N}uk} = 0 \quad (3.11.)$$

Iz navedenih relacija vidimo da je informacija o položaju objekta sadržana samo u nultom FD.

$$\tilde{F}_0 \rightarrow \tilde{F}_0 + Nt$$

(3.12.)



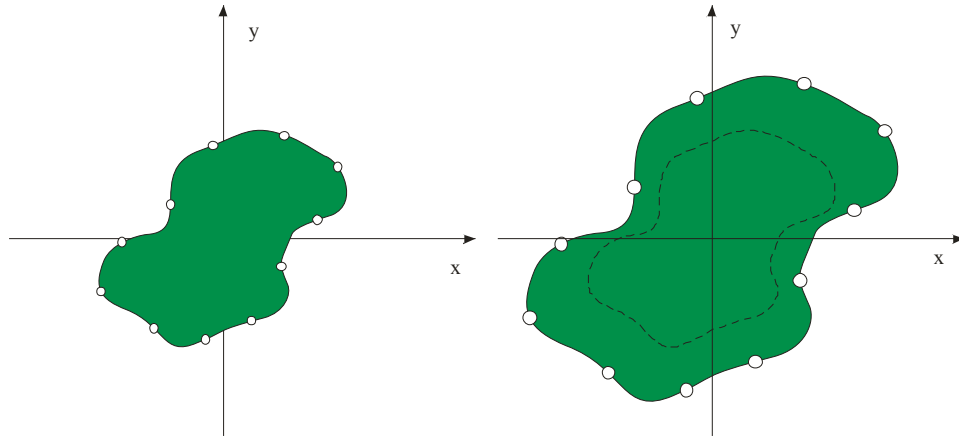
Slika 3.3. - Uticaj translacije na FD<sup>11</sup>

Slika 3.3 prikazuje uticaj translacije objekta. Da bi dobili rezultate bliske realnim, originalna slika (objekat 1) transliran je u PhotoShop-u i dobijen je objekat 2. Pored odstupanja definisanih relacijom (3.12.) prisutna su i druga odstupanja. Njih unose programi za obradu slika, jer oni teže da dobiju vizuelno najbolji objekat zbog čega se uz translaciju uključuju i određeni postupci poboljšanja kao što su interpolacija položaja, filtriranje itd. Međutim, matematički gledano, ovi postupci narušavaju originalni oblik konture zbog čega nastaju dodatna odstupanja između deskriptora.

<sup>11</sup> fajl: FDtransformacije.m

### 3.3.2. Skaliranje

Posmatrajmo dva objekta, identičnog oblika i položaja. Pretpostavimo da je drugi objekat skaliran<sup>12</sup> za faktor  $s$  u odnosu na prvi kao što je prikazano na Slika 3.4.



Slika 3.4. Skaliranje objekta

Pretpostavićemo da je  $\tilde{U}_k$  vektor koordinata prvog objekta, a  $\tilde{F}_u$  vektor FD dat relacijom (3.7.). Vektor koordinata  $\tilde{T}_k$  drugog objekta možemo pisati u obliku:

$$\tilde{T}_k = s\tilde{U}_k \quad (3.13.)$$

Vektor FD, dobijamo kao:

$$\begin{aligned} \tilde{G}_u &= \sum_{k=0}^{N-1} \tilde{T}_k e^{-j\frac{2\pi}{N}uk} = \sum_{k=0}^{N-1} (s\tilde{U}_k) e^{-j\frac{2\pi}{N}uk} = \\ &= s \sum_{k=0}^{N-1} \tilde{U}_k e^{-j\frac{2\pi}{N}uk} = \\ &= sDFT[\tilde{U}_k] = s\tilde{F}_u \end{aligned} \quad (3.14.)$$

Znači, uvećavanje objekta faktorom  $s$ , u frekvencijskom domenu daje:

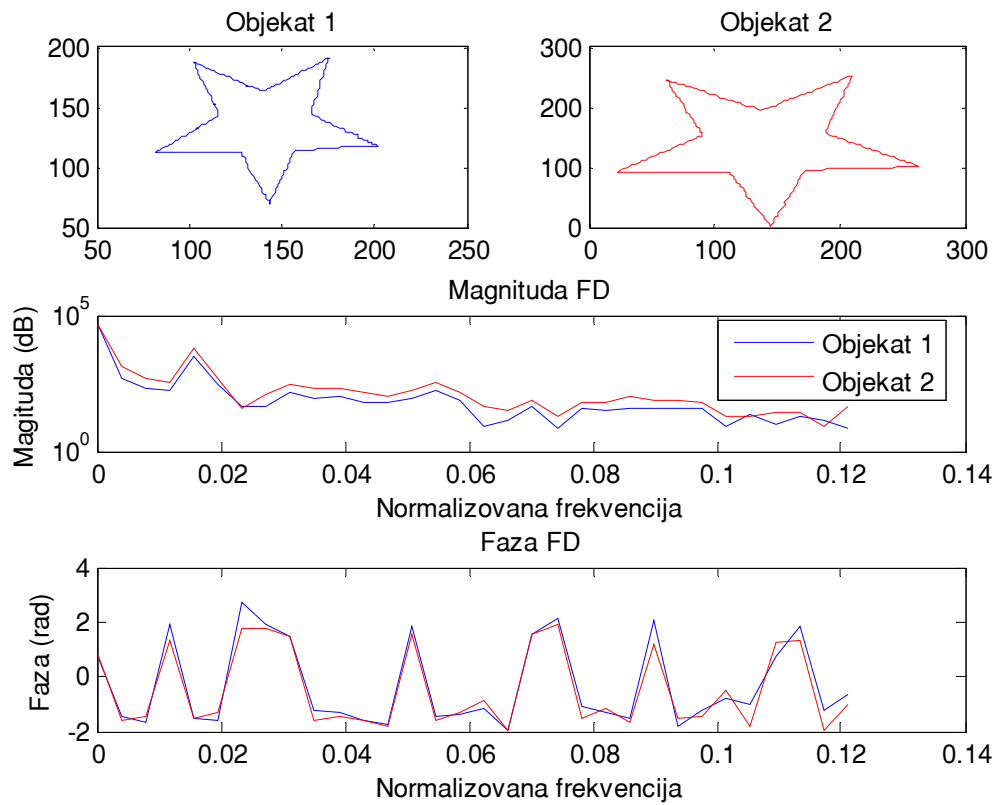
$$\boxed{\tilde{F}_u \rightarrow s\tilde{F}_u} \quad (3.15.)$$

Na Slika 3.5 prikazana su dva objekta identičnog oblika pri čemu je drugi objekat skaliran za faktor  $s$ . Ako posmatramo njihovu magnitudu vidimo da su jednakog oblika ali na međusobno udaljene za  $s$ <sup>13</sup>. Osim ovog odstupanja pristuna su i odstupanja koja unosi PhotoShop<sup>14</sup>.

<sup>12</sup> skaliranje -mijenjanje dimenzija objekta

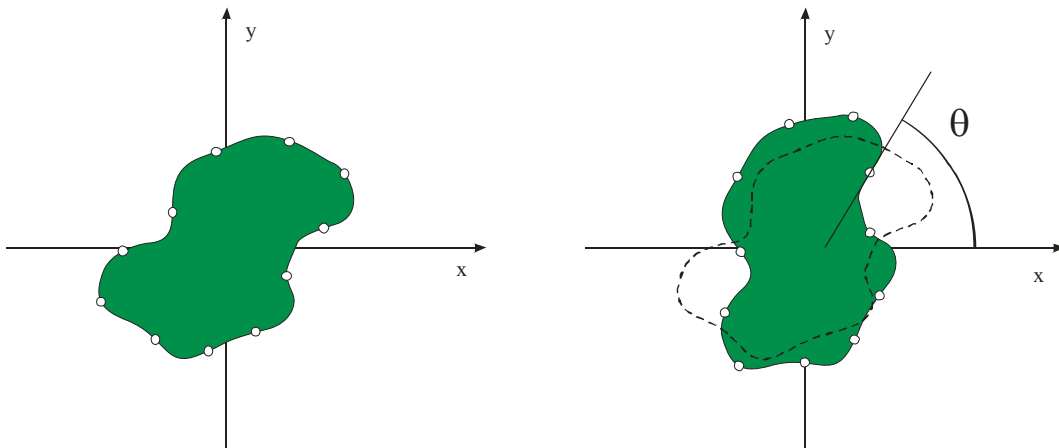
<sup>13</sup>  $\log(s\tilde{F}_u) = \log(s)$

<sup>14</sup> opisano na str. 18

Slika 3.5. - Uticaj skaliranja na FD<sup>15</sup>

### 3.3.3. Rotacija

Posmatrajmo dva objekta identičnog oblika konture, položaja i veličine. Pretpostavimo da je drugi objekat rotiran za ugao  $\theta$  u odnosu na prvi kao što je prikazano na Slika 3.6.



Slika 3.6. Rotacija objekta

<sup>15</sup> fajl: FDtransformacije.m

Pretpostavimo da je  $\tilde{U}_k$  vektor koordinata prvog objekta, a  $\tilde{F}_u$  vektor FD dat relacijom (3.7.). Vektor koordinata  $\tilde{T}_k$  drugog objekta možemo pisati u obliku:

$$\tilde{T}_k = e^{j\theta} \tilde{U}_k \quad (3.16.)$$

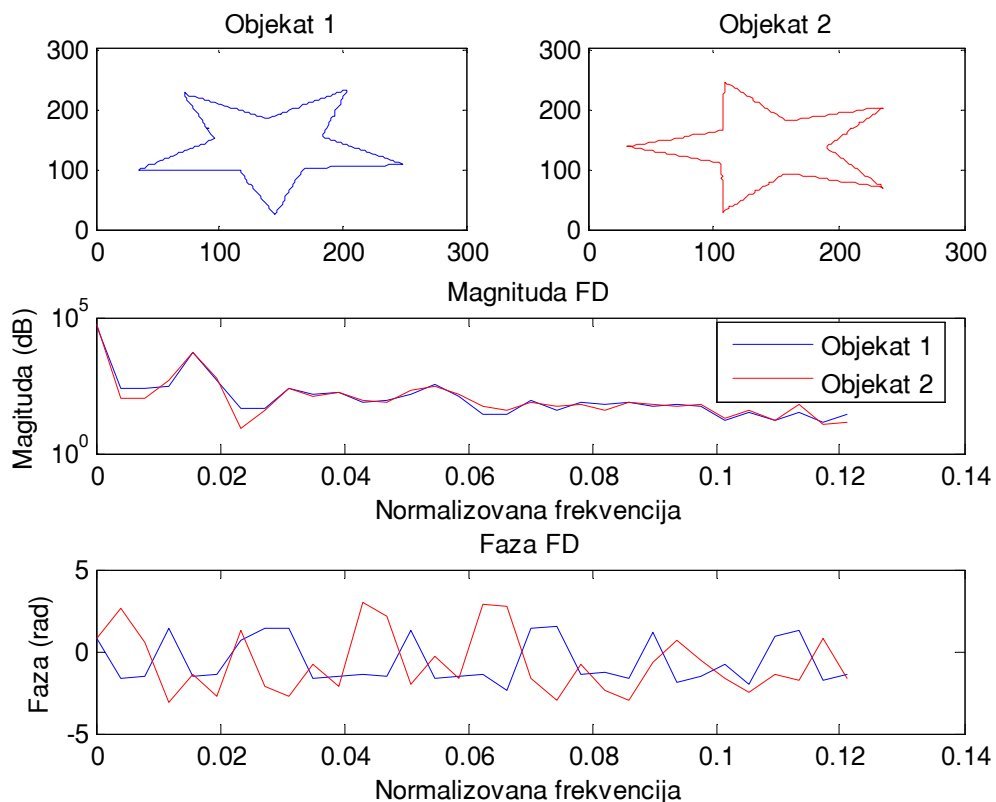
Vektor FD, dobijamo kao:

$$\begin{aligned} \tilde{G}_u &= \sum_{k=0}^{N-1} \tilde{T}_k e^{-j\frac{2\pi}{N}uk} = \sum_{k=0}^{N-1} (e^{j\theta} \tilde{U}_k) e^{-j\frac{2\pi}{N}uk} = e^{j\theta} \sum_{k=0}^{N-1} \tilde{U}_k e^{-j\frac{2\pi}{N}uk} = \\ &= e^{j\theta} DFT[\tilde{U}_k] = e^{j\theta} \tilde{F}_u \end{aligned} \quad (3.17.)$$

Znači, rotacija objekta za ugao  $\theta$ , u frekvencijskom domenu daje:

$$\tilde{F}_u \rightarrow e^{j\theta} \tilde{F}_u \quad (3.18.)$$

Na Slika 3.7 prikazana su objekta identičnog oblika, položaja i veličine međusobno rotirana za ugao  $\theta$ . Vidljiva su odstupanja u fazi koja su posljedica rotacije, dok su odstupanja magnitude nastala zbog programa PhotoShop u kojem je izvršena rotacija<sup>16</sup>.



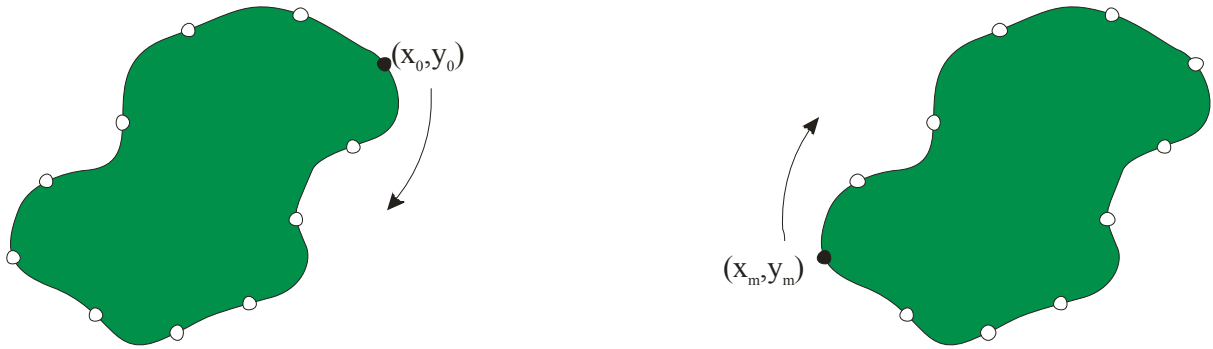
Slika 3.7. - Uticaj rotacije na FD<sup>17</sup>

<sup>16</sup> opisano na str. 18

<sup>17</sup> fajl: FDtransformacije.m

### 3.3.4. Početna tačka

Prilikom formiranja vektora koordinata objekta proizvoljno se bira početna tačka  $(x_0, y_0)$ . Pretpostavimo da imamo dva identična objekta, istog oblika konture, veličine i položaja. Takođe, pretpostavimo da je vektor koordinata prvog objekta formiran počev od tačke  $(x_0, y_0)$ , a vektor koordinata drugog objekta počev od tačke  $(x_m, y_m)$  kao što je prikazano na Slika 3.8.



Slika 3.8. Identični objekti sa različitim početnim tačkama

Pretpostavićemo da je  $\tilde{U}_k$  vektor koordinata prvog objekta, a  $\tilde{F}_u$  vektor FD dat relacijom (3.7.). Vektor koordinata  $\tilde{T}_k$  drugog objekta možemo pisati u obliku:

$$\begin{aligned} \tilde{T}_k &= \tilde{U}_{k+m} = \sum_{u=0}^{N-1} \tilde{F}_u e^{j\frac{2\pi}{N}u(k+m)} = \sum_{k=0}^{N-1} \left( e^{j\frac{2\pi}{N}um} \tilde{F}_u \right) e^{j\frac{2\pi}{N}uk} = \\ &= IDFT \left[ e^{j\frac{2\pi}{N}um} \tilde{F}_u \right] \end{aligned}$$

(3.19.)

Promjena početne tačke za  $m$  piksela, daje transformacioni par:

$$\boxed{\tilde{U}_{k+m} \Leftrightarrow e^{j\frac{2\pi}{N}um} \tilde{F}_u}$$

(3.20.)

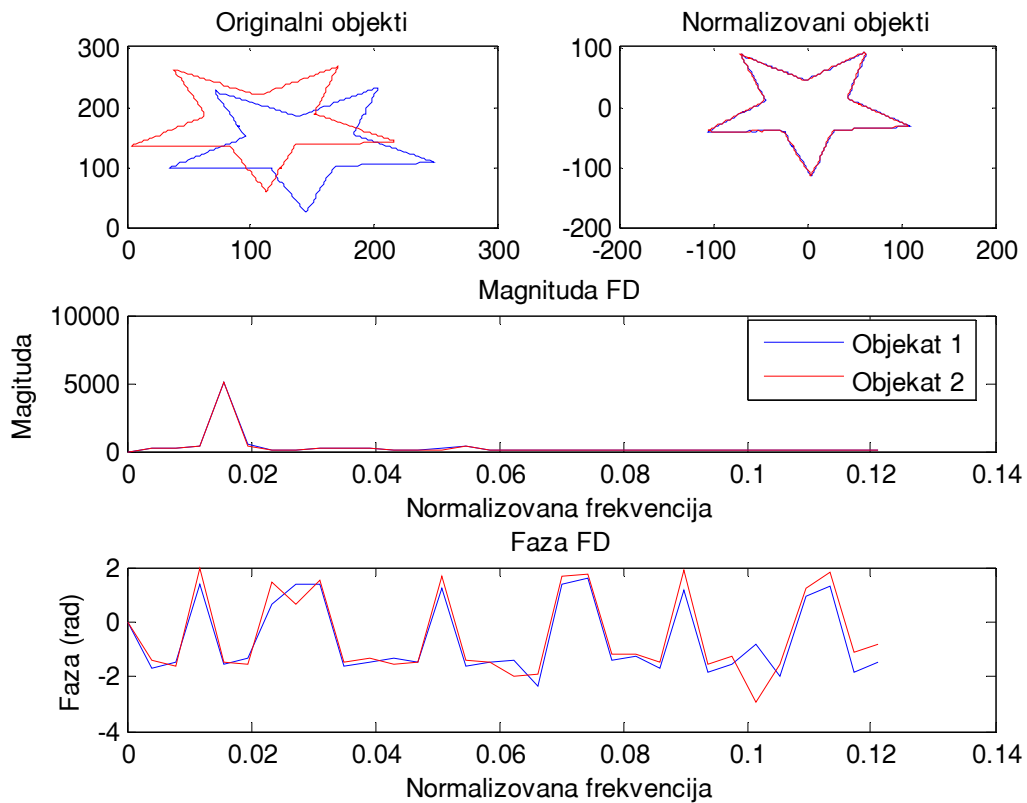
### 3.3.5. Normalizacija FD

Normalizacijom FD postizemo njihovu invarijantnost na translaciju, rotaciju, skaliranje i početnu tačku. Treba naglasiti da način normalizacije zavisi i od toga iz koje smo signature odredili FD. U narednim tačkama analizirana je normalizacija za kompleksne koordinate i centroidnu distancu. Periodična kumulativna ugaona funkcija data relacijom (2.8.), sama je po sebi invarijantna na translaciju, rotaciju i skalu, pa se FD izvedeni na osnovu nje mogu direktno primjenjivati [8].

Posmatraćemo prvo FD izvedene iz kompleksnih koordinata. Prema relaciji (3.12.), vidimo da se sva informacija o položaju nalazi u  $\tilde{F}_0$ . Što znači invarijantnost na translaciju postižemo sa:

$$\tilde{F}_0 := 0 \quad (3.21.)$$

Na Slika 3.9 prikazan je primjer normalizacije objekata, gdje vidimo da nuliranjem prvog deskriptora centroida oba objekta postavljena je u koordinatni početak.



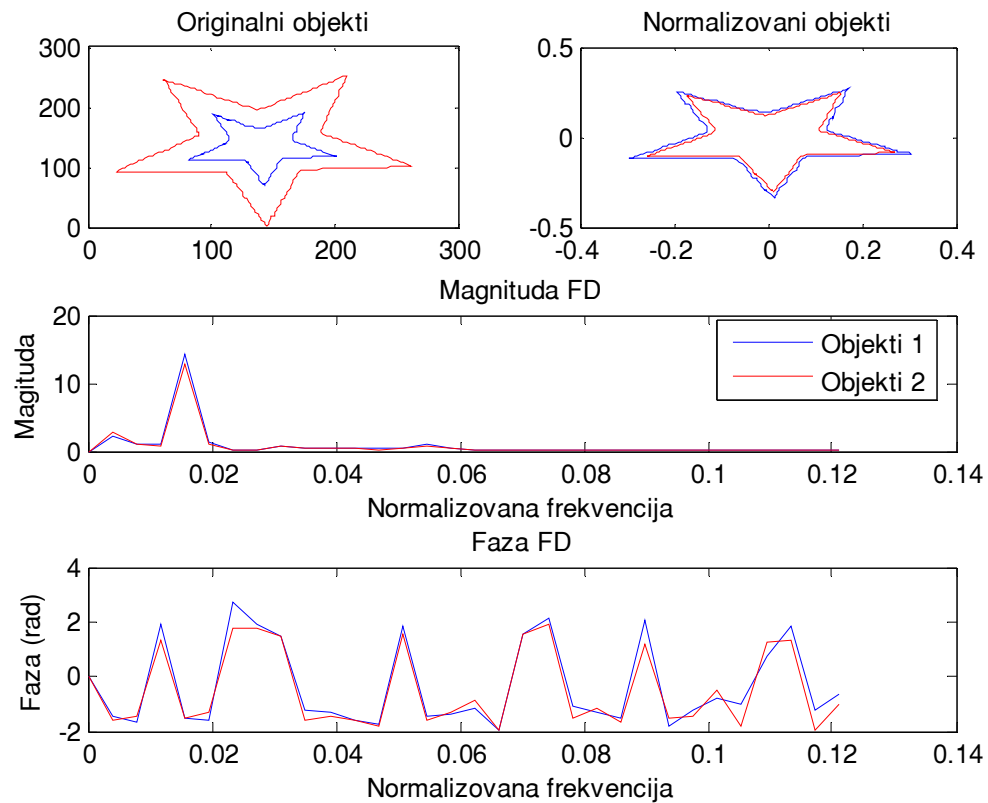
Slika 3.9. Normalizacija FD za translaciju<sup>18</sup>

Polazeći od relacije (3.15.) i imajući u vidu normalizaciju za translaciju datu relacijom (3.21.), invarijantnost FD na skaliranje postižemo sa:

$$\tilde{F}_u := \frac{\tilde{F}_u}{|\tilde{F}_1|} \quad (3.22.)$$

<sup>18</sup> fajl: FDtransformacije.m

Normalizacija za skaliranje prikazana je na Slika 3.10.



Slika 3.10. Normalizacija FD za skaliranje<sup>19</sup>

Iz relacija (3.18.) i (3.20.) vidimo da rotacija i promjena početne tačke utiču samo na fazu. Prema tome, jednostavno rješenje je potpuno uklanjanje faze iz FD, što postizemo sa:

$$\tilde{F}_u := |\tilde{F}_u| \quad (3.23.)$$

<sup>19</sup> fajl: FDtransformacije.m

Za FD dobijene iz centroidne distance ili kurvature, polazeći od relacija (2.4.) odnosno (2.6.), vidimo da se FD izvode iz realnih vrijednosti. Imajući u vidu parnost FT realnih funkcija, možemo zaključiti da oblik možemo potupno opisati korištenjem samo polovine FD. Treba naglasiti i da su obe signature same po sebi invarijantne na translaciju. Invarijantnost na rotaciju i početnu tačku postižemo na isti način kao i kod kompleksnih koordinata, dok invarijantnost na skalu dobijamo djeljenjem sa nultom (DC) komponentom. Vektor FD dat je sa:

$$f = \begin{bmatrix} |FD_1| \\ |FD_0| \\ |FD_2| \\ |FD_0| \\ \vdots \\ |FD_{N/2}| \\ |FD_0| \end{bmatrix}$$

(3.24.)



## 4. WAVELET DESKRIPTORI

### 4.1. Wavelet teorija

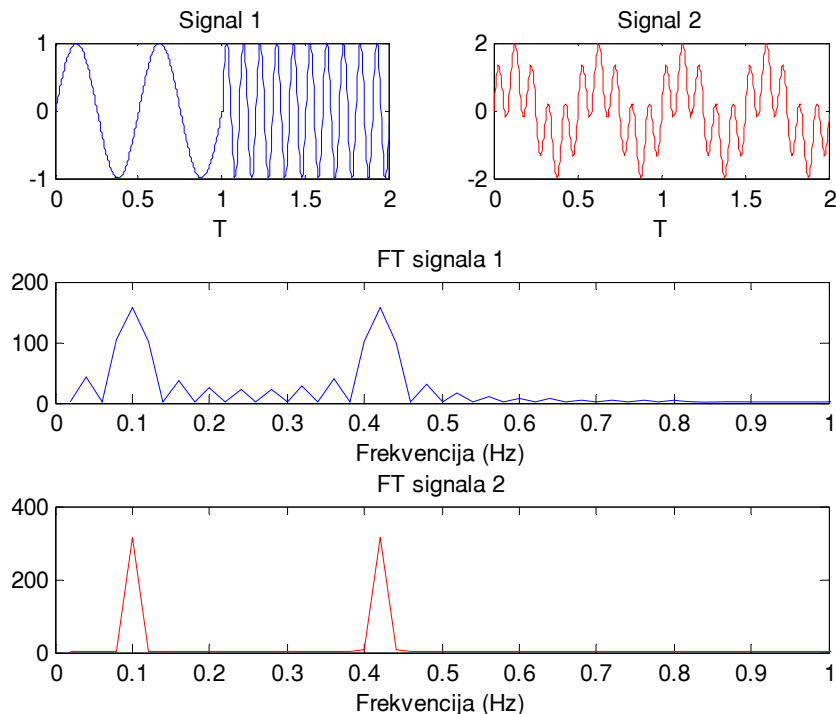
#### 4.1.1. Uvod

Ako pogledamo kroz istoriju matematike, početak teorije waveleta može se povezati sa pojavom FT. Naime, još u 19 vijeku, Fourier je pokazao da bilo koju periodičnu funkciju možemo prikazati beskonačnom sumom kompleksnih eksponencijalnih funkcija. Kasnije, ova postavka generalizovana je na neperiodične i diskretne signale.

Za složenoperiodični signal FT daje informaciju o spektralnim komponentama tog signala. Međutim, nije moguće odrediti gdje se koja komponenta pojavljuje u vremenu, odnosno u prostoru kod analize 2D signala. Drugim riječima, FT nam govori da li se određena frekvencijska komponenta pojavljuje u signalu, ali ne i kada se ta komponenta javlja.

Na Slika 4.1 prikazan je nestacionarni signal - Signal 1 koji se sastoji od dvije sinusoide koje se pojavljuju u različitim vremenskim intervalima. S druge strane, imamo stacionarni signal - Signal 2, koji predstavlja sumu iste dvije sinusoide. Ako pogledamo FT ovih signala uočavamo gore opisani problem: FT su skoro identične jer pokazuju prisustvo iste dvije spektralne komponente.

$$s_1 = \begin{cases} \sin 0.42t, & 0 \leq t \leq 1 \\ \sin 0.10t, & 1 < t \leq 2 \end{cases}; \quad s_2 = \sin 0.42t + \sin 0.10t \quad 0 \leq t \leq 2$$



Slika 4.1. - Furierova transformacija nestacionarnog i stacionarnog signala<sup>20</sup>

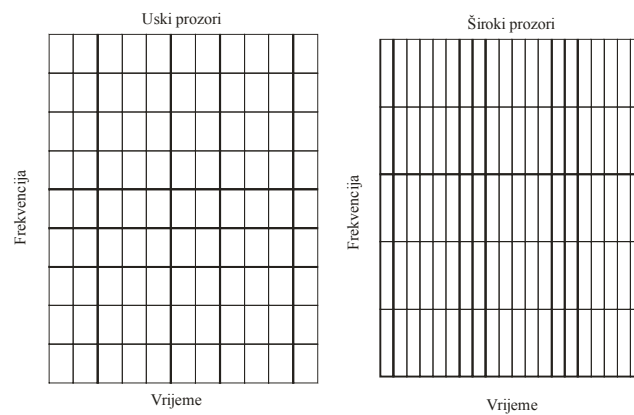
<sup>20</sup> fajl: FTprimjer.m

Da bi se prevazišao ovaj problem kod analize nestacionarnih signala, uvodi se kratkotrajna Fourierova transformacija (*Short Time Fourier Transformation - STFT*), i definiše se sa:

$$STFT(\tau, \omega) = \int x(t)h^*(t - \tau)e^{-j\omega t} dt \quad (4.1.)$$

gdje je prozorska funkcija. Ideja se sastoji u tome da se signal  $x(t)$  posmatra kroz prozor  $h(t)$  fiksne širine, te se određuje spektar dijela signala koji se "vidi" kroz taj prozor. Pri tom se smatra da je u intervalu određenom širinom prozora signal stacionaran.

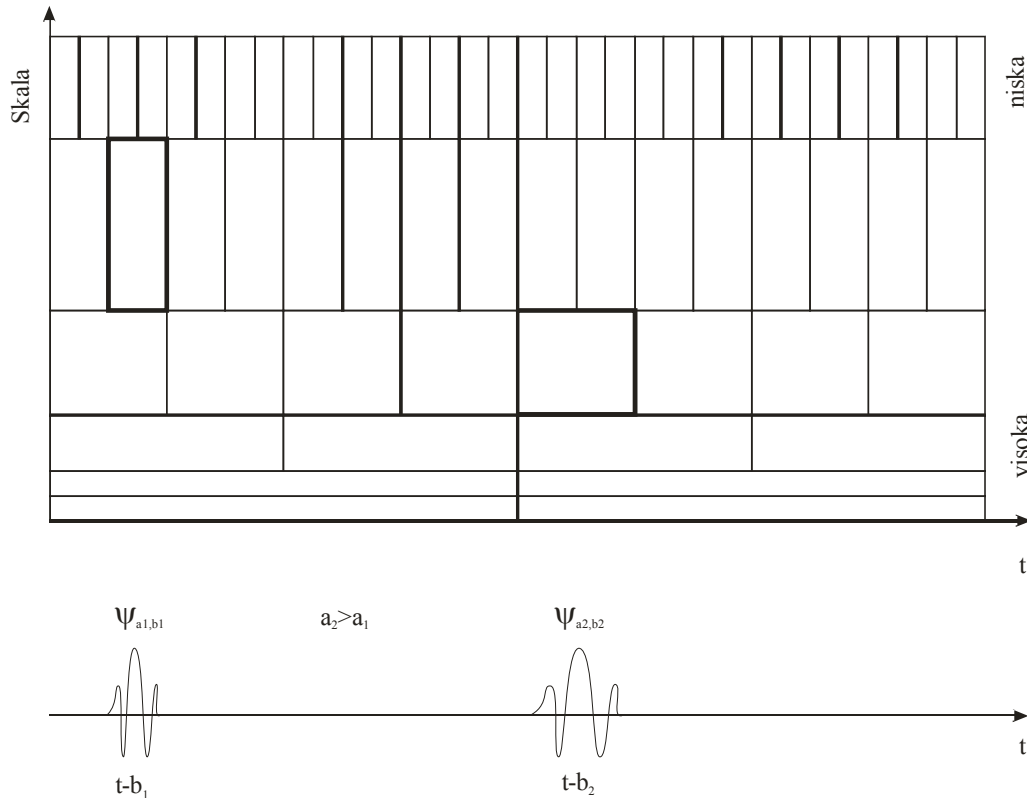
Važna osobina STFT je širina prozora koji se koristi. Što je prozor uži, to je bolja rezolucija u vremenu i opravdana pretpostavka stacionarnosti, ali lošija frekvencijska rezolucija i obrnuto. Ovaj problem STFT vezan je za Hajzenbergov princip neodređenosti. Ovaj princip, jednostavno rečeno, kaže da nije moguće tačno odrediti vremensko-frekvencijsku reprezentaciju signala, odnosno nije moguće znati koja tačno spektralna komponenta se javlja u određenom trenutku, već samo možemo odrediti u kojem vremenskom intervalu postoji određeni opseg frekvencija. Zbog svega navedenog, pri analizi nestacionarnog signala sa STFT jednom izabranu prozorsku funkciju moramo koristiti u kompletnoj analizi [1]. Slika 4.2 prikazuje dvije vremensko-frekvencijske ravni STFT, od kojih je prva sa boljom frekvencijskom rezolucijom, a druga sa boljom vremenskom rezolucijom.



Slika 4.2. Vremensko-frekvencijska ravan STFT za uske i široke prozore

#### 4.1.2. Wavelet transformacija

Zbog navedenih problema pri analizi nestacionarnih signala sa STFT uveden je novi pristup analizi poznat pod nazivom wavelet transformacija (WT). WT je dizajnirana da da dobru vremensku rezoluciju i lošu frekvencijsku rezoluciju na visokim frekvencijama, i dobru frekvencijsku rezoluciju i lošu vremensku rezoluciju na niskim frekvencijama. Slika 4.3 prikazuje vremensko-frekvencijsku ravan WT.



Slika 4.3. Vremensko-frekvencijska ravan WT

Ova vrsta analize je dobra za signale koji imaju VF komponente kratkog trajanja i NF komponente dugog trajanja, a to je čest slučaj u praksi<sup>21</sup>.

Kontinualna wavelet transformacija (CWT) definiše se sa:

$$C(\tau, \alpha) = \frac{1}{\sqrt{\alpha}} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \psi_{\tau, \alpha}(t) dt \quad (4.2)$$

gdje je:

$$\psi_{\tau, \alpha}(t) = \frac{1}{\sqrt{\alpha}} h\left(\frac{t - \tau}{\alpha}\right) \quad (4.3)$$

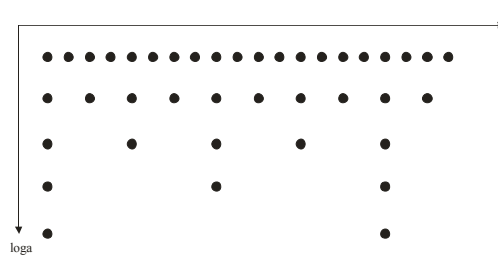
Ova funkcija je prozorska funkcija koju zovemo majka wavelet,  $\tau$  translacija, a  $\alpha$  je parametar skaliranja. Ovaj naziv dolazi od činjenice da je majka wavelet, funkcija koja se koristi kao prototip za generisanje svih ostalih prozorskih funkcija.

Translacija u teoriji waveleta ima isto značenje kao i kod STFT - ona pokazuje lokaciju prozora na vremenskoj osi. Skaliranje, kao matematička operacija, širi signal za  $\alpha > 1$ , i komprimuje signal za  $\alpha < 1$  [12].

<sup>21</sup> npr. česta pojava biološkim signalima posebno u EEG, EMG, EKG

#### 4.1.3. Diskretna wavelet transformacija

Da bi se sa kontinulane wavelet transformacije prešlo na *diskretnu wavelet transformaciju* (DWT), odmjeravanje u ravni vrijeme-skala se radi na osnovu dijadičke rešetke prikazane na Slika 4.4 , tako da je:



Slika 4.4. Dijadička rešetka

$$\begin{aligned}\alpha &= \alpha_0^j \\ \tau &= k\alpha_0^j\tau_0\end{aligned}\tag{4.4}$$

gdje su  $\alpha_0$  i  $\tau_0$  koraci odmjeravanja po skali i vremenu.

Odmjeravanjem dobijamo DWT, definisanu sa:

$$C(j,k) = \sum_{n \in \mathbb{Z}} x(n)\psi_{j,k}(n)\tag{4.5}$$

gdje je  $\psi_{j,k}$  diskretni wavelet definisan sa:

$$\psi_{j,k}(n) = 2^{-j/2}\psi(2^{-j}n - k)\tag{4.6}$$

Inverzna transformacija data je sa:

$$x(n) = \sum_{j \in \mathbb{Z}} \sum_{k \in \mathbb{Z}} C(j,k)\psi_{j,k}(n)\tag{4.7}$$

#### 4.1.4. Kratak pregled periodične wavelet teorije

Označimo sa  $\phi(t)$  funkciju skaliranja takvu da za  $m \in \mathbb{Z}$ , njene translacije date sa:

$$\phi_n^m(t) = 2^{-\frac{m}{2}}\phi(2^{-m}t - n), \quad n \in \mathbb{Z}\tag{4.8}$$

formiraju ortonormalnu bazu za wavelet potprostor  $V_m$  i da je  $\{V_m\}_{m \in \mathbb{Z}}$  multirezoluciona aproksimacija prostora  $L^2(\mathbb{R})$ .

Za svaku funkciju skaliranja  $\phi(t)$ , može se odrediti odgovarajuća majka wavelet funkcija  $\psi(t)$  takva da skup njenih dilatacija i translacija

$$\psi_n^m(t) = 2^{-\frac{m}{2}} \psi(2^{-m}t - n), \quad m, n \in \mathbb{Z} \quad (4.9.)$$

formira ortonormalnu bazu prostora  $L^2(\mathbb{R})$ . Periodična skalirajuća i wavelet funkcija definisane su sa [14]:

$$\begin{aligned} \tilde{\phi}_n^m(t) &= \sum_{l \in \mathbb{Z}} \phi_n^m(t+l) \\ \tilde{\psi}_n^m(t) &= \sum_{l \in \mathbb{Z}} \psi_n^m(t+l) \end{aligned} \quad (4.10.)$$

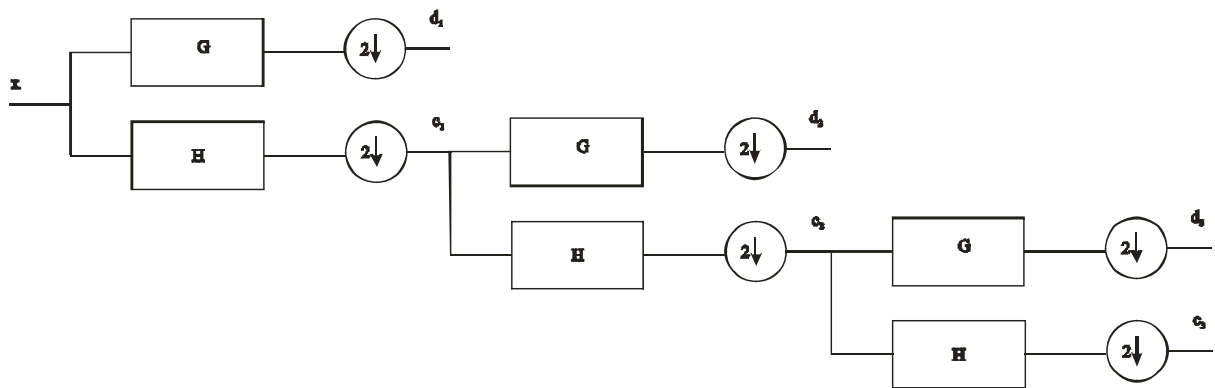
## 4.2. Definicija Wavelet deskriptora

### 4.2.1. Dekompozicija signala WT

WT vršimo dekompoziciju signala. Procedura dekompozicije počinje propuštanjem signala kroz poluopsežni NF filtrar koji uklanja sve frekvencije iznad polovine maksimalne frekvencije signala. Nakon ovakvog filtriranja opseg frekvencije signala je prepolovljen. Po Nikvistovom kriteriju odmjeravanja signal se može odmjeravati frekvencijom jednakom polovini maksimalne frekvencije signala. Pošto je nakon filtriranja, maksimalna frekvencija prepolovljena, signal na izlazu filtra može se odmjeravati dva puta manjom frekvencijom u odnosu na početni signal. Drugim riječima, možemo ispustiti svaki drugi odmjerak (subsampling):

$$y(n) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} h(k)x(2n-k) \quad (4.11.)$$

Nakon ovoga skala signala je duplo veća. Znači NF filtriranje prepoloviće rezoluciju dok skala ostaje nepromjenjena. Subsamplingom koje slijedi, skala će se uduplati. Ovaj postupak prikazan je na Slika 4.5 [1]:



Slika 4.5. Podopsežno kodovanje

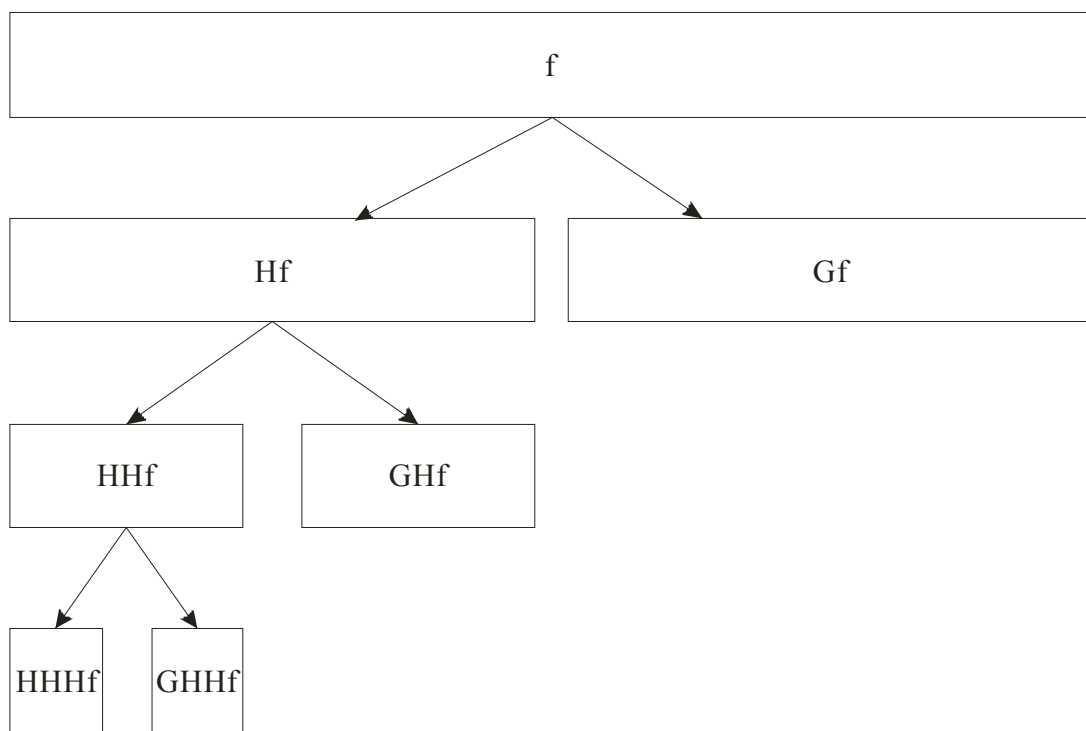
Pretpostavimo da imamo diskretni signal  $f(n)$ . Neka su  $h(n)$  i  $g(n)$  impulsni odzivi NF i VF filtra, respektivno. Sa H i G označićemo operatore koji su definisani sa:

$$(Hf)_k = \sum_n h(n-2k)f(n)$$

$$(Gf)_k = \sum_n g(n-2k)f(n)$$

(4.12.)

Wavelet dekompozicija signala u svakom koraku signal razdvaja na NF i VF komponentu kao što je prikazano na Slika 4.6[12].



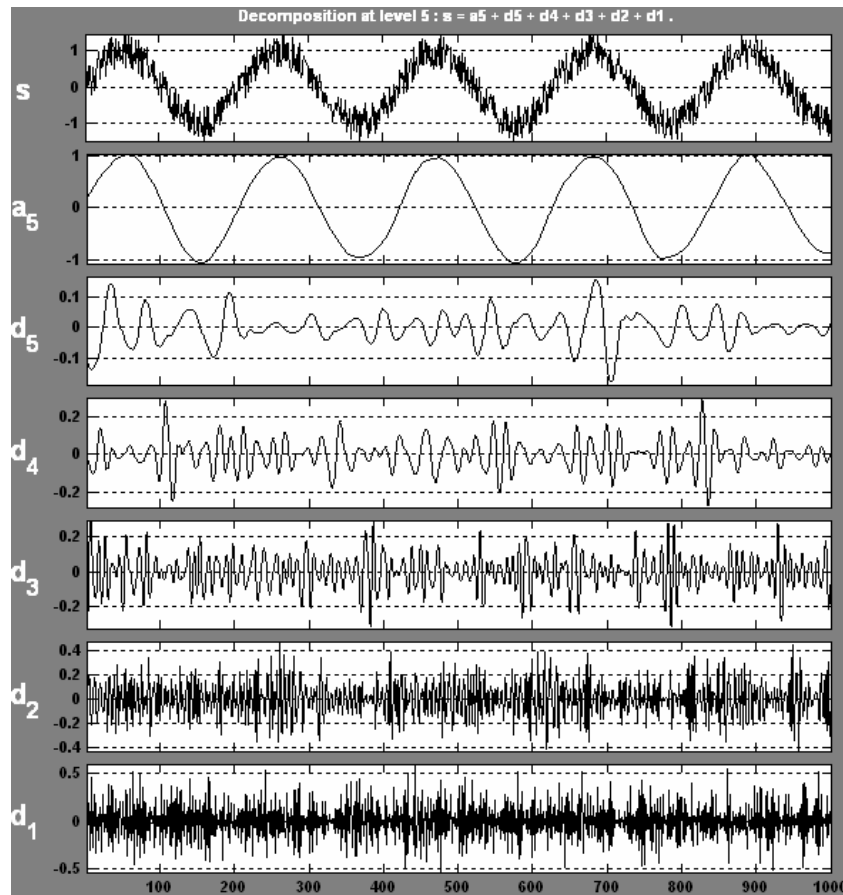
Slika 4.6. Wavelet dekompozicija

Ovaj postupak možemo zapisati u obliku:

$$f \rightarrow (Gf, GHf, GH^2 f, \dots, GH^{j-1} f, H^j f) = (d^{j-1}, d^{j-2}, \dots, d^1, d^0, c^0)$$

(4.13.)

Koeficijente  $d^i$  ( $i=1:j$ ) i  $c^0$  nazivamo wavelet koeficijentima na nivou  $j$ . Na Slika 4.7 prikazana dekompozicija petog reda signala  $s$ . U svakom koraku, prema gore opisanom postupku, signal se propušta kroz VF i NF filtre, i na taj način dobijaju se wavelet koeficijenti na odgovarajućem nivou što je prikazano na Slika 4.7.



Slika 4.7. Dekompozicija signala

Rekonstrukcija signala je slična dekompoziciji. Signal se u svakom koraku upsampljuje sa 2, a zatim propušta kroz filtre predstavljene operatorima  $\bar{H}$  i  $\bar{G}$ , i na kraju sumira. Operatori su definisani sa [12]:

$$\begin{aligned} (\bar{H}f)_n &= \sum_k \bar{h}(n-2k)f(n) \\ (\bar{G}f)_n &= \sum_k \bar{g}(n-2k)f(n) \end{aligned} \quad (4.14.)$$

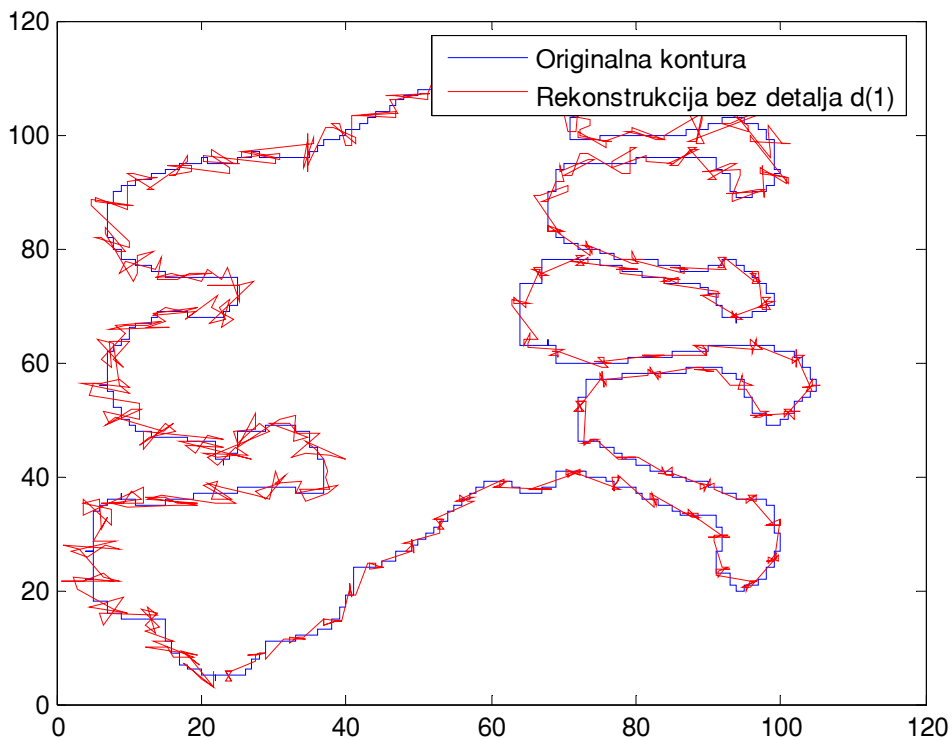
Rekurzivna primjena ovih operatora vodi do jednakosti:

$$\begin{aligned} f &= \sum_{j=0}^{n-1} (\bar{H})^j \bar{G}d^{(j)} + (\bar{H})^n c^{(0)} \\ f &= \sum_{j=0}^{n-1} D_j + C \end{aligned} \quad (4.15.)$$

Koeficijente  $D_j$  zovemo detaljima, a  $C$  aproksimacijom, što znači da signal prikazan preko waveleta možemo pisati kao:

$$\text{Signal} = \text{Aproksimacija} + \sum_j \text{Detalji}_j \quad (4.16.)$$

Na Slika 4.8 prikazan je primjer rekonstrukcije konture iz WD bez koeficijenata detalja  $d_l$ . Iz rekonstrukcije možemo vidjeti da koeficijenti  $d_l$  sadrže najviše frekvencije, pa njihovim uklanjanjem gubimo ravne i glatke oblike konture.



Slika 4.8. Rekonstrukcija konture iz WD<sup>22</sup>

#### 4.2.2. Definicija Wavelet deskriptora

Pretpostavimo da je:

$$s(t) = \begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \end{bmatrix}, \quad t(l) = l/L, \quad 0 \leq l \leq L \quad (4.17.)$$

matrica normalizovanih koordinata konture, gdje je  $t$  - normalizovana dužina luka,  $l$  - dužina luka u posmatranoj tački počev od tačke  $t_0$  i  $L$  - ukupna dužina luka.

<sup>22</sup> fajl: Wdekompozicija.m



Primjenom DWT, dobijamo

$$\begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_a^M(t) \\ y_a^M(t) \end{bmatrix} + \sum_{m=1}^M \begin{bmatrix} x_d^m(t) \\ y_d^m(t) \end{bmatrix} \quad (4.18.)$$

gdje koeficijente date relacijama:

$$x_a^M(t) = \sum_n a_n^M \tilde{\phi}_n^M(t), \quad y_a^M(t) = \sum_n c_n^M \tilde{\phi}_n^M(t) \quad (4.19.)$$

zovemo aproksimacijom signala na skali M, a:

$$x_d^m(t) = \sum_n r_n^m \tilde{\psi}_n^m(t), \quad y_d^m(t) = \sum_n d_n^m \tilde{\psi}_n^m(t) \quad (4.20.)$$

zovemo detaljima signala na skali m, pri čemu je  $m=1$  najfinija skala, a  $M$  najgrublja skala.

Wavelet koeficijente date relacijama (4.19.) i (4.20.) zovemo *wavelet deskriptorima* (WD) konture (4.17.) [14].

Koristeći samo dio wavelet koeficijenata, tj. mali broj vrijednosti  $m$ , možemo dobiti različite multirezolucione reprezentacije oblika. Drugim riječima, možemo koristiti aproksimaciju oblika datu sa:

$$\begin{bmatrix} \hat{x}(k;t) \\ \hat{y}(k;t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_a^M(t) \\ y_a^M(t) \end{bmatrix} + \sum_{m=k}^M \begin{bmatrix} x_d^m(t) \\ y_d^m(t) \end{bmatrix} \quad (4.21.)$$

gdje je  $1 \leq k \leq M+1$ . Kriva sa koordinatama datim relacijom (4.21.), daje sekvencu multirezolucioni aproksimacija originalne krive. Ovu dijadičku aproksimacijsku sekvencu možemo najbolje objasniti preko njena dva ekstrema. Za  $k=1$ , dobijamo originalnu krivu, a za  $k=M+1$  najgrublju aproksimacijsku krivu tj. samo koeficijente  $x_a^M(t)$  i  $y_a^M(t)$ .

Signale detalja na skali  $m$  možemo predstaviti i preko polarnih koordinata.

$$\begin{bmatrix} x_d^m(t) \\ y_d^m(t) \end{bmatrix} = \sum_n \begin{bmatrix} r_n^m(t) \\ d_n^m(t) \end{bmatrix} \tilde{\psi}_n^m(t) = \sum_n \begin{bmatrix} \cos \theta_n^m & -\sin \theta_n^m \\ \sin \theta_n^m & \cos \theta_n^m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_n^m \\ \theta_n^m \end{bmatrix} \tilde{\psi}_n^m(t) \quad (4.22.)$$

gdje su  $\theta_n^m$  i  $A_n^m$  faza i amplituda date sa:

$$\theta_n^m = \arctan\left(\frac{d_n^m}{r_n^m}\right),$$

$$A_n^m = \sqrt{(d_n^m)^2 + (r_n^m)^2} \quad (4.23.)$$

### 4.3. Osobine WD

#### 4.3.1. Translacija

Pretpostavimo da je izvršena translacija konture date sa (4.17.) za udaljenost  $(b_x, b_y)$ . Polazeći od definicije periodične wavelet funkcije (4.10.) i osobine dopustivosti baza waveleta, imamo da je [14]:

$$\int_0^1 \tilde{\psi}_n^m(t) dt = \sum_{l \in \mathbb{Z}} \int_l^{l+1} \psi(t') dt' = 0 \quad (4.24.)$$

Lako se pokazuje da je:

$$\int_0^1 [f(t) + b] \tilde{\psi}_n^m(t) dt = \int_0^1 f(t) \tilde{\psi}_n^m(t) dt, \quad m \in -\mathbb{N}; n \in \mathbb{Z}_m \quad (4.25.)$$

Pa vidimo da su wavelet koeficijenti detalja  $r_n^m$  i  $d_n^m$  invarijantni na translaciju. Zbog toga, translacija konture utiče samo na koeficijente aproksimacije. Pošto je:

$$\int_0^1 \tilde{\phi}_n^M(t) dt = \sum_{l \in \mathbb{Z}} \int_0^1 \phi_n^M(t+l) dt = \int_{-\infty}^{+\infty} \phi_n^M(t) dt \quad (4.26.)$$

imajući u vidu relaciju (4.26.) dobijamo da je:

$$\int_0^1 \tilde{\phi}_n^M(t) dt = \int_{-\infty}^{+\infty} 2^{-\frac{M}{2}} \phi(2^{-M}t - n) dt = 2^{-\frac{M}{2}} \int_{-\infty}^{+\infty} \phi(t) 2^M dt = 2^{\frac{M}{2}} \quad (4.27.)$$

gdje smo koristili osobinu da je  $\int_{-\infty}^{+\infty} \phi(t) dt = 1$ . Polazeći od ovih relacija dobijamo:

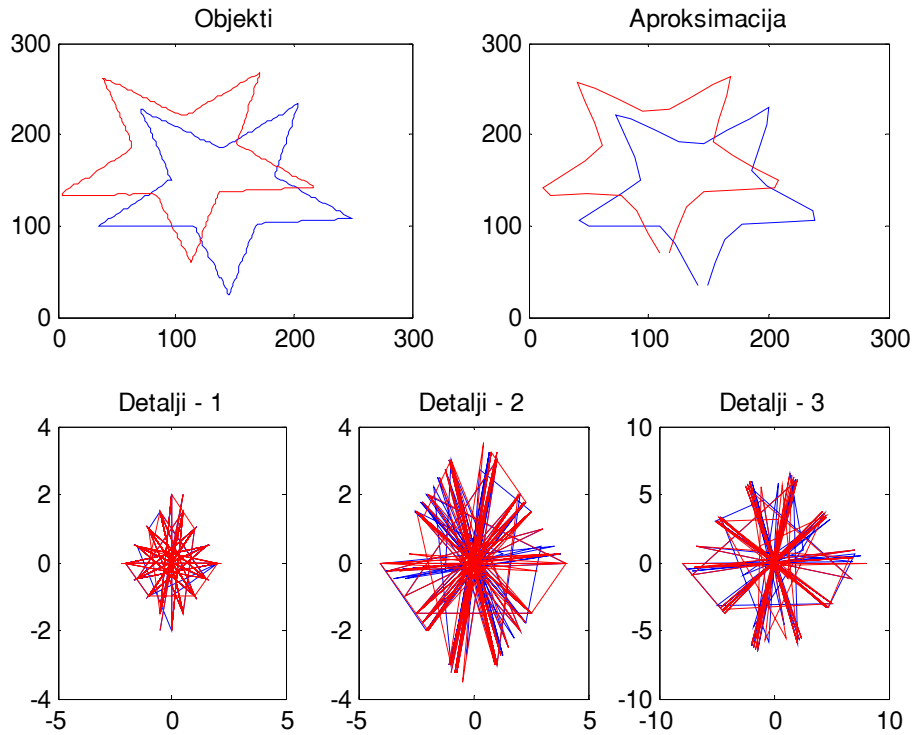
$$\int_0^1 [f(t) + b] \tilde{\phi}_n^M(t) dt = \int_0^1 f(t) \tilde{\phi}_n^M(t) dt + 2^{\frac{M}{2}} \cdot b \quad (4.28.)$$

Znači da translacija konture ima za posledicu [14]:

$$\begin{bmatrix} \tilde{a}_n^M \\ \tilde{c}_n^M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_n^M + 2^{\frac{M}{2}} \cdot b_x \\ c_n^M + 2^{\frac{M}{2}} \cdot b_y \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \tilde{r}_n^M \\ \tilde{d}_n^M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_n^M \\ d_n^M \end{bmatrix} \quad (4.29.)$$

Na Slika 4.9 prikazana su dva međusobno translirana objekta i njihovi wavelet koeficijenti. Translacija ima najveći uticaj na aproksimaciju, dok su odstupanja detalja posljedica programa PhotoShop<sup>23</sup>.



Slika 4.9. - Uticaj translacije na  $WD^{24}$

#### 4.3.2. Rotacija

Neka je kontura data relacijom (4.17.) rotirana u smjeru suprotnom od kazaljke na satu za ugao  $\varphi$  sa centroidom kao centrom rotacije. Koeficijente rotirane konture možemo pisati:

$$\begin{bmatrix} \tilde{a}_n^M \\ \tilde{c}_n^M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_n^M \\ c_n^M \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \tilde{r}_n^M \\ \tilde{d}_n^M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_n^M \\ d_n^M \end{bmatrix}$$

(4.30.)

ili ako koristimo zapis koeficijenata preko polarnih koordinata:

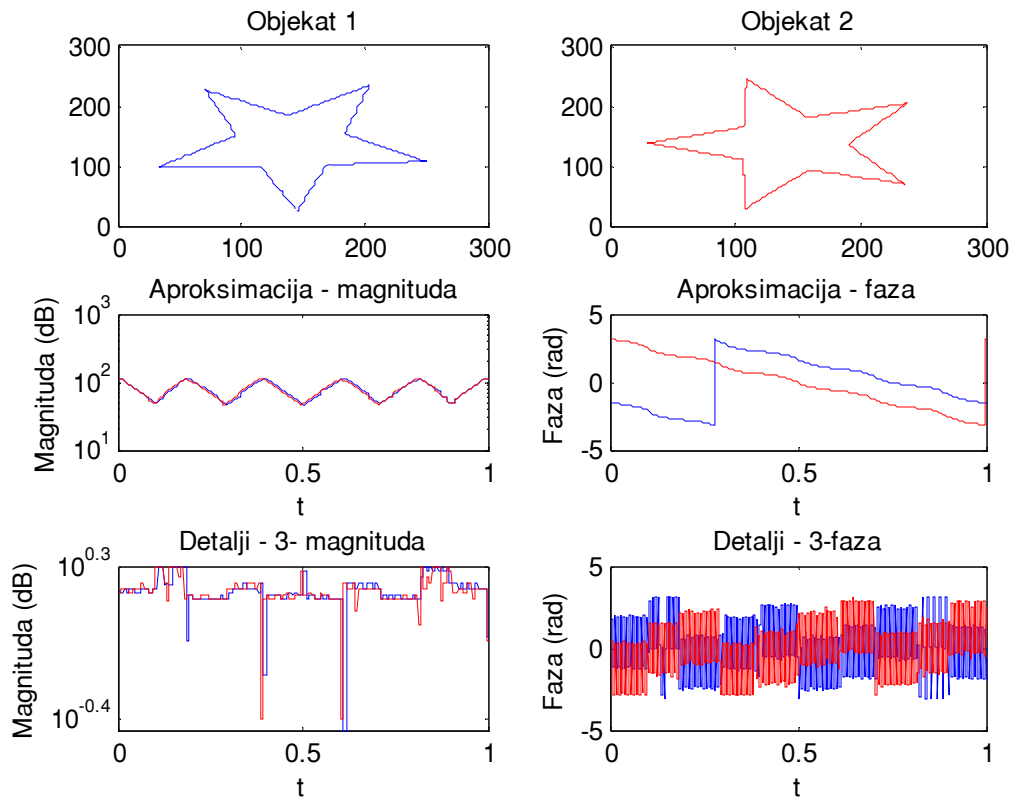
$$\tilde{\theta}_n^M = \theta_n^M + \varphi, \quad \tilde{A}_n^M = A_n^M$$

Relacije vrijede i za koeficijente detalja i za koeficijente aproksimacije [14].

<sup>23</sup> opisano na str. 18

<sup>24</sup> fajl: WDtransformacije.m

Gore navedene zaključke potvrđuje Slika 4.10 gdje su vidljiva odstupanja faze, dok su odstupanja magnitude zanemarljiva i posljedica su programa u kome je izvršena rotacija<sup>25</sup>.



Slika 4.10. - Uticaj rotacije na WD<sup>26</sup>

#### 4.3.3. Skaliranje

Pretpostavimo da je kontura skalirana za faktor  $\beta$ . Možemo pisati:

$$\begin{bmatrix} \tilde{x}(t) \\ \tilde{y}(t) \end{bmatrix} = \beta \begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \end{bmatrix} = \beta \begin{bmatrix} x_a^M(t) \\ y_a^M(t) \end{bmatrix} + \sum_{m=1}^M \beta \begin{bmatrix} x_d^m(t) \\ y_d^m(t) \end{bmatrix} \quad (4.31.)$$

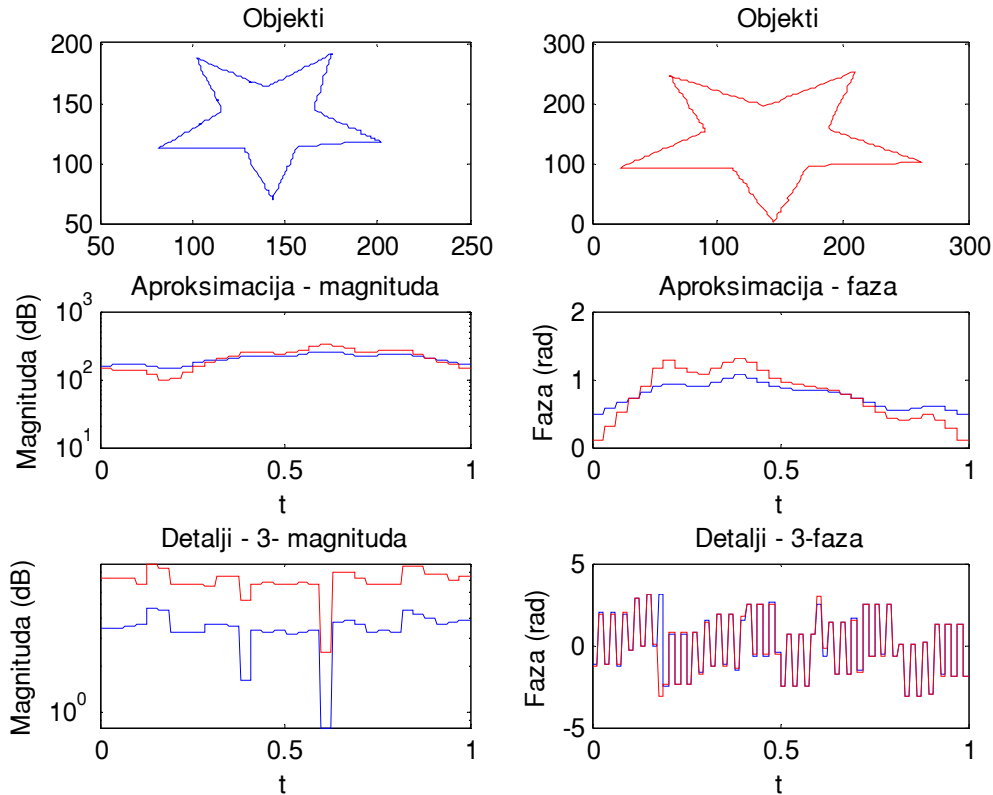
Zbog linearnosti wavelet transformacije vrijedi:

$$\begin{bmatrix} \tilde{a}_n^M \\ \tilde{c}_n^M \end{bmatrix} = \beta \begin{bmatrix} a_n^M \\ c_n^M \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \tilde{r}_n^M \\ \tilde{d}_n^M \end{bmatrix} = \beta \begin{bmatrix} r_n^M \\ d_n^M \end{bmatrix} \quad (4.32.)$$

<sup>25</sup> opisano na str. 18

<sup>26</sup> fajl: WDtransformacije.m

Na Sliku 4.11 koja prikazuje dva skalirana objekta vidljiv je uticaj skaliranja posebno kod magnituda detalja koje su međusobno pomjerene za faktor  $\beta^{27}$ . Kod koeficijenata aproksimacije došlo je do uticaja transliranja prilikom skaliranja u PhotoShopu.



Slika 4.11. - Uticaj skaliranja na  $WD^{28}$

#### 4.3.4. Normalizacija $WD$

Pošto su položaj, veličina i orijentacija nebitni parametri prilikom prepoznavanja oblika, neophodno je izvršiti modifikaciju  $WD$  da bi ih učinili invarijantnim na pomenute osobine.

Iz relacije (4.29.) vidimo da translacija utiče samo na koeficijente aproksimacije. Prema tome efekat translacije možemo poništiti jednostavnim postavljanjem centroida objekta u koordinatni početak.

$$(a_n^M, c_n^M) \leftarrow (a_n^M, c_n^M) - (b_x, b_y)$$

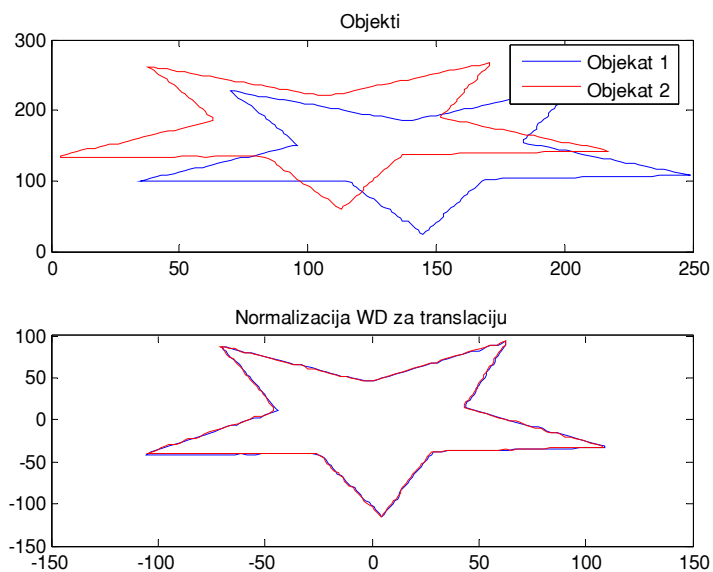
$$(b_x, b_y) = \frac{1}{N_1} \sum (a_n^M, c_n^M) \quad N_1 - \text{ukupan broj koeficijenata } a_n^M \text{ (ili } c_n^M)$$

(4.33.)

<sup>27</sup> zbog logaritamske skale dolazi do linernog pomjeranja

<sup>28</sup> fajl: WDtransformacije.m

Slika 4.12 prikazuje efekat normalizacije WD primjenom relacije (4.33.).

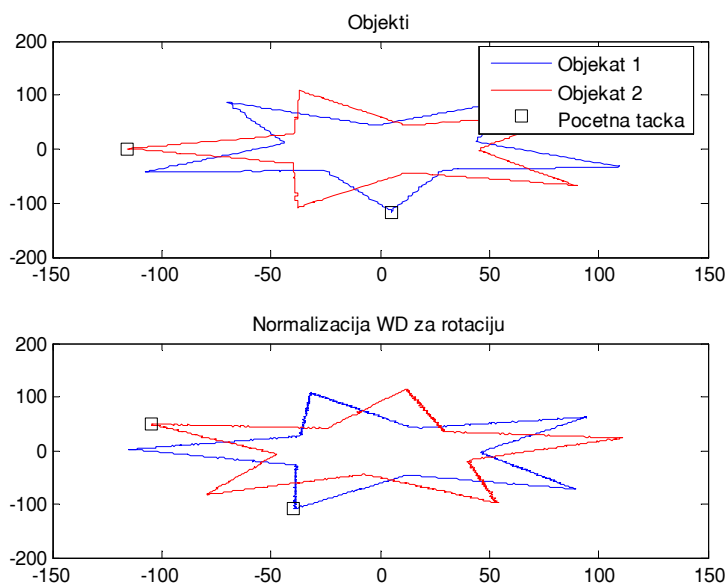


Slika 4.12. - Normalizacija WD za translaciju<sup>29</sup>

Izračunavanjem prosječne faze i inverznom rotacijom možemo poništiti efekat rotacije:

$$\begin{aligned} \theta_n^m &\leftarrow \theta_n^m - \bar{\theta} \\ \bar{\theta} &= \frac{1}{N_2} \sum_n \theta_n^m \end{aligned}$$

(4.34.)

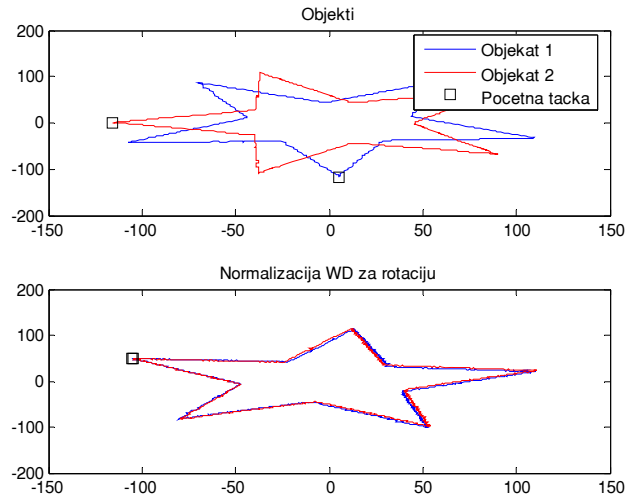


Slika 4.13. - Normalizacija WD za rotaciju<sup>30</sup>

<sup>29</sup> fajl: WDtransformacije.m

<sup>30</sup> fajl: WDtransformacije.m

Međutim kako je vidljivo na Slika 4.13, WD nisu invarijantni na početnu tačku [14]. Na Slika 4.14 prikazana su objekti sa istom početnom tačkom i njihova normalizacija na rotaciju.



Slika 4.14. - Normalizacija na rotaciju objekata sa istom početnom tačkom

Normalizaciju skale možemo postići djeljenjem magnitude wavelet koeficijenata srednjom vrijednosti:

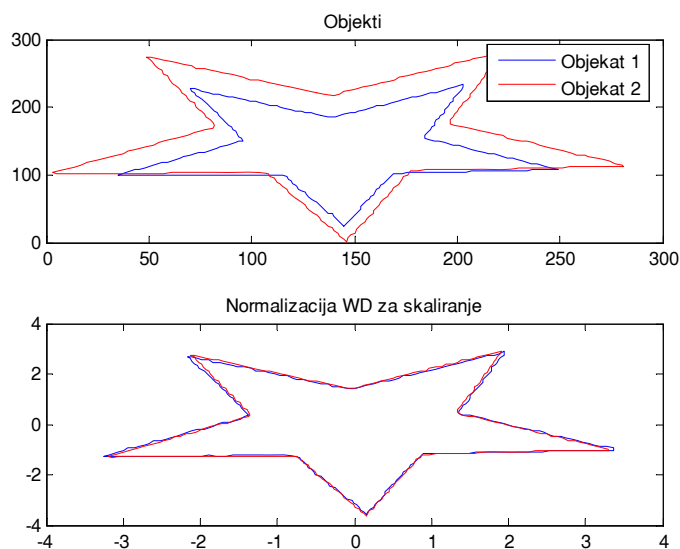
$$A_n^m \leftarrow \frac{A_n^m}{\bar{A}}$$

$$\bar{A} = \frac{1}{N_1} \sum_n A_n^m$$

$N_1$  - ukupan broj wavelet koeficijenata

(4.35.)

Efekat primjene normalizacije date relacijom (4.35.) prikazan je na Slika 4.15.

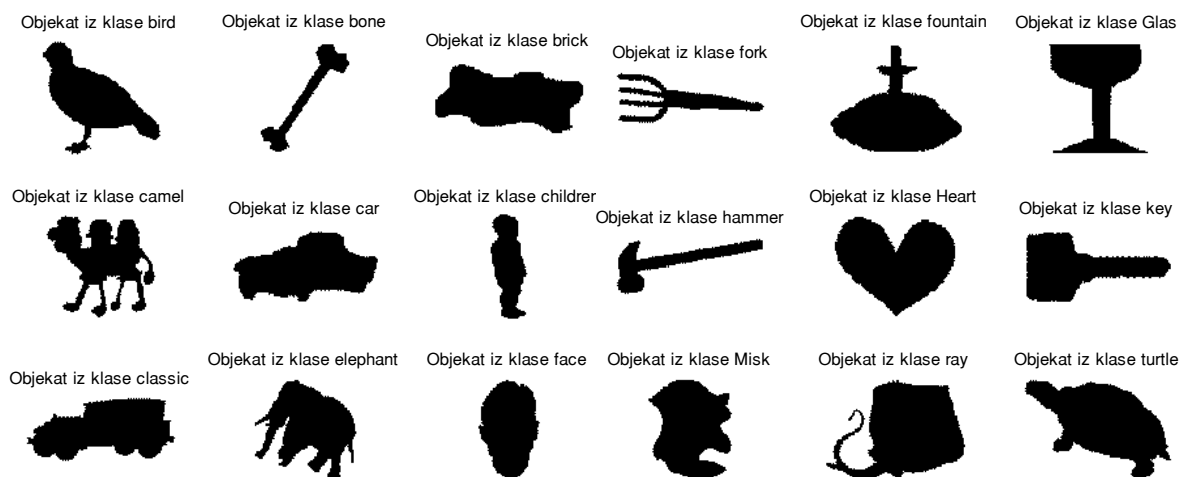


Slika 4.15. - Normalizacija WD za skaliranje<sup>31</sup>

<sup>31</sup> fajl: WDtransformacije.m

## 5. STATISTIČKA EVALUACIJA KONTURNIH DESKRIPTORA

Za određivanje statističkih vrijednosti parametara korištena je baza slika koju čini 18 klasa sa po 12 objekata. Na Slika 5.1 prikazan je po jedan objekt iz svake klase.



Slika 5.1. - Klase baze slika

Kao mjera sličnosti korištena je Euklidova distanca. Upitima se određuje matrica Euklidovih distanci između deskriptora parova slika iz baze za četiri vrijednosti parametra koji se ispituje. Za FD parametri su vrsta signature, broj tačaka konture i broj deskriptora, dok su za WD parametri vrsta signature, broj tačaka konture i red dekompozicije. Za svaki upit i svaki parametar određene su vrijednosti:

- preciznost za pet izdvojenih slika
- klasa prve izdvojene slike  $P(1)$
- odziv
- redni broj prve relevantne slike

a zatim su dobijene vrijednosti usrednjene po:

- jednom parametru za cijelu klasu
- jednom parametru za sve klase

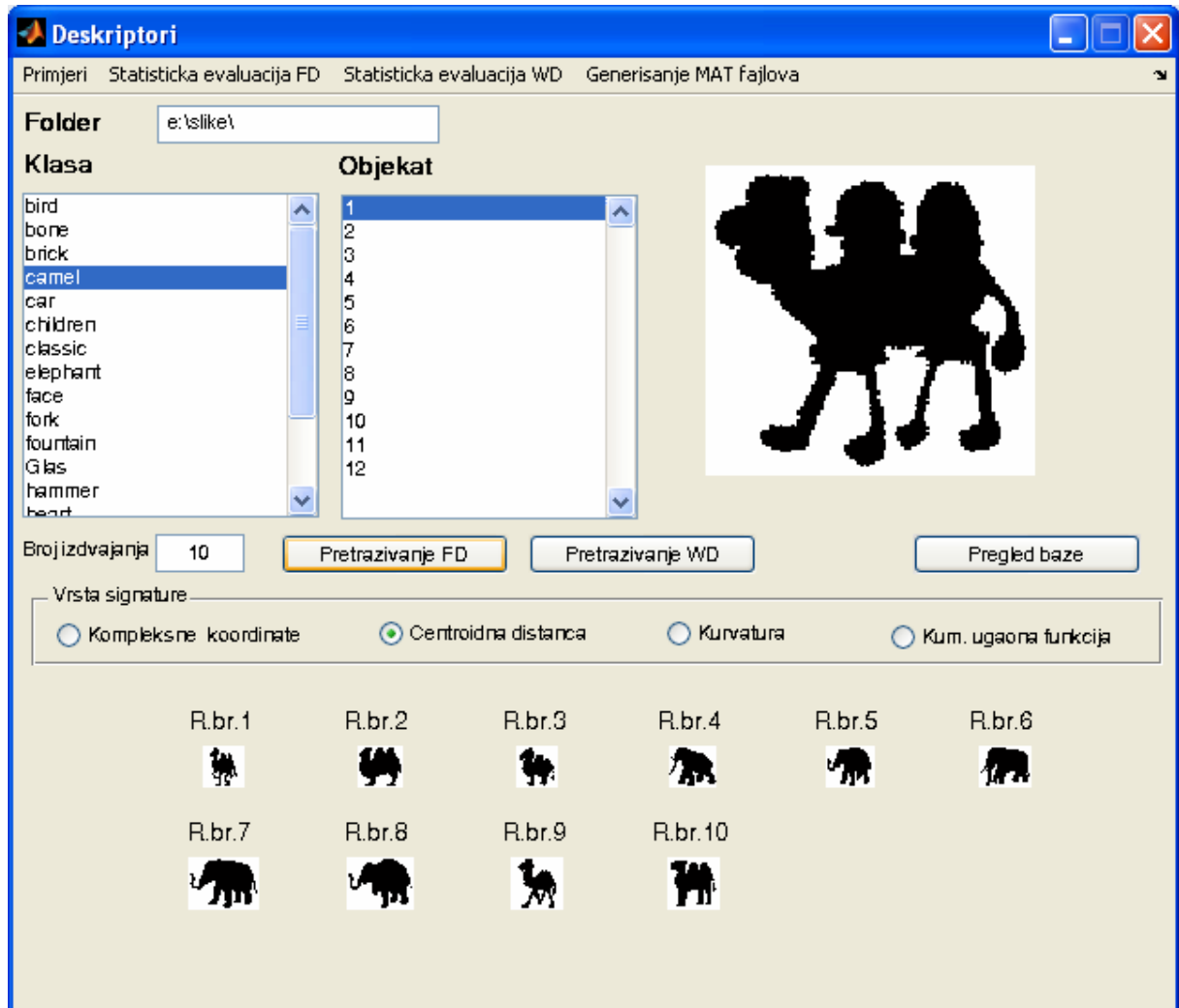
Dobijene vrijednosti su grupisane po jednom parametru za sve upite jedne. Sve matrice su konvertovane u Excelove tabele<sup>32</sup> gdje je i izvršena statistička evaluacija.

<sup>32</sup> Imena XLS fajlova su po sledećem ključu: vrsta deskriptora (FD ili WD) parametar koji se mijenja (signature, tacke, deskriptor, red) - redni broj klase. Npr. FDtacke-klasa1.xls

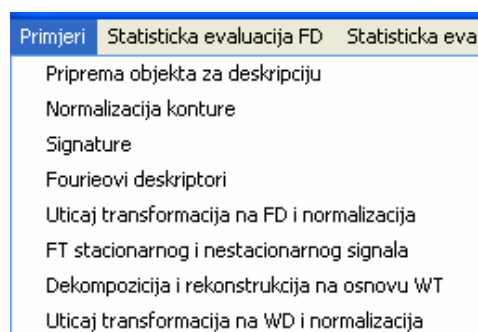


## 5.2. Grafički interfejs

Kao sastavni dio ovog rada napravljen je grafički interfejs **Deskriptori** koji je prikazan na Slika 5.2. Preko ovog interfejsa može se pristupiti svim primjerima i evaluacijama. Pored toga ima i mogućnost pretraživanja baze slika prema uzorku.



Slika 5.2. - Grafički interfejs **Deskriptori**

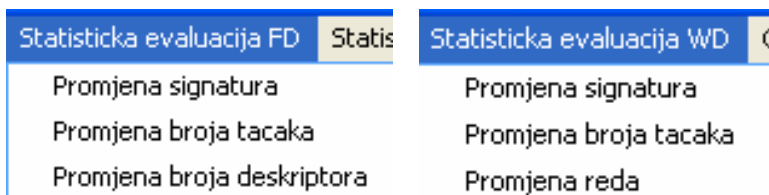


Preko menija **Primjeri** prikazanog na Slika 5.3 pokreću se primjeri koji se nalaze u ovom radu.

Slika 5.3. -

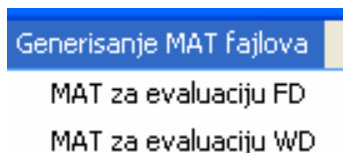
Meni

**Primjeri**



Slika 5.4 prikazuje menije **Statistička evaluacija FD** i **Statistička evaluacija WD** koji pokreću programe za generisanje XLS fajlova potrebnih za evaluaciju

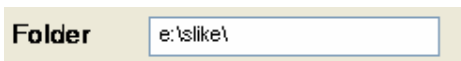
Slika 5.4. - Meniji za statističku evaluaciju.



Preko menija **Generisanje MAT fajlova** datog na Slika 5.5 mogu se generisati svi fajlovi potrebni za pretraživanja i statističke evaluacije.

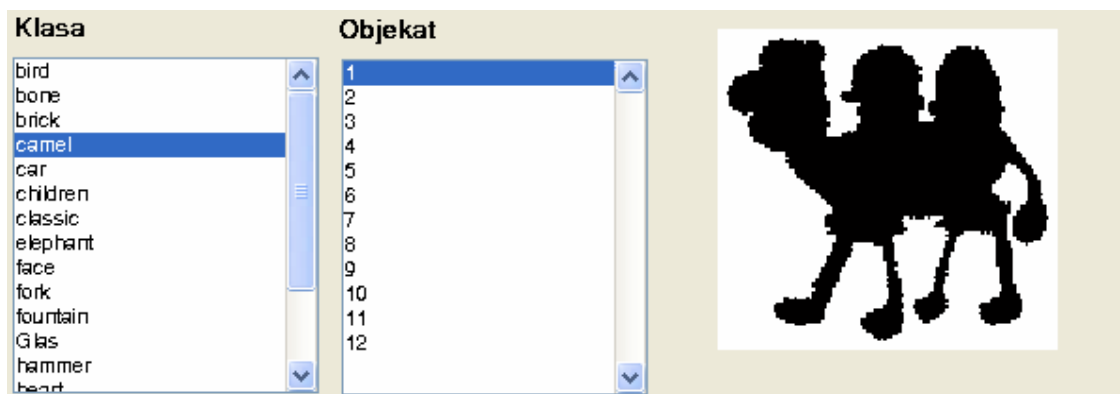
Slika 5.5. - Meni za generisanje potrebnih MAT fajlova

Centralni dio prozora predstavlja interfejs pretraživanja baze slika. Da bi slike bile vidljive prvi korak je definisanje foldera koji sadrži bazu slika. Folder upisujemo u polje prikazno na Slika 5.6.



Slika 5.6. - Polje za upisivanje radnog foldera

Upit, odnosno sliku za koju vršimo pretraživanje biramo izborom klase u listi **Klasa** i objekata u listi **Objekat** prikazanih na Slika 5.7.



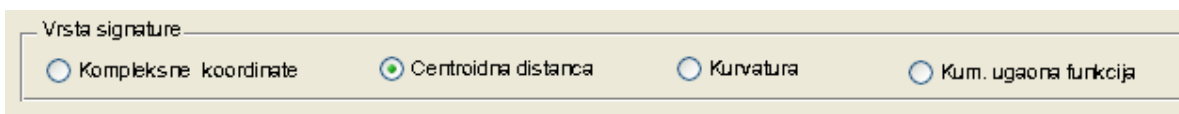
Slika 5.7. - Izbor slike za upit u bazu

U polju **Broj izdvajanja** prikazanog na Slika 5.8 upisujemo koliko je prvih pogodaka potrebno izdvojiti. Maksimalan broj je 12.



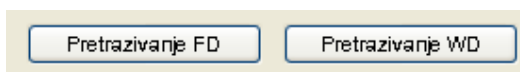
Slika 5.8. - Polje za definisanje broja prvih podudaranja koja se izdvajaju

Vrstu signature kojom će biti opisana kontura biramo iz opcione grupe **Vrsta signature** prikazane na Slika 5.9.



Slika 5.9. - Opciona grupa za izbor signature

Nakon što podesimo željene opcije, pretraživanje vršimo pritiskom na taster **Pretraživanje FD** ili **Pretraživanje WD** za pretraživanja pomoću FD ili WD respektivno.



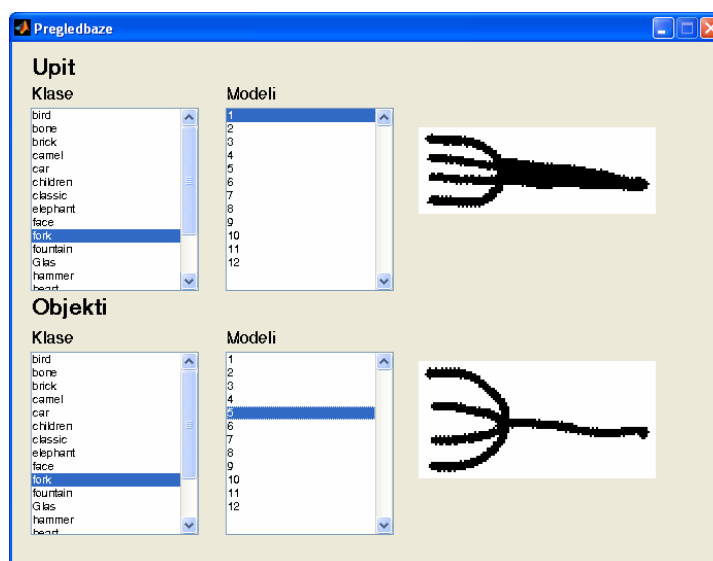
Slika 5.10. - Tasteri za izbor deskriptora

Rezultati upita biće prikazani na dnu prozora, sortirani u rastućem redoslijedu po vrijednosti Euklidove distance između slike upita i slika iz baze. Slika 5.11 pokazuje primjer prikaza rezultata pretraživanja.



Slika 5.11. - Rezultati pretraživanja

Da bi smo olakšali vizuelno poređenje slika tasterom **Pregled baze** dobijamo mogućnost istovremenog prikaza dve slike. Slika 5.12 prikazuje grafički interfejs za pregled baze.



Slika 5.12. - Grafički interfejs *Pregled baze*

### 5.3. Statistička evaluacija FD

U ovom paragrafu biće urađena statistička evaluacija FD, i to sa promjenom sledećih parametara:

- signature
- broja tačaka konture
- broja deskriptora

Kao mjera sličnosti uzeta je Euklidova distanca, a određene su srednje vrijednosti preciznosti, odziva, preciznosti prvog pogotka  $P(1)$ , srednja vrijednost rednog broja prve relevantne slike kao i opseg Euklidovih distanci.

#### 5.3.1. Promjena signatura

Prilikom analize signatura kao fiksni parametri uzeti su broj tačaka konture 256 i broj deskriptora 64. Analiza se odvija po sledećem algoritmu:

```

broj tacaka=256
broj deskriptora=64
% signatura=1 - kompleksne koordinate, 2- centroidna distanca, 3-kurvatura, 4-kumulativna ugaona funkcija

for signatura=1:4
    for klasa=1:18
        for objekat=1:12
            upit=deskriptor(signatura,klasa,objekat)
            for klasa2=1:18
                for objekat2=1:12
                    slikabase=deskriptor(signatura,klasa2,objekat2)
                    Euklidova_distanca(upit,slikabase)
                end
            end
            end
            Preciznost(signatura,upit); Odziv (signatura,upit); P1(signatura,upit)
        end
        Sr_preciznost_klase(signatura,klasa), Sr_odziv_klase(signatura,klasa), Sr_P1(signatura,klasa)
    end
end
Sr_preciznost(signatura), Sr_odziv(signatura), Sr_P1(signatura)
end

```

Matlabov fajl za analizu je FDsignaturedist.m, koji rezultirajuću matricu distanci upisuje u Excelove fajlove FDsignature-klasaX.xls. Formatirani podaci nalaze se u Excelovom fajlu SEFDsignature.xls.

#### **Ekperimentalni rezultati**

U Tabela 5.1 dati su rezultati srednje vrijednosti preciznosti FD unutar klase, a zatim su određene srednje vrijednosti za sve klase po svakom parametru. Tabela 5.2 prikazuje na isti način dobijene podatke o odzivu, dok su u Tabela 5.3 dati podaci za preciznost prvog pogotka.

Tabela 5.1. Preciznost FD po klasama za različite signature

PRECIZNOST				
klasa	Kompleksne koordinate	Centroidna distanca	Kurvatura	Kumulativna ugaona funkcija
1	93,33%	93,33%	28,33%	50,00%
2	100,00%	100,00%	55,00%	78,33%
3	100,00%	98,33%	26,67%	63,33%
4	61,67%	58,33%	28,33%	48,33%
5	100,00%	98,33%	33,33%	53,33%
6	100,00%	100,00%	90,00%	88,33%
7	98,33%	93,33%	35,00%	38,33%
8	85,00%	88,33%	30,00%	38,33%
9	100,00%	100,00%	88,33%	75,00%
10	93,33%	93,33%	35,00%	60,00%
11	100,00%	100,00%	63,33%	75,00%
12	100,00%	100,00%	43,33%	91,67%
13	86,67%	93,33%	40,00%	83,33%
14	95,00%	85,00%	35,00%	73,33%
15	100,00%	96,67%	51,67%	38,33%
16	90,00%	68,33%	26,67%	51,67%
17	81,67%	58,33%	26,67%	45,00%
18	98,33%	93,33%	23,33%	45,00%
<b>Srednja vr.</b>	<b>93,52%</b>	<b>89,91%</b>	<b>42,22%</b>	<b>60,93%</b>

Tabela 5.2. Odziv FD po klasama za različite signature

ODZIV				
klasa	Kompleksne koordinate	Centroidna distanca	Kurvatura	Kumulativna ugaona funkcija
1	67,36%	73,61%	15,28%	34,03%
2	100,00%	100,00%	39,58%	59,72%
3	79,86%	84,03%	16,67%	36,81%
4	40,97%	40,97%	17,36%	34,72%
5	96,53%	89,58%	21,53%	29,17%
6	100,00%	100,00%	68,75%	72,22%
7	91,67%	83,33%	20,83%	19,44%
8	68,75%	70,14%	15,28%	27,08%
9	99,31%	100,00%	57,64%	37,50%
10	93,06%	86,11%	23,61%	36,11%
11	100,00%	100,00%	44,44%	43,06%
12	100,00%	91,67%	25,00%	62,50%
13	49,31%	59,72%	20,14%	50,69%
14	82,64%	63,89%	20,14%	50,00%
15	95,83%	90,97%	32,64%	23,61%
16	73,61%	44,44%	17,36%	41,67%
17	50,00%	32,64%	15,28%	27,78%
18	82,64%	88,89%	14,58%	25,00%
<b>Srednja vr.</b>	<b>81,75%</b>	<b>77,78%</b>	<b>27,01%</b>	<b>39,51%</b>

Tabela 5.3. Preciznost prvog pogotka FD po klasama za različite signature

<b>P(1)</b>				
<b>klasa</b>	<b>Kompleksne koordinate</b>	<b>Centroidna distanca</b>	<b>Kurvatura</b>	<b>Kumulativna ugaona funkcija</b>
1	91,67%	91,67%	0,00%	50,00%
2	100,00%	100,00%	75,00%	83,33%
3	100,00%	100,00%	16,67%	83,33%
4	66,67%	58,33%	8,33%	41,67%
5	100,00%	100,00%	25,00%	75,00%
6	100,00%	100,00%	100,00%	91,67%
7	100,00%	83,33%	50,00%	50,00%
8	91,67%	91,67%	8,33%	33,33%
9	100,00%	100,00%	91,67%	91,67%
10	91,67%	91,67%	50,00%	66,67%
11	100,00%	100,00%	75,00%	75,00%
12	100,00%	100,00%	58,33%	91,67%
13	100,00%	100,00%	66,67%	91,67%
14	100,00%	83,33%	25,00%	75,00%
15	100,00%	100,00%	58,33%	33,33%
16	100,00%	83,33%	16,67%	58,33%
17	91,67%	100,00%	16,67%	50,00%
18	100,00%	100,00%	0,00%	16,67%
<b>Srednja vr.</b>	<b>96,30%</b>	<b>93,52%</b>	<b>41,20%</b>	<b>64,35%</b>

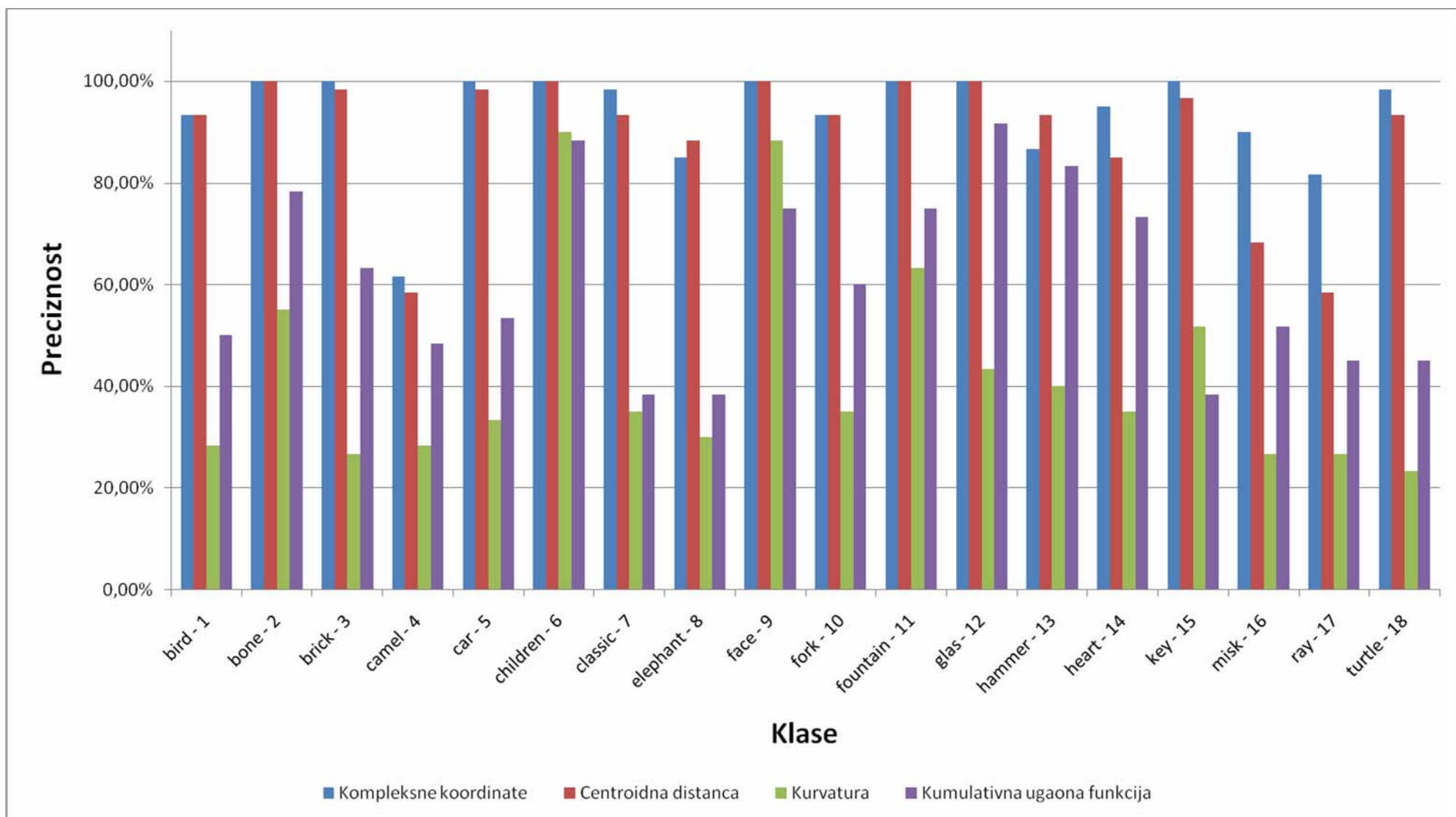
U Tabela 5.4 data je srednja vrijednost rednog broja prve pronađene relevantne slike za svaki parameter za sve klase u bazi, dok su u Tabela 5.5 date maksimalne vrijednosti Euklidovih distanci za svaki parameter.

Tabela 5.4. Srednja vrijednost rednog broja prve pronađene relevantne slike

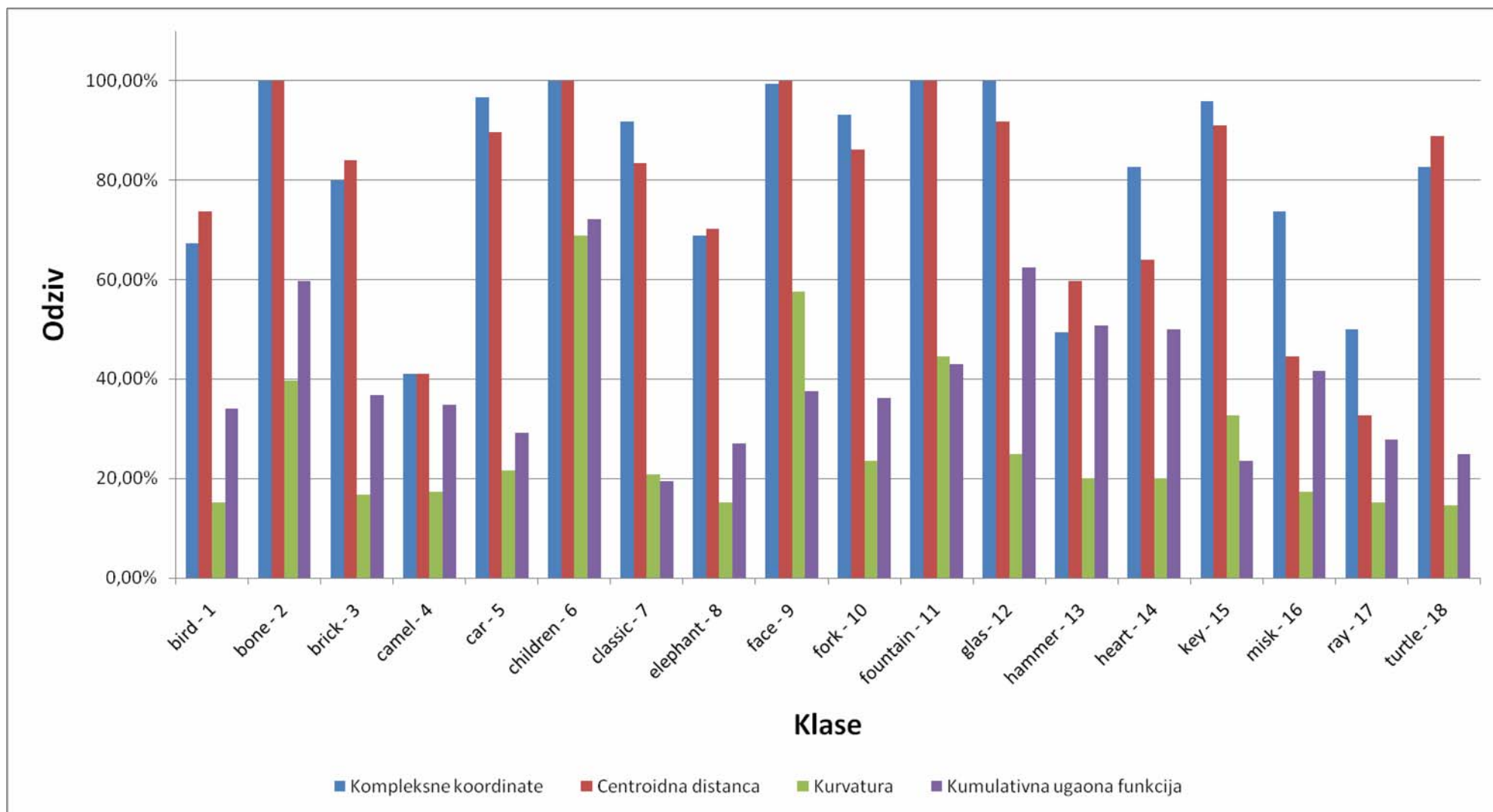
<b>Srednja vrijednost rednog broja prve pronađenije relevantne slike</b>			
<b>Kompleksne koordinate</b>	<b>Centroidna distanca</b>	<b>Kurvatura</b>	<b>Kumulativna ugaona funkcija</b>
1,16	1,34	8,60	4,41

Tabela 5.5. Opseg Euklidovih distanci FD za različite signature

<b>Maksimalan opseg Euklidovih distanci</b>			
<b>Kompleksne koordinate</b>	<b>Centroidna distanca</b>	<b>Kurvatura</b>	<b>Kumulativna ugaona funkcija</b>
8102,19	0,6479	86711306792449300,00	123,59

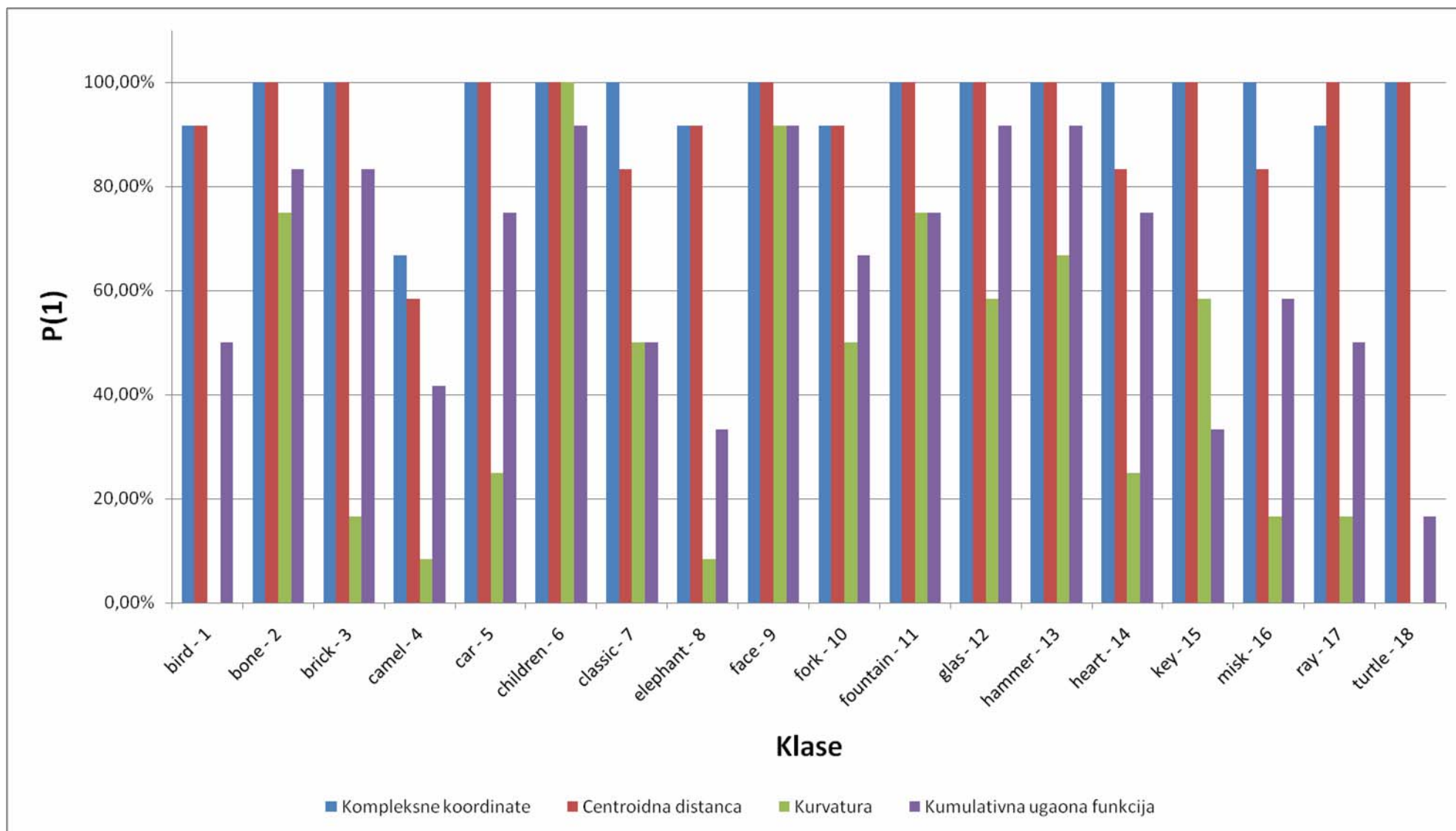


Slika 5.13. - Preciznost FD po klasama za različite signature

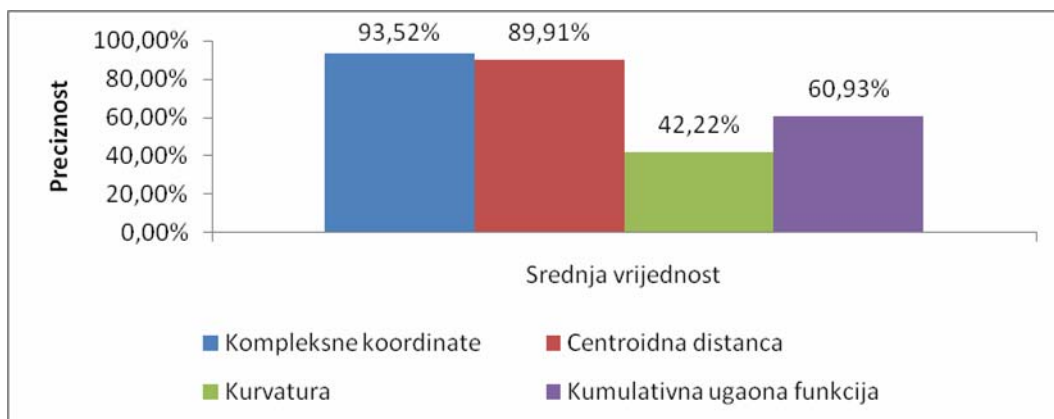


Slika 5.14. - Odziv FD po klasama za različite signature

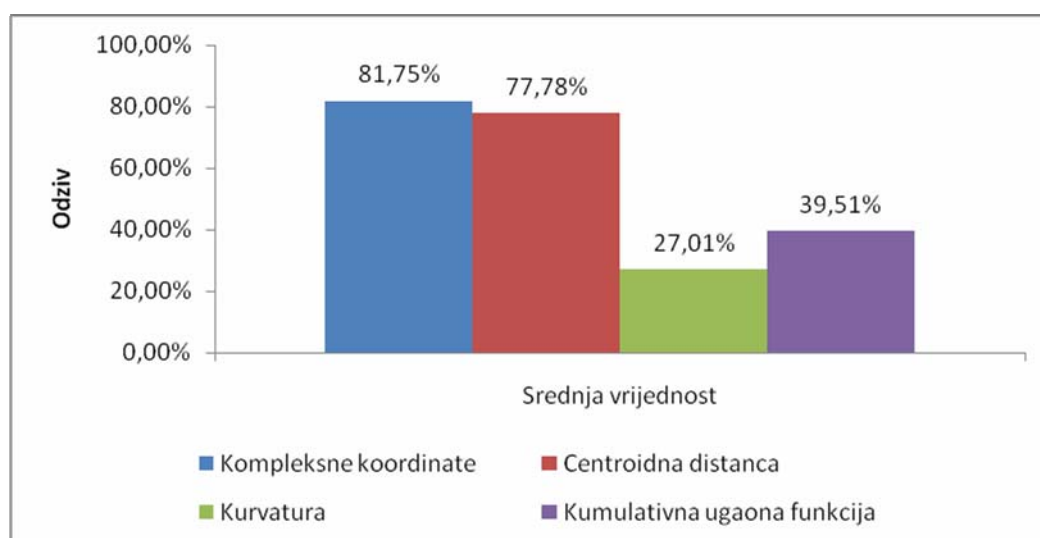




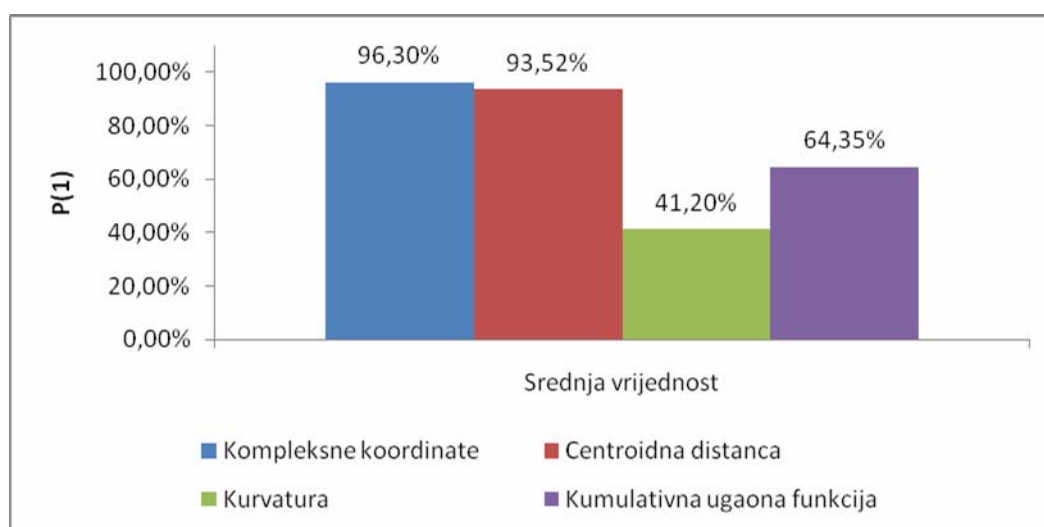
Slika 5.15. - Preciznost prvog pogotka FD po klasama za različite signature



Slika 5.16. - Srednja vrijednost preciznosti FD za različite signature



Slika 5.17. - Srednja vrijednost odziva FD za različite signature



Slika 5.18. - Srednja vrijednost preciznosti prvog pogotka FD za različite signature

### 5.3.2. Promjena broja tačaka

Prilikom analize broja tačaka kao fiksni parametri uzeti su broj deskriptora 64 i kompleksne koordinate kao signatura. Analiza se odvija po sledećem algoritmu:

```

broj deskriptora=64
signatura=kompleksne koordinate
% parametar br_tac=64,128,256,512

broj_tac=64
for parametar=1:4
    for klasa=1:18
        for objekat=1:12
            upit=deskriptor(broj_tac,klasa,objekat)
            for klasa2=1:18
                for objekat2=1:12
                    slikabaze=deskriptor(broj_tac,klasa2,objekat2)
                    Euklidova_distanca(upit,slikabaze)
                end
            end
            end
            Preciznost(broj_tac,upit); Odziv (broj_tac,upit); P1(broj_tac,upit)
        end
        Sr_preciznost_klase(broj_tac,klasa),Sr_odziv_klase(broj_tac,klasa), Sr_P1(broj_tac,klasa)
    end
end
Sr_preciznost(broj_tac), Sr_odziv(broj_tac), Sr_P1(broj_tac)
broj_tac=2*broj_tac
end

```

Matlabov fajl za analizu je FDbrtacaka.m, koji rezultirajuću matricu distanci upisuje u Excelove fajlove FDtackeck-klasaX.xls. Formatirani rezultati nalaze se u Excelovom fajlu SEFDbrojtacaka.xls.

### Ekperimentalni rezultati

U Tabela 5.6 dati su rezultati srednje vrijednosti preciznosti FD unutar klasa, a zatim su određene srednje vrijednosti za sve klase po svakom parametru. Tabela 5.7 prikazuje na isti način dobijene podatke o odzivu, dok su u Tabela 5.8 dati podaci za preciznost prvog podudaranja.

Tabela 5.6. Preciznost FD po klasama za konture normalizovne na različit broj tačaka

PRECIZNOST				
klasa	64	128	256	512
1	93,33%	91,67%	93,33%	91,67%
2	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
3	98,33%	100,00%	100,00%	100,00%
4	63,33%	61,67%	61,67%	61,67%
5	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
6	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
7	98,33%	98,33%	98,33%	96,67%
8	81,67%	81,67%	85,00%	85,00%
9	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

<b>PRECIZNOST</b>				
<b>klasa</b>	<b>64</b>	<b>128</b>	<b>256</b>	<b>512</b>
<b>10</b>	93,33%	93,33%	93,33%	93,33%
<b>11</b>	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
<b>12</b>	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
<b>13</b>	81,67%	83,33%	86,67%	86,67%
<b>14</b>	90,00%	93,33%	95,00%	95,00%
<b>15</b>	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
<b>16</b>	96,67%	93,33%	90,00%	90,00%
<b>17</b>	78,33%	81,67%	81,67%	81,67%
<b>18</b>	96,67%	98,33%	98,33%	98,33%
<b>Srednja vr.</b>	<b>92,87%</b>	<b>93,15%</b>	<b>93,52%</b>	<b>93,33%</b>

Tabela 5.7. Odziv FD po klasama za konture normalizovane na različit broj tačaka

<b>ODZIV</b>				
<b>klasa</b>	<b>64</b>	<b>128</b>	<b>256</b>	<b>512</b>
<b>1</b>	67,36%	67,36%	67,36%	66,67%
<b>2</b>	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
<b>3</b>	79,86%	80,56%	79,86%	80,56%
<b>4</b>	42,36%	40,97%	40,97%	40,97%
<b>5</b>	99,31%	97,22%	96,53%	95,83%
<b>6</b>	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
<b>7</b>	90,97%	91,67%	91,67%	91,67%
<b>8</b>	66,67%	68,06%	68,75%	68,75%
<b>9</b>	98,61%	98,61%	99,31%	100,00%
<b>10</b>	93,06%	93,06%	93,06%	93,06%
<b>11</b>	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
<b>12</b>	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
<b>13</b>	48,61%	48,61%	49,31%	50,69%
<b>14</b>	79,17%	80,56%	82,64%	83,33%
<b>15</b>	96,53%	95,83%	95,83%	95,83%
<b>16</b>	74,31%	73,61%	73,61%	72,92%
<b>17</b>	50,00%	50,00%	50,00%	50,00%
<b>18</b>	81,94%	82,64%	82,64%	82,64%
<b>Srednja vr.</b>	<b>81,60%</b>	<b>81,60%</b>	<b>81,75%</b>	<b>81,83%</b>

Tabela 5.8. Preciznost prvog pogotka za FD po klasama sa konturama normalizovanim na različit broj tačaka

P(1)				
klasa	64	128	256	512
1	91,67%	91,67%	91,67%	91,67%
2	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
3	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
4	66,67%	66,67%	66,67%	66,67%
5	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
6	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
7	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
8	91,67%	91,67%	91,67%	83,33%
9	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
10	91,67%	91,67%	91,67%	91,67%
11	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
12	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
13	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
14	91,67%	100,00%	100,00%	100,00%
15	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
16	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
17	100,00%	91,67%	91,67%	91,67%
18	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
<b>Srednja vr.</b>	<b>96,30%</b>	<b>96,30%</b>	<b>96,30%</b>	<b>95,83%</b>

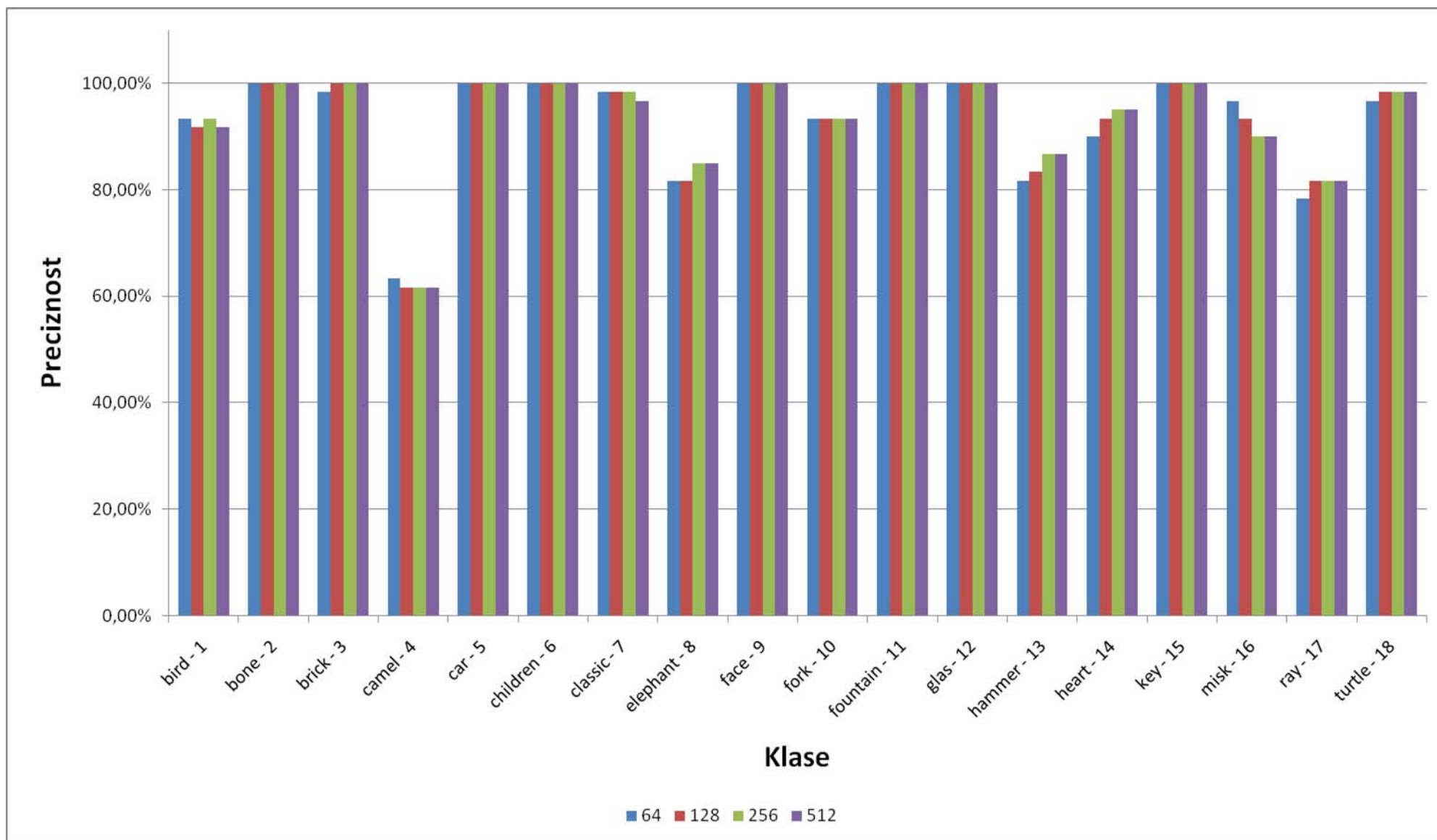
U Tabela 5.9 data je srednja vrijednost rednog broja prve pronađene relevantne slike za svaki parameter za sve klase u bazi, dok su u 0 date maksimalne vrijednosti Euklidovih distanci za svaki parameter

Tabela 5.9. Srednja vrijednost rednog broja prve pronađene relevantne slike

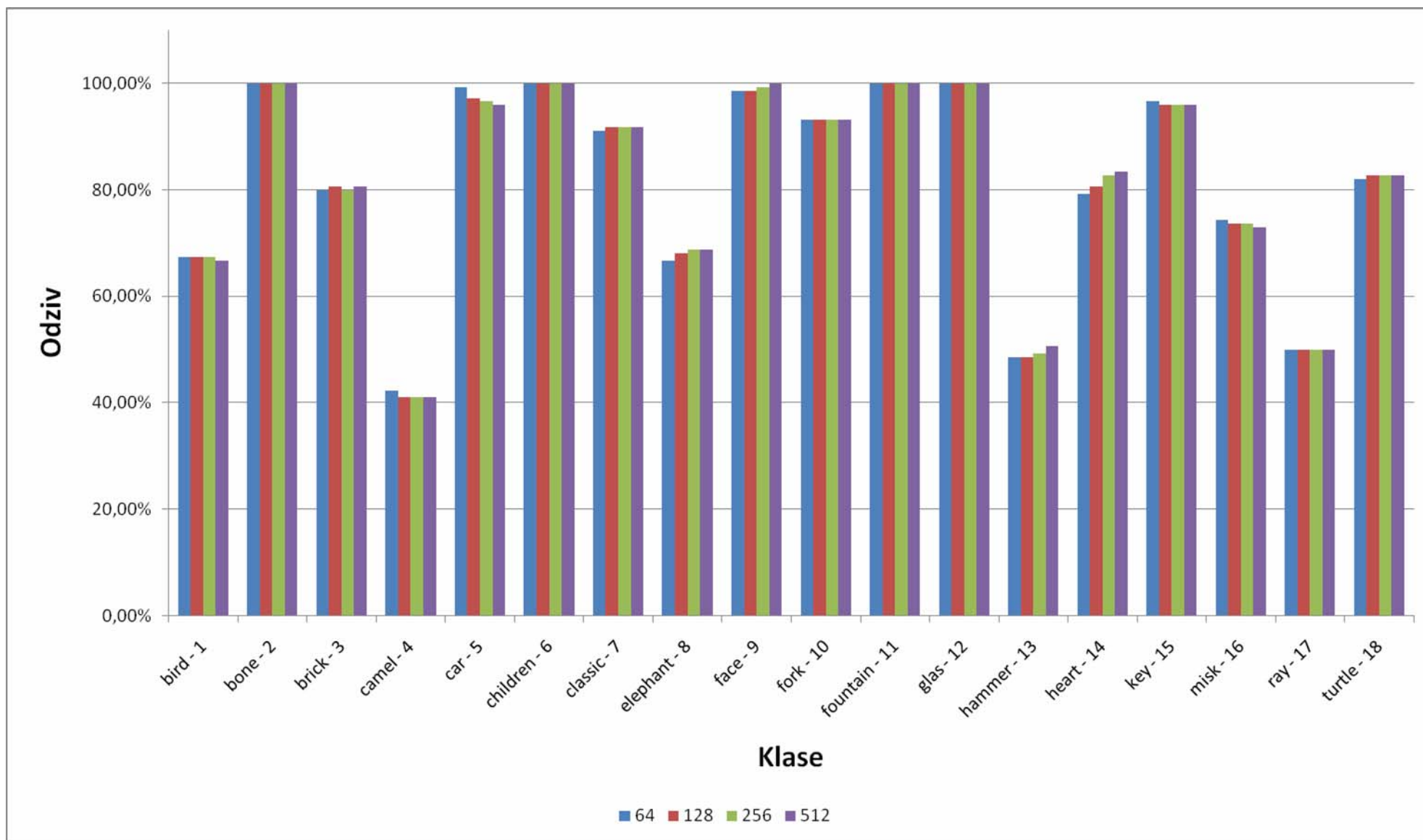
Srednja vrijednost rednog broja prve pronađenije relevantne slike			
64	128	256	512
1,16	1,16	1,16	1,17

Tabela 5.10. Opseg Euklidovih distanci FD za različit broj tačaka konture

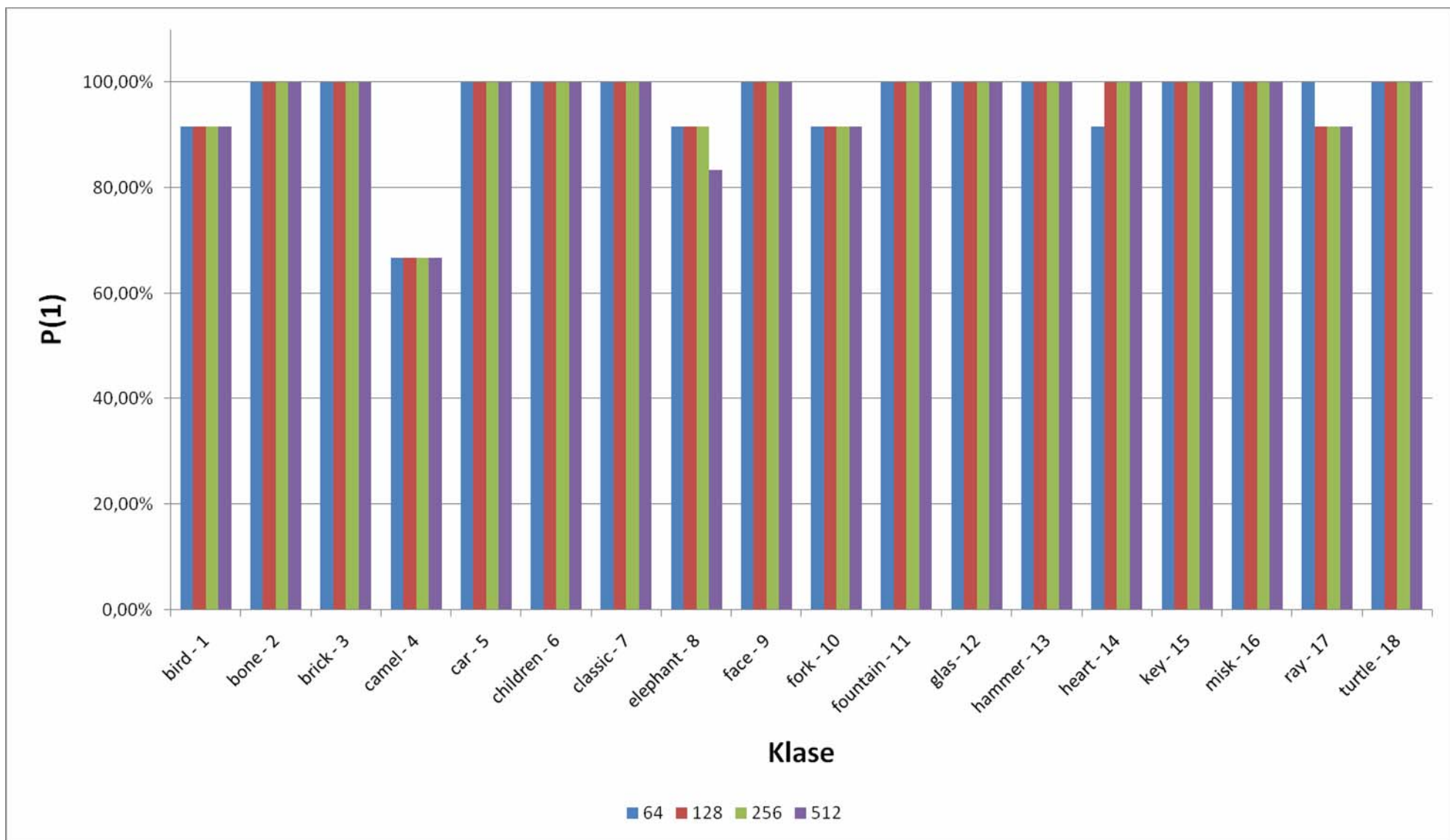
Opseg Euklidovih distanci			
64	128	256	512
2011,18	4030,92	8102,19	16231,07



Slika 5.19. - Preciznost FD po klasama za konture normalizovane na različit broj tačaka

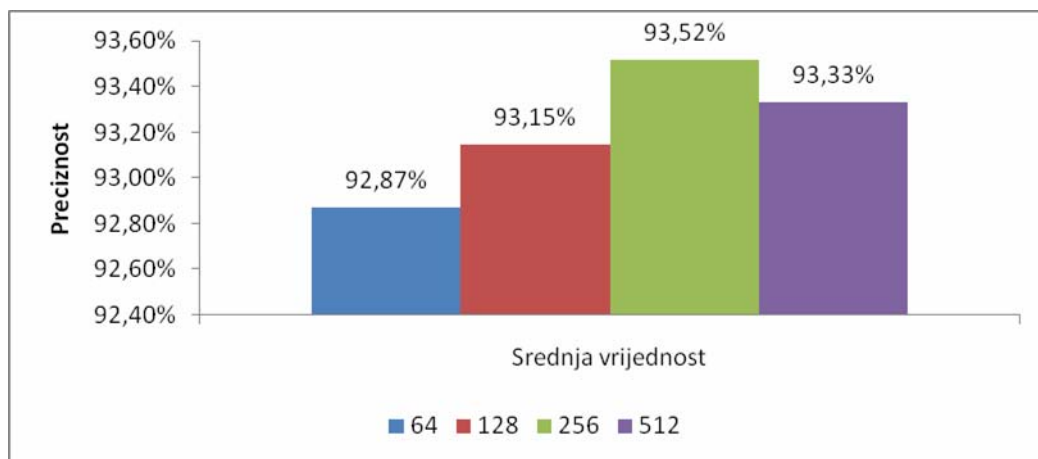


Slika 5.20. - Odziv FD po klasama za konture normalizovane na različit broj tačaka

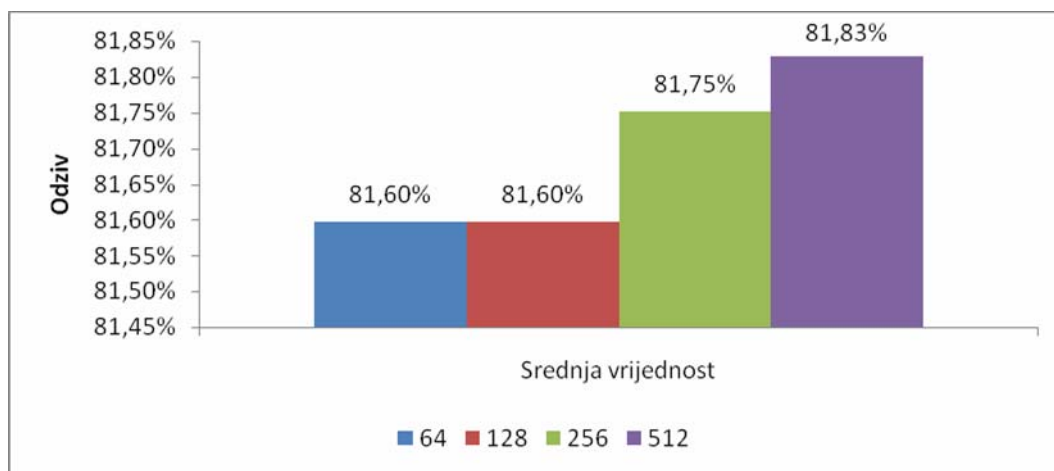


Slika 5.21. - Preciznost prvog pogotka FD za konture normalizovane na različit broj tačaka

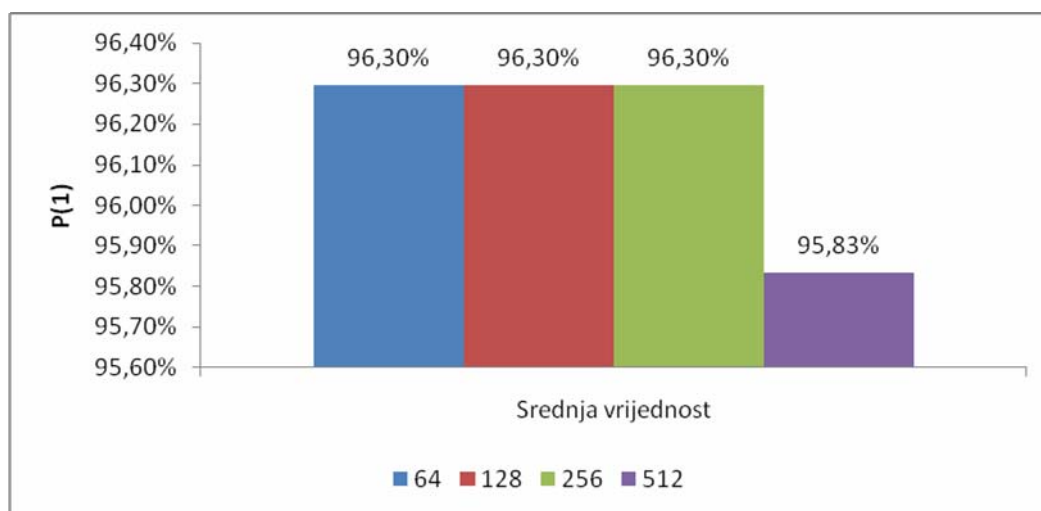




Slika 5.22. - Srednja vrijednost preciznosti FD za konture normalizovane na različit broj tačaka



Slika 5.23. - Srednja vrijednost odziva FD za konture normalizovane na različit broj tačaka



Slika 5.24. - Srednja vrijednost preciznosti prvog pogotka FD za konture normalizovane na različit broj tačaka

### 5.3.3. Promjena broja deskriptora

Prilikom analize broja deskriptora kao fiksni parametri uzeti su broj tačaka 256 i kompleksne koordinate kao signatura. Analiza se odvija po sledećem algoritmu:

```

broj_tacaka=256
signatura=kompleksne koordinate
% parametar br_des=4,16,64,256
broj_des=4
for parametar=1:4
    for klasa=1:18
        for objekat=1:12
            upit=deskriptor(broj_des,klasa,objekat)
            for klasa2=1:18
                for objekat2=1:12
                    slikabaze=deskriptor(broj_des,klasa2,objekat2)
                    Euklidova_distanca(upit,slikabaze)
                end
            end
            end
            end
            Preciznost(broj_des,upit); Odziv (broj_des,upit); P1(broj_des,upit)
        end
        Sr_preciznost_klase(broj_des,klasa),Sr_odziv_klase(broj_des,klasa), Sr_P1(broj_des,klasa)
    end
    end
    Sr_preciznost(broj_des), Sr_odziv(broj_des), Sr_P1(broj_des)
    broj_des=4*broj_des
end

```

Matlab-ov fajl za analizu je FDbrdeskriptora.m, koji rezultirajuću matricu distanci upisuje u Excelove fajlove FDdeskriptori-klasaX.xls.Formatirani rezultati su u Excelovom fajlu SEFDbrojdeskriptora.xls

### Eksperimentalni rezultati

U Tabela 5.11 dati su rezultati srednje vrijednosti preciznosti FD unutar klasa, a zatim su određene srednje vrijednosti za sve klase po svakom parametru. Tabela 5.12 prikazuje na isti način dobijene podatke o odzivu, dok su u Tabela 5.13 dati podaci za preciznost prvog pogotka.

Tabela 5.11. Preciznost za različit broj FD po klasama

PRECIZNOST				
klasa	4	16	64	256
1	45,00%	90,00%	93,33%	93,33%
2	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
3	78,33%	100,00%	100,00%	100,00%
4	28,33%	60,00%	61,67%	65,00%
5	83,33%	100,00%	100,00%	100,00%
6	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
7	78,33%	98,33%	98,33%	98,33%
8	65,00%	83,33%	85,00%	85,00%
9	96,67%	100,00%	100,00%	100,00%

<b>PRECIZNOST</b>				
<b>klasa</b>	<b>4</b>	<b>16</b>	<b>64</b>	<b>256</b>
<b>10</b>	93,33%	93,33%	93,33%	93,33%
<b>11</b>	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
<b>12</b>	71,67%	100,00%	100,00%	100,00%
<b>13</b>	68,33%	86,67%	86,67%	86,67%
<b>14</b>	71,67%	93,33%	95,00%	95,00%
<b>15</b>	56,67%	100,00%	100,00%	100,00%
<b>16</b>	71,67%	88,33%	90,00%	90,00%
<b>17</b>	66,67%	81,67%	81,67%	81,67%
<b>18</b>	61,67%	98,33%	98,33%	98,33%
<b>Srednja vr.</b>	<b>74,26%</b>	<b>92,96%</b>	<b>93,52%</b>	<b>93,70%</b>

Tabela 5.12. Odziv za različit broj FD po klasama

<b>ODZIV</b>				
<b>klasa</b>	<b>4</b>	<b>16</b>	<b>64</b>	<b>256</b>
<b>1</b>	23,61%	68,06%	67,36%	67,36%
<b>2</b>	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
<b>3</b>	48,61%	78,47%	79,86%	79,86%
<b>4</b>	25,69%	40,97%	40,97%	40,97%
<b>5</b>	70,14%	96,53%	96,53%	96,53%
<b>6</b>	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
<b>7</b>	64,58%	91,67%	91,67%	91,67%
<b>8</b>	55,56%	67,36%	68,75%	68,75%
<b>9</b>	93,06%	99,31%	99,31%	99,31%
<b>10</b>	93,06%	93,06%	93,06%	93,06%
<b>11</b>	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
<b>12</b>	61,11%	100,00%	100,00%	100,00%
<b>13</b>	38,19%	50,00%	49,31%	49,31%
<b>14</b>	57,64%	82,64%	82,64%	82,64%
<b>15</b>	54,17%	95,83%	95,83%	95,83%
<b>16</b>	53,47%	71,53%	73,61%	73,61%
<b>17</b>	36,11%	50,00%	50,00%	50,00%
<b>18</b>	45,14%	82,64%	82,64%	82,64%
<b>Srednja vr.</b>	<b>62,23%</b>	<b>81,56%</b>	<b>81,75%</b>	<b>81,75%</b>

Tabela 5.13. Preciznost prvog pogotka za različit broj FD po klasama

<b>P(1)</b>				
<b>klasa</b>	<b>4</b>	<b>16</b>	<b>64</b>	<b>256</b>
1	58,33%	91,67%	91,67%	91,67%
2	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
3	91,67%	100,00%	100,00%	100,00%
4	0,00%	66,67%	66,67%	66,67%
5	83,33%	100,00%	100,00%	100,00%
6	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
7	91,67%	100,00%	100,00%	100,00%
8	75,00%	83,33%	91,67%	91,67%
9	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
10	91,67%	91,67%	91,67%	91,67%
11	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
12	50,00%	100,00%	100,00%	100,00%
13	83,33%	100,00%	100,00%	100,00%
14	75,00%	100,00%	100,00%	100,00%
15	33,33%	100,00%	100,00%	100,00%
16	50,00%	100,00%	100,00%	100,00%
17	83,33%	91,67%	91,67%	91,67%
18	66,67%	100,00%	100,00%	100,00%
<b>Srednja vr.</b>	<b>74,07%</b>	<b>95,83%</b>	<b>96,30%</b>	<b>96,30%</b>

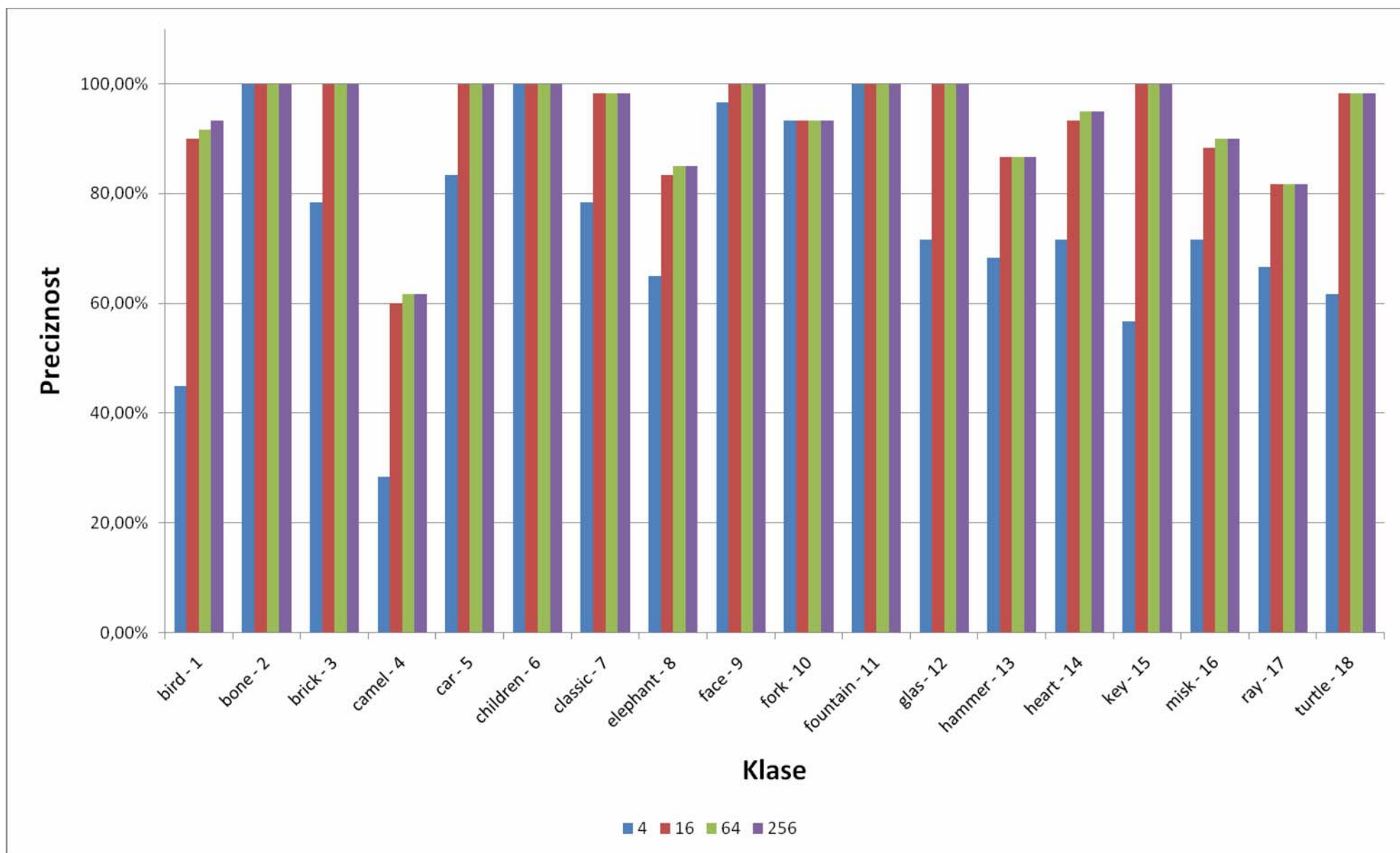
U Tabela 5.4 data je srednja vrijednost rednog broja prve pronađene relevantne slike za svaki parameter za sve klase u bazi, dok su u Tabela 5.5 date su maksimalne vrijednosti Euklidovih distanci za svaki parameter

Tabela 5.14. Srednja vrijednost rednog broja prve pronađene relevantne slike

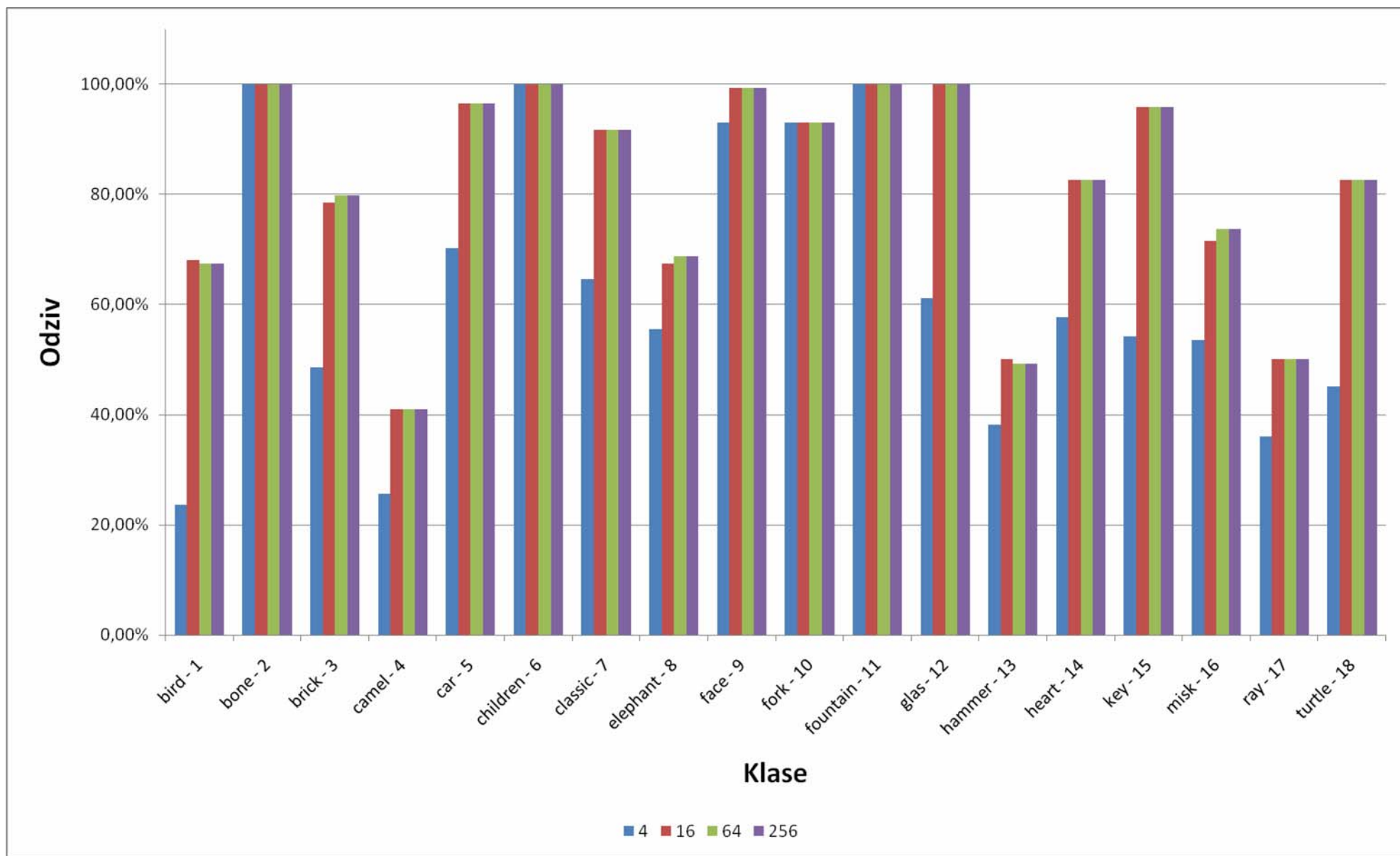
<b>Srednja vrijednost rednog broja prve pronađenije relevantne slike</b>			
<b>4</b>	<b>16</b>	<b>64</b>	<b>256</b>
1,81	1,17	1,16	1,16

Tabela 5.15. Opseg Euklidovih distanci za različit broj FD

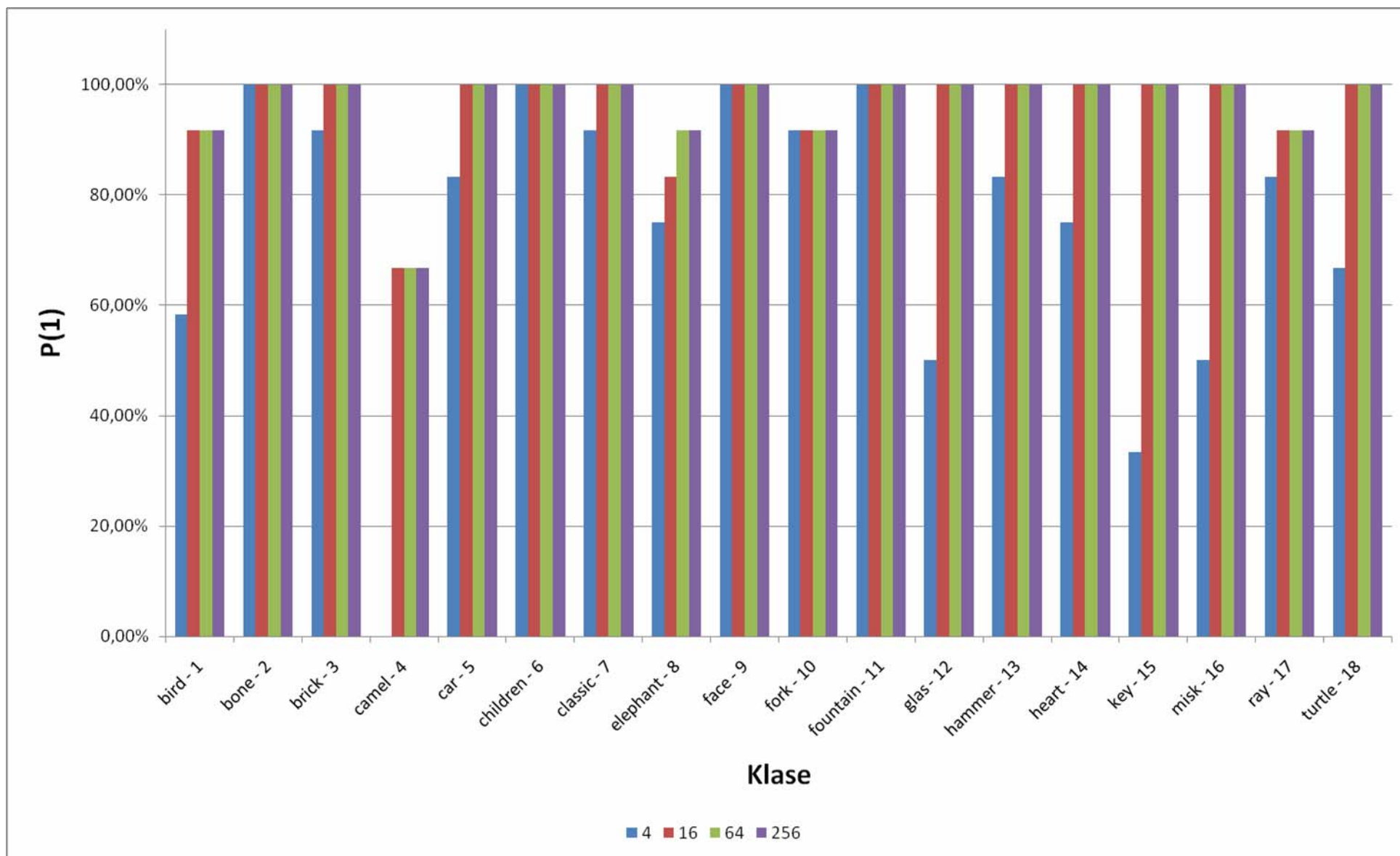
<b>Opseg Euklidovih distanci</b>			
<b>4</b>	<b>16</b>	<b>64</b>	<b>256</b>
7553,41	8047,85	8102,19	8103,43



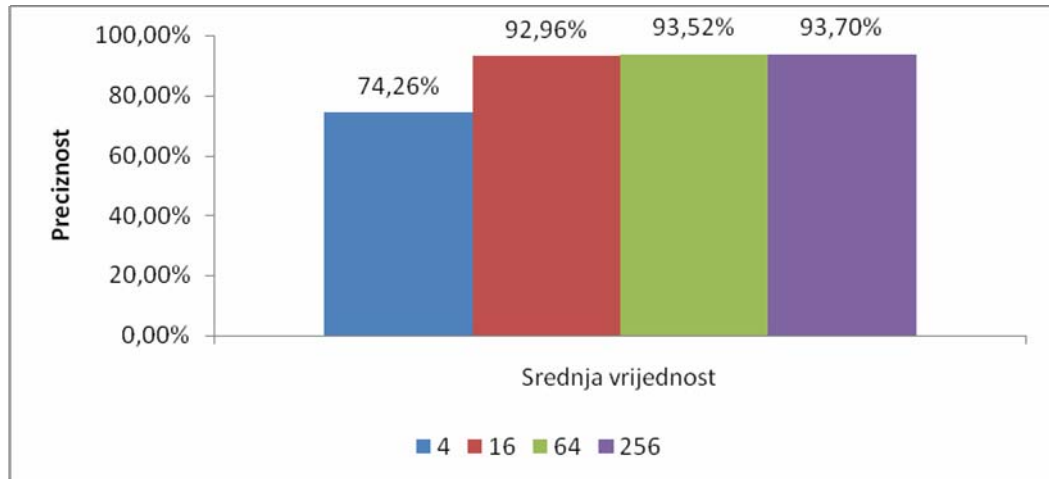
Slika 5.25. - Preciznost za različit broj FD po klasama



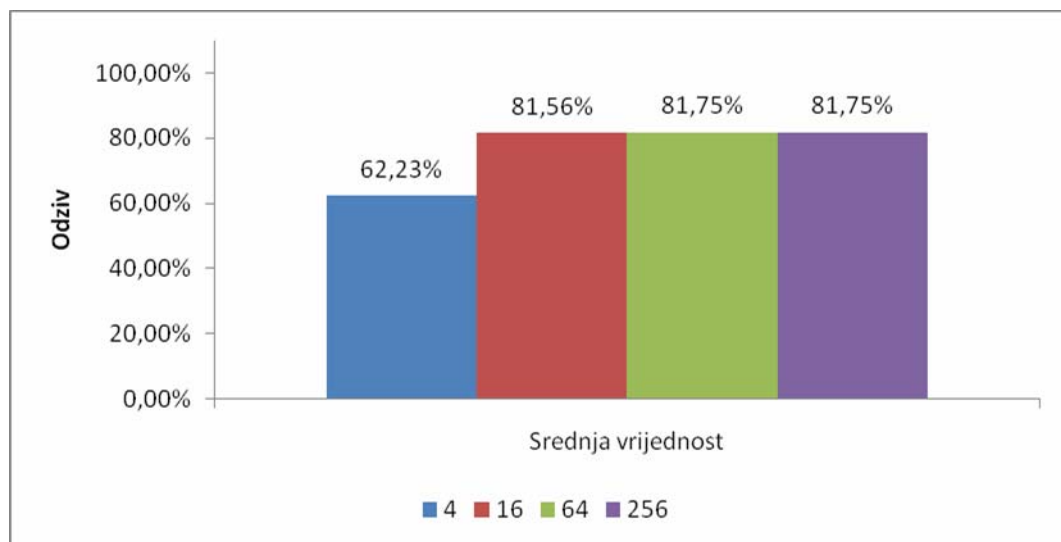
Slika 5.26. - Odziv za različit broj FD po klasama



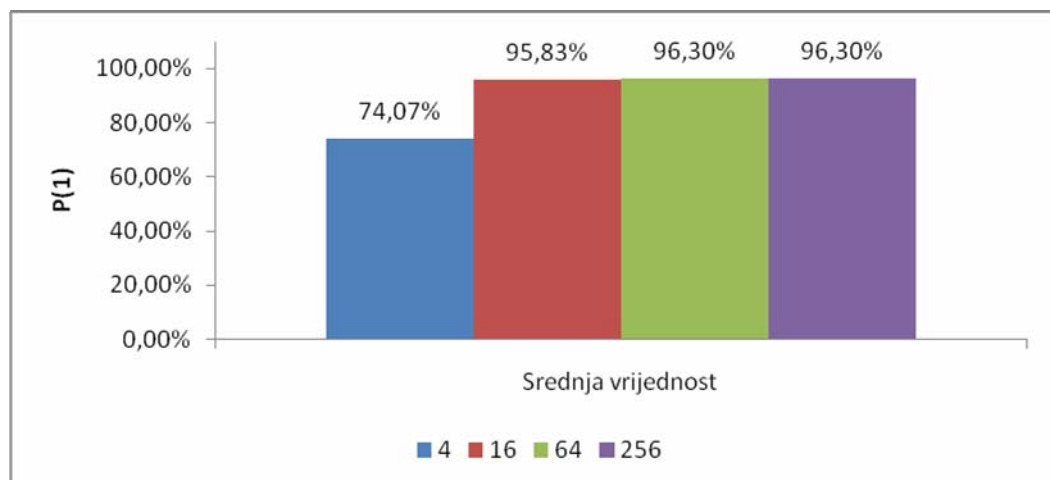
Slika 5.27. - Preciznost prvog podudaranja za različit broj FD po klasama



Slika 5.28. - Srednja vrijednost preciznosti za različit broj FD



Slika 5.29. - Srednja vrijednost odziva za različit broj FD



Slika 5.30. - Srednja vrijednost preciznosti prvog pogotka za različit broj FD



### 5.3.4. Zaključak

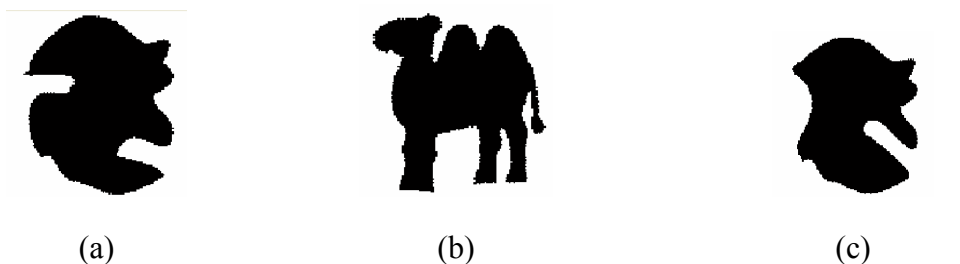
Prije analize uticaja parametara, analiziraćemo same FD i njihovu efikasnost na datoj bazi slika. U tu svrhu klase slika grupisaće se u kategorije prema relevantnim osobinama.

#### I kategorija: camel (4)

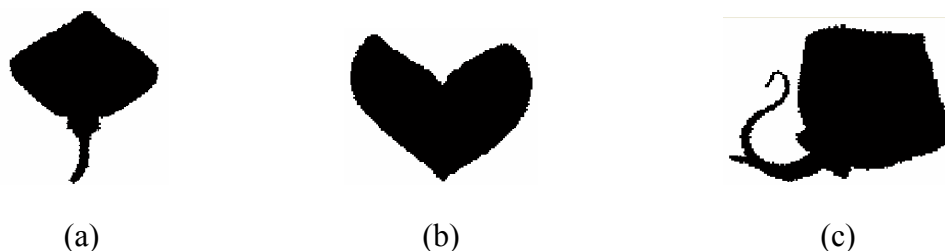
Rezultati pretraživanja u ovoj kategoriji su najlošiji. Analizom slika iz klase vidi se da su ove slike međusobno najrazličitije, a osim toga objekti sadrže i raznovrsne frekvencijske komponente. Oba ova faktora uticala su na loše rezultate deskripcije.

#### II kategorija: ray (17), misk (16), hammer (13), elephant (8), bird (1), heart (14), key (9), turtle(18)

Greške u pretraživanju ovih klasa nastaju zbog deskriptora. Naime, u ovim klasama dolazi do zabune jer iste frekvencijske komponente koje su dominantne na konturi predstavljaju vizuelno različite stvari. Na Slika 5.31(a) i (b) došlo je do zamjene grba na kamili i neravnina na čelu siluete, nogu kamile i bijelih udubljenja na silueti. S druge strane Slika 5.31(a) i (c) imaju veliku distancu zbog velike razlike u frekvencijama udubljenja. I u klasi ray nastale su greške iz istih razloga. Kod Slika 5.32(b) došlo je do zabune između repa i gornjeg dijela srca (slične VF komponente), dok je kod Slika 5.32(c) savijeni rep dominirao i udaljio je od klase.



Slika 5.31. (a) upit; (b) 4. pogodak; (c) 53. pogodak



Slika 5.32. (a) upit; (b) 4. pogodak; (c) 206. pogodak

I ostale nabrojane klase imaju slične zabune zbog istih frekvencijskih komponenti tako da se klase hammer i bird miješaju (kljun i vrh čekića) elephant, camel, ray (rep slona, ribe i kamile) itd.

#### III kategorija: brick (3), car (5), classic (7)

Greške u pretraživanju nastaju zbog vizuelnih sličnosti.



Slika 5.33. (a) vizuelna sličnost između klasa brick i classic; (b) classic i car

IV kategorija: fountain (11), glass (12), fork (19), bone(3), face(9), children (6)

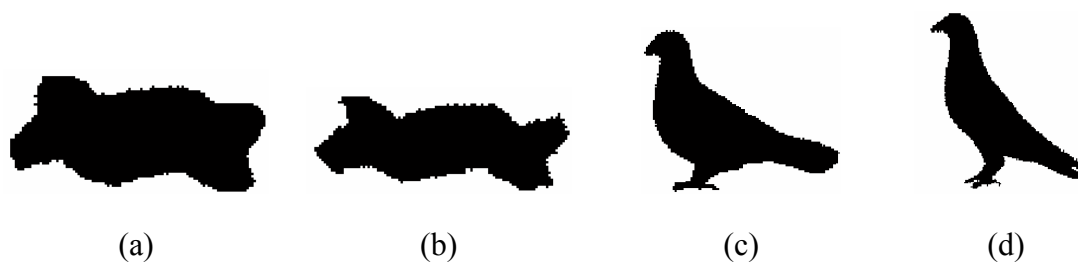
U ovoj kategoriji pretraživanje ima 100% preciznost, uz zanemarljive izuzetke koji nastaju zbog velikih razlika modela od ostalih slika u klasi.

Na osnovu prethodne analize možemo zaključiti da FD imaju dobre rezultate za deskripciju kontura sa malim brojem frekvencijskih komponenti, pa neke slike za koje je teško vizuelno raspoznati kojoj klasi pripadaju, FD klasifikuju bez greške (classic, brick, car i sl.). Sa povećanjem broja izraženih frekvencijskih komponenti dolazi do zamjene različitih oblika koji su vizuelno različiti a u prostoru obilježja imaju bliske deskriptore.

### Promjena signatura

Rezultati analize pokazuju da su kompleksne koordinate najbolja signatura za FD. Nešto malo lošije rezultate ima centroidna distanca.

Osim toga, treba izdvojiti i klase bird (1), brick (3) i turtle (18) u kojima je centroidna distanca bolja u odnosu na kompleksne koordinate. Ako pogledamo vidimo da je centroidna distanca za slike ovih klasa manje naglasila debljinu objekta u odnosu na kompleksne koordinate



Slika 5.34. - (a) upit klase brick; (b) 31. pogodak za kompleksne koordinate i 7. za centroidnu distancu; (c) upit klase bird; (d) 17. pogodak za kompleksne koordinate i 5. za centroidnu distancu

Dosta lošija centroidna distanca je u klasama heart (14) i misk (16). Sa Slika 5.35 vidimo da su loši rezultati posljedica naglašavanja krivine koja je bliska centru objekta.



Slika 5.35. - (a) upit; (b) 5. pogodak za kompleksne koordinate i 38. pogodak za centroidnu distancu

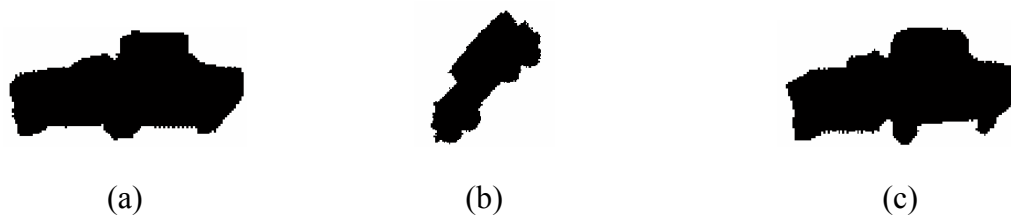
Kurvatura je najlošija signatura što je bilo i očekivano s obzirom na njene nedostatke u vidu diskontinuiteta koji unose velika odstupanja u deskriptorima. Kumulativna ugaona funkcija takođe nije dala dobre rezultate, ali je bolja od kurvature. Izuzetak čine klase face (9) i key (15). Slike ovih klasa nemaju mnogo ravnih linija na konturama pa je manji broj diskontinuiteta u kurvaturi, što doprinosi boljoj deskripciji. Obe ove signature daju bolju deskripciju oblika kod slika sa ravnijim konturama kao što su klase children (6), face (9) i fountain (11).

### Promjena broja tačaka

Iz dobijenih rezultata vidljivo je da povećanje broja tačaka preko 64 nema značajnijeg uticaja na efikasnost deskriptora.

Postoje zanemarljive promjene vrijednosti preciznosti i odziva. Međutim treba uočiti promjenu opsega Euklidovih distanci, koja se proporcionalno povećava sa povećanjem brojem tačaka. To je i očekivano, s obzirom da veći broj tačaka detaljnije opisuje konturu, pa samim tim se i konture više međusobno razlikuju.

Još jedan nedostatak javlja se i kod vizuelno sličnih klasa. Povećanje broja tačaka više naglašava detalje koji postaju dominantni u odnosu na ukupnu sliku.



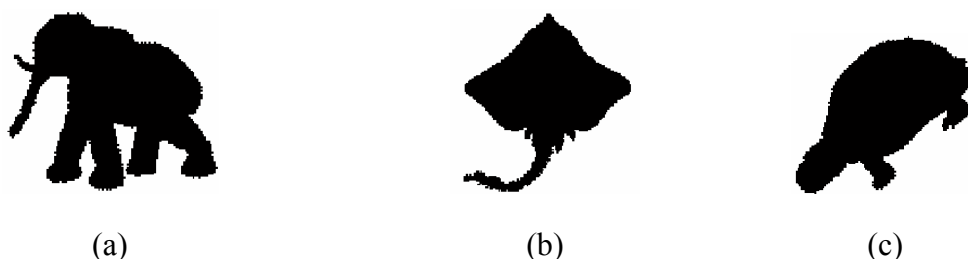
Slika 5.36. - Primjer vizuelno sličnih klasa za 128 tačaka  $ED(a)-(b)=355,54$ ;  $ED(a)-(c)=341,74$ ; za 256 tačaka  $ED(a)-(b)=650,51$ ;  $ED(a)-(c)=702,69$

Imajući u vidu da povećanje broja tačaka utiče na brzinu rada, a takođe i na upotrebu memorije. Iako u nekim klasama dolazi do poboljšanja rezultata pretraživanja, ipak su dobici mali pa možemo zaključiti da je povećanje broja tačaka iznad 64 neefikasno.

### Promjena broja deskriptora

Rezultati su pokazali da već upotrebom 16 deskriptora dobijamo zadovoljavajuće rezultate. Promjene preciznosti i odziva povećane su za oko 1% pri povećanju deskriptora sa 32 na 64, dok je promjena još manja prilikom povećanja sa 64 na 256 deskriptora (samo 0,1%). Takođe se i opseg Euklidovih distanci neznatno promijenio, pa možemo reći da FD daju svoje maksimalne rezultate već za 64 deskriptora.

Uticaj povećanja reda deskriptora možemo pratiti u klasi elephant. Na Slika 5.38 prikazani su neki specifični rezultati. Za 4 FD 10. pogodak je Slika 5.37(b). Sličnost nastaje zbog toga jer su u deskriptoru sačuvane samo jako niske i jako visoke frekvencije (tijelo slona i lista i rep odnosno surla). Za 16 FD postaju dominantne i srednje frekvencije (noge) pa kao rezultat toga Slika 5.37(b) prelazi na 19. poziciju dok Slika 5.37(c) dolazi na 11. poziciju.

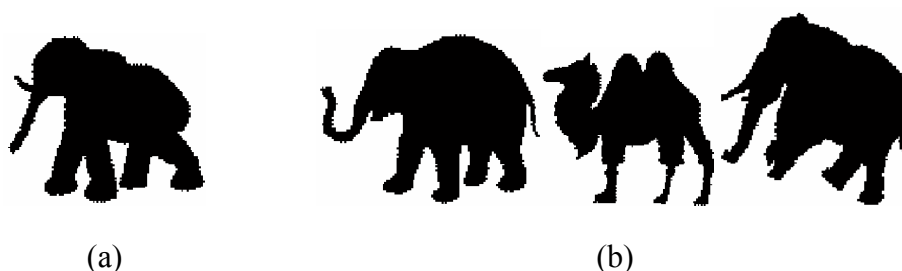


Slika 5.37. - (a) model; (b) 10. podudaranje za 4 FD (c) 11. podudaranje za 16 FD

Kod povećanja sa 32 na 64 deskriptora takođe primjećujemo da se sve više smanjuje uticaj jako niskih i jako visokih frekvencija. Npr. ako posmatramo Slika 5.38 vidimo da su kod 32 deskriptora presudan uticaj imala "valovita leđa" i zadnji dio slona sa Slika 5.38(a) zbog čega je kao najbliži objekt izdvojena kamila, a zatim drugi slon sa "valovitim" leđima. Poređenje sa 64 deskriptora dalo je veću "težinu" i ostalim komponentama, pa je prvi pogodak iz iste klase.



Slika 5.38. - (a) upit i (b) prva tri pogotka za 32 FD



Slika 5.39. - (a) upit i (b) prva tri pogotka za 64 FD

## 5.4. Statistička evaluacija WD

U ovom paragrafu biće urađena statistička evaluacija WD, i to sa promjenom sledećih parametara:

- signature
- broja tačaka konture
- reda dekompozicije

Kao mjera sličnosti uzeta je Euklidova distanca, a određene su srednje vrijednosti preciznosti, odziva, preciznosti prvog pogotka P(1), srednja vrijednost rednog broja prve relevantne slike kao i opseg Euklidovih distanci.

### 5.4.1. Promjena signatura

Prilikom analize signatura kao fiksni parametri uzeti su broj tačaka konture 256 i red dekompozicije 6. Analiza se odvija po sledećem algoritmu:

```

broj tacaka=256
red_dekopmozicije=6
% signatura=1 - kompleksne koordinate, 2- centroidna distanca, 3-kurvatura, 4-kumulativna ugaona funkcija

for signatura=1:4
    for klasa=1:18
        for objekat=1:12
            upit=deskriptor(signatura,klasa,objekat)
            for klasa2=1:18
                for objekat2=1:12
                    slikabase=deskriptor(signatura,klasa2,objekat2)
                    Euklidova_distanca(upit,slikabase)
                end
            end
            end
            Preciznost(signatura,upit); Odziv (signatura,upit); P1(signatura,upit)
        end
        Sr_preciznost_klase(signatura,klasa), Sr_odziv_klase(signatura,klasa), Sr_P1(signatura,klasa)
    end
end
Sr_preciznost(signatura), Sr_odziv(signatura), Sr_P1(signatura)
end

```

Matlabov fajl za analizu je WDsignaturedist.m, koji rezultirajuću matricu distanci upisuje u Excelove fajlove WDsignature-klasaX.xls. Formatirani podaci nalaze se u Excelovom fajlu WDsignature.xls. Promjena broja tačaka

### **Eksperimentalni rezultati**

U Tabela 5.16 dati su rezultati srednje vrijednosti preciznosti FD unutar klasa, a zatim su određene srednje vrijednosti za sve klase po svakom parametru.. Tabela 5.17 prikazuje na isti način dobijene podatke o odzivu, dok su u Tabela 5.18 dati podaci za preciznost prvog pogotka.

Tabela 5.16. Preciznost WD po klasama za različite signature

PRECIZNOST				
klasa	Kompleksne koordinate	Centroidna distanca	Kurvatura	Kumulativna ugaona funkcija
1	81,67%	83,33%	21,67%	48,33%
2	100,00%	90,00%	28,33%	90,00%
3	98,33%	90,00%	30,00%	95,00%
4	83,33%	65,00%	36,67%	75,00%
5	86,67%	81,67%	33,33%	81,67%
6	100,00%	100,00%	86,67%	100,00%
7	81,67%	75,00%	46,67%	68,33%
8	63,33%	60,00%	26,67%	48,33%
9	100,00%	100,00%	78,33%	100,00%
10	95,00%	95,00%	43,33%	85,00%
11	100,00%	100,00%	46,67%	100,00%
12	100,00%	100,00%	48,33%	100,00%
13	93,33%	93,33%	28,33%	90,00%
14	80,00%	76,67%	25,00%	71,67%
15	96,67%	90,00%	30,00%	58,33%
16	93,33%	83,33%	23,33%	68,33%
17	71,67%	66,67%	31,67%	51,67%
18	83,33%	83,33%	25,00%	51,67%
<b>Srednja vr.</b>	<b>89,35%</b>	<b>85,19%</b>	<b>38,33%</b>	<b>76,85%</b>

Tabela 5.17. Odziv WD po klasama za različite signature

ODZIV				
klasa	Kompleksne koordinate	Centroidna distanca	Kurvatura	Kumulativna ugaona funkcija
1	39,58%	40,28%	11,81%	29,17%
2	94,44%	63,19%	14,58%	59,72%
3	81,25%	58,33%	18,75%	56,94%
4	58,33%	43,06%	19,44%	58,33%
5	55,56%	42,36%	20,14%	46,53%
6	100,00%	100,00%	44,44%	100,00%
7	64,58%	52,78%	31,25%	48,61%
8	30,56%	30,56%	13,89%	31,94%
9	100,00%	81,94%	45,83%	100,00%
10	91,67%	88,89%	30,56%	59,03%
11	50,00%	50,00%	23,61%	50,00%
12	100,00%	91,67%	30,56%	96,53%
13	63,19%	61,81%	14,58%	55,56%
14	56,94%	49,31%	12,50%	43,06%
15	87,50%	64,58%	19,44%	37,50%
16	72,22%	65,28%	10,42%	38,19%
17	35,42%	31,94%	18,06%	25,00%
18	59,72%	59,03%	16,67%	29,17%
<b>Srednja vr.</b>	<b>68,94%</b>	<b>59,72%</b>	<b>22,03%</b>	<b>53,63%</b>

Tabela 5.18. Preciznost prvog pogotka WD po klasama za različite signature

P(1)				
klasa	Kompleksne koordinate	Centroidna distanca	Kurvatura	Kumulativna ugaona funkcija
1	91,67%	91,67%	0,00%	58,33%
2	100,00%	91,67%	33,33%	91,67%
3	100,00%	100,00%	16,67%	100,00%
4	91,67%	66,67%	8,33%	75,00%
5	91,67%	91,67%	25,00%	91,67%
6	100,00%	100,00%	91,67%	100,00%
7	83,33%	66,67%	33,33%	66,67%
8	66,67%	58,33%	25,00%	41,67%
9	100,00%	100,00%	83,33%	100,00%
10	91,67%	91,67%	25,00%	83,33%
11	100,00%	100,00%	58,33%	100,00%
12	100,00%	100,00%	58,33%	100,00%
13	100,00%	100,00%	25,00%	100,00%
14	83,33%	83,33%	16,67%	75,00%
15	100,00%	91,67%	8,33%	50,00%
16	100,00%	91,67%	16,67%	83,33%
17	83,33%	83,33%	0,00%	66,67%
18	91,67%	91,67%	8,33%	50,00%
<b>Srednja vr.</b>	<b>93,06%</b>	<b>88,89%</b>	<b>29,63%</b>	<b>79,63%</b>

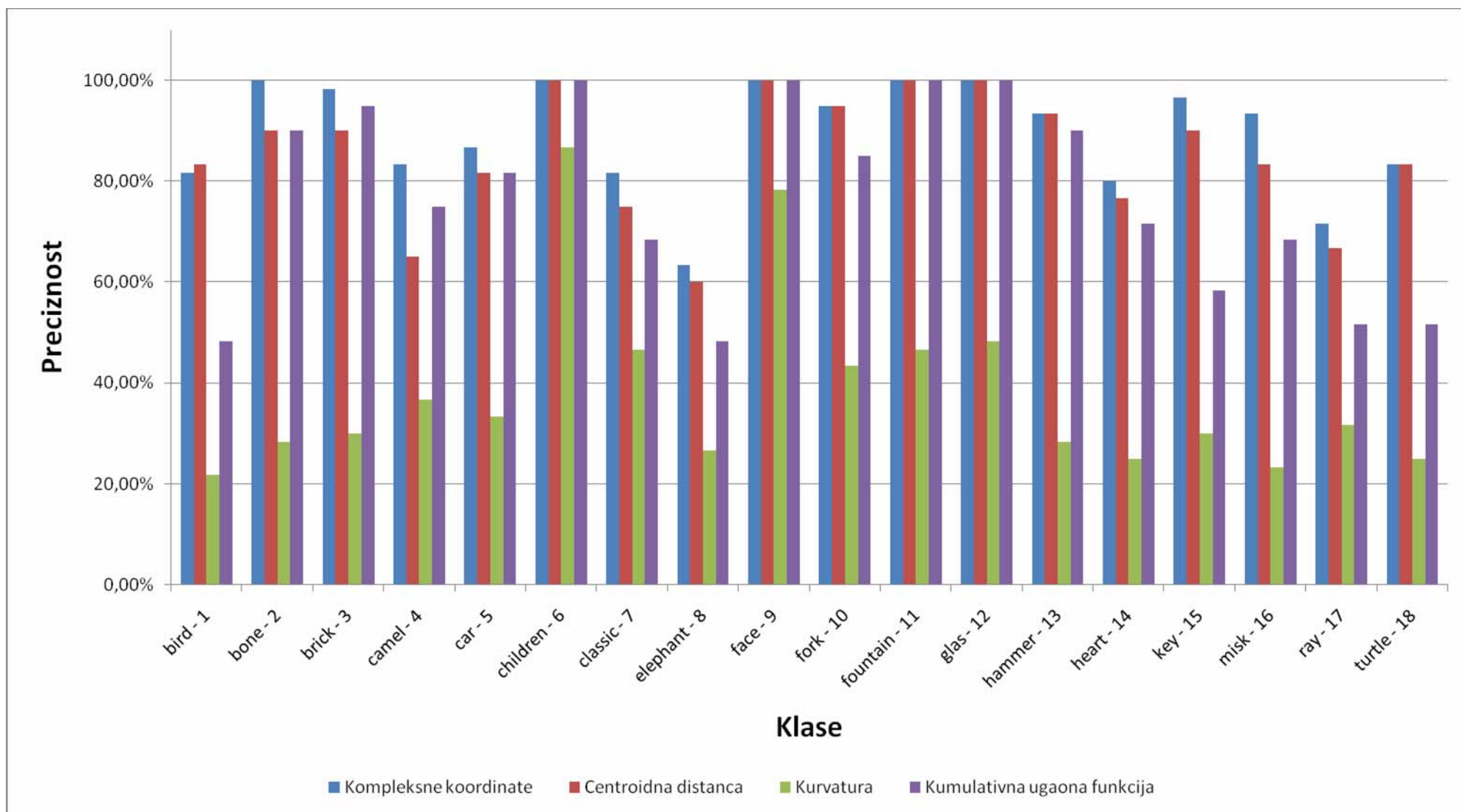
U Tabela 5.19 data je srednja vrijednost rednog broja prve pronađene relevantne slike za svaki parameter za sve klase u bazi, dok su u Tabela 5.20 date su maksimalne vrijednosti Euklidovih distanci za svaki parameter

Tabela 5.19. Srednja vrijednost rednog broja prve pronađene relevantne slike

Srednja vrijednost rednog broja prve pronađene relevantne slike			
Kompleksne koordinate	Centroidna distanca	Kurvatura	Kumulativna ugaona funkcija
1,95	3,62	14,86	5,81

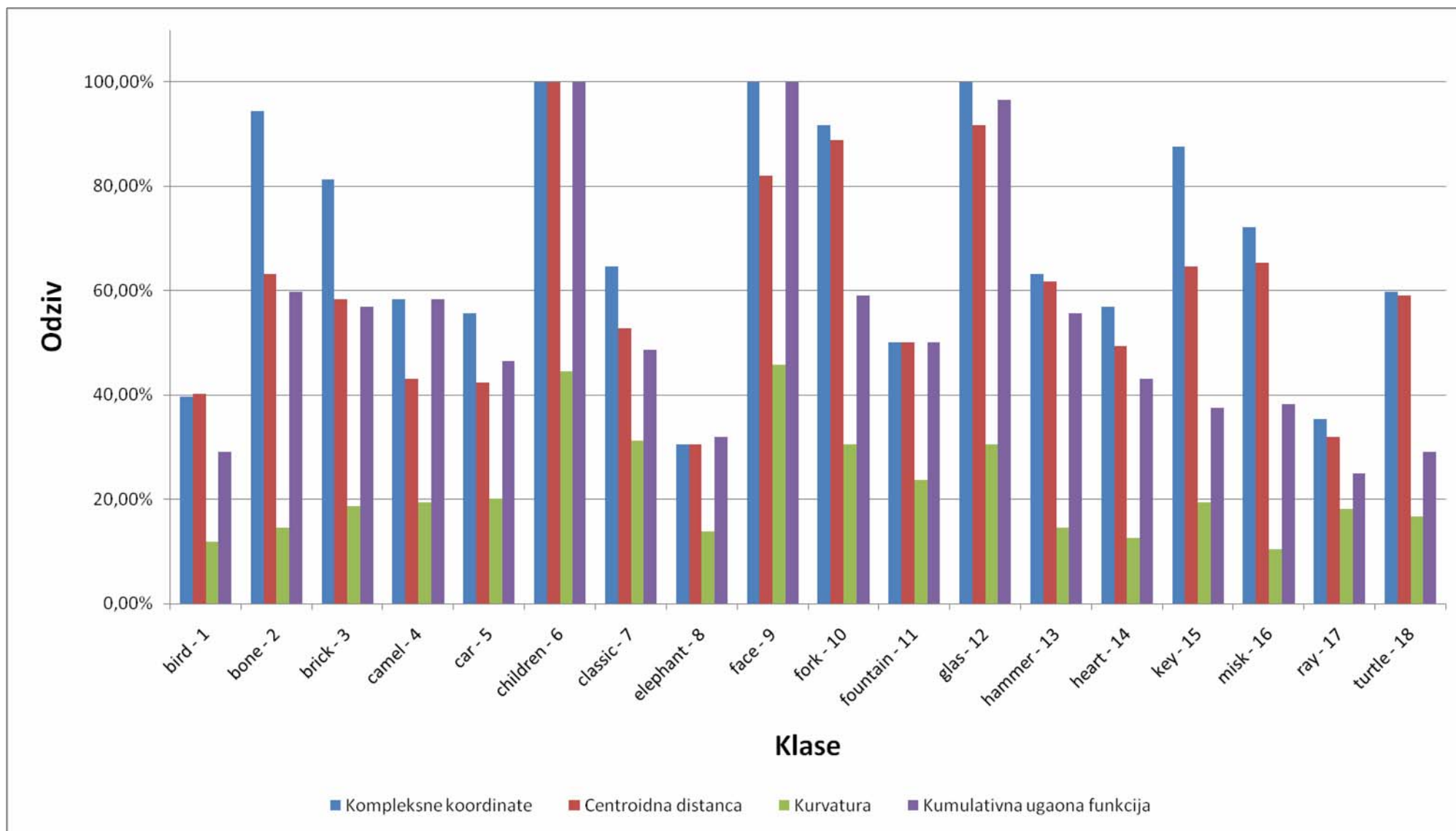
Tabela 5.20. Opseg Euklidovih distanci WD za različite signature

Opseg Euklidovih distanci			
Kompleksne koordinate	Centroidna distanca	Kurvatura	Kumulativna ugaona funkcija
61,53	88,30	70,71	75,54

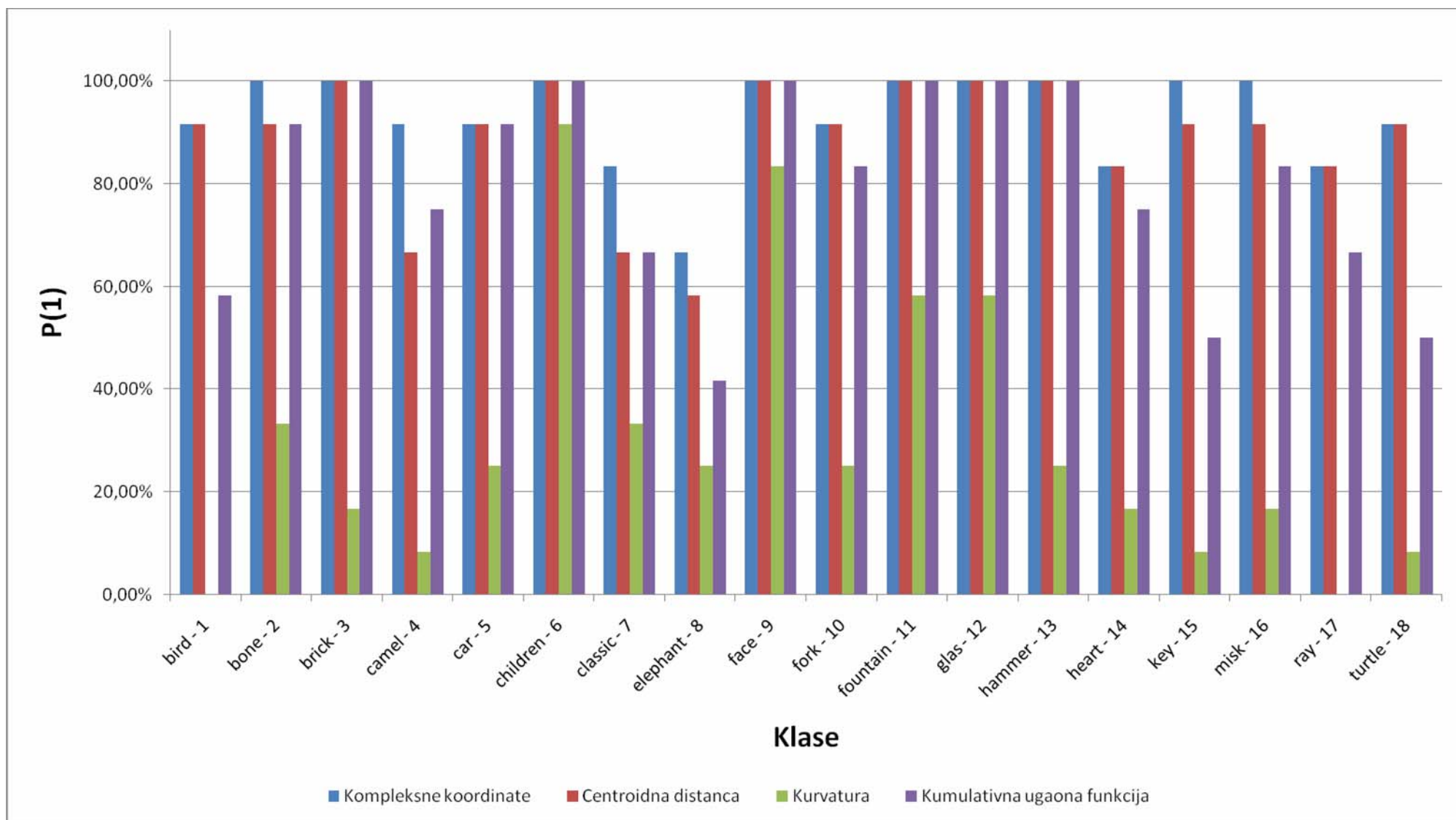


Slika 5.40. - Preciznost WD po klasama za različite signature

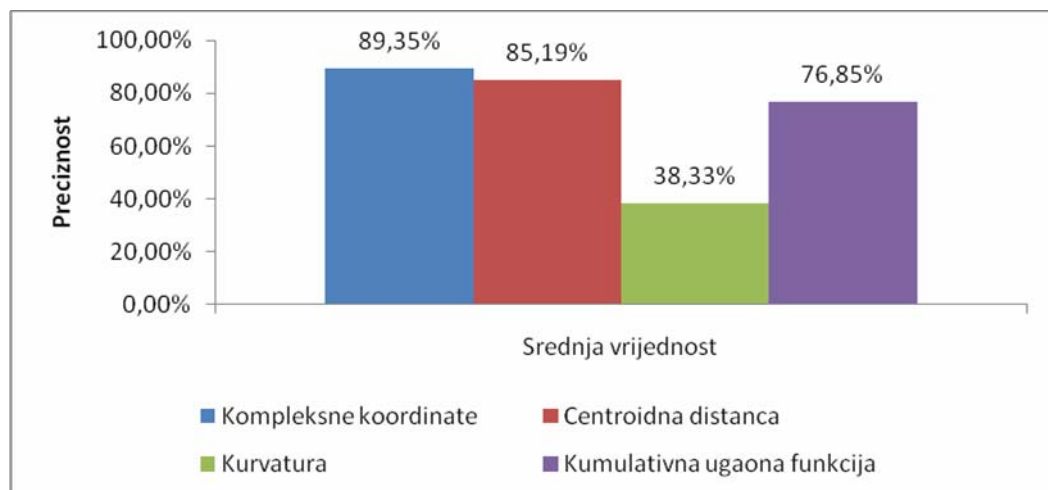




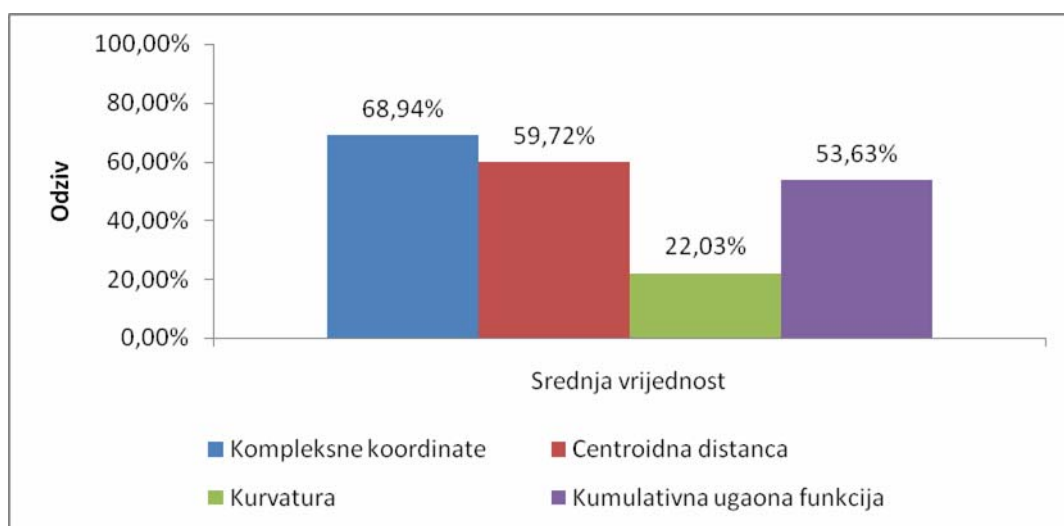
Slika 5.41. - Odziv WD po klasama za različite signature



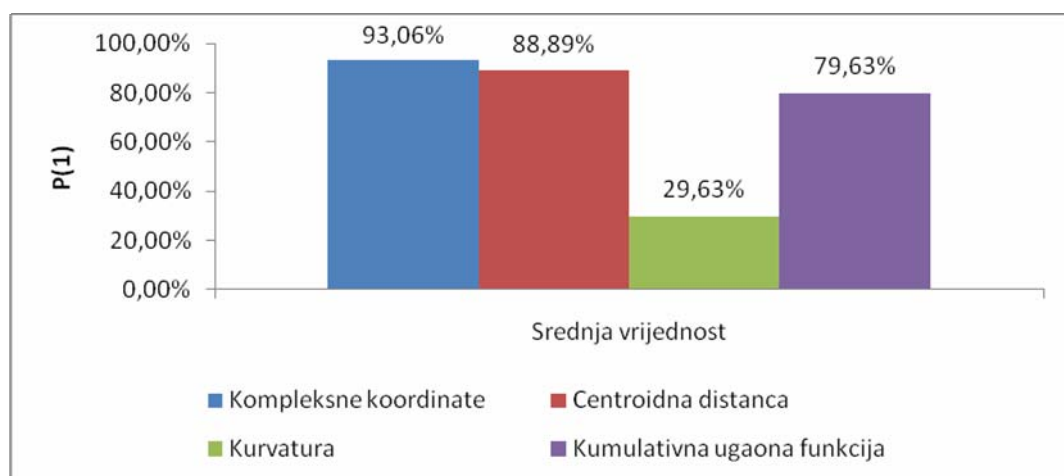
Slika 5.42. - Preciznost prvog pogotka WD po klasama za različite signature



Slika 5.43. - Srednja vrijednost preciznosti WD za različite signature



Slika 5.44. - Srednja vrijednost odziva WD za različite signature



Slika 5.45. - Srednja vrijednost preciznosti prvog pogotka WD za različite signature

#### 5.4.2. Promjena broja tačaka

Prilikom analize broja tačaka kao fiksni parametri uzeti su red dekompozicije 8 i kompleksne koordinate kao signatura. Analiza se odvija po sledećem algoritmu:

```
red_dekompozicije=6
signatura=kompleksne koordinate
% parametar br_tac=64,128,256,512
broj_tac=64
for parametar=1:4
    for klasa=1:18
        for objekat=1:12
            upit=deskriptor(broj_tac,klasa,objekat)
            for klasa2=1:18
                for objekat2=1:12
                    slikabaze=deskriptor(broj_tac,klasa2,objekat2)
                    Euklidova_distanca(upit,slikabaze)
                end
            end
            end
            end
            Preciznost(broj_tac,upit); Odziv (broj_tac,upit); P1(broj_tac,upit)
        end
        Sr_preciznost_klase(broj_tac,klasa),Sr_odziv_klase(broj_tac,klasa), Sr_P1(broj_tac,klasa)
    end
    end
    Sr_preciznost(broj_tac), Sr_odziv(broj_tac), Sr_P1(broj_tac)
br_tac=2*br_tac
end
```

Matlabov fajl za analizu je WDbrtacaka.m, koji rezultirajuću matricu distanci upisuje u Excelove fajlove WDtacke-klasaX.xls Formatirani rezultati nalaze se u Excelovom fajlu WDtacake.xls.

#### **Eksperimentalni rezultati**

U Tabela 5.21 dati su rezultati srednje vrijednosti preciznosti FD unutar klasa, a zatim su određene srednje vrijednosti za sve klase po svakom parametru. Tabela 5.22 prikazuje na isti način dobijene podatke o odzivu, dok su u Tabela 5.23 dati podaci za preciznost prvog pogotka.

Tabela 5.21. Preciznost WD po klasama za konture normalizovane na različit broj tačaka

PRECIZNOST				
klasa	64	128	256	512
1	75,00%	90,00%	81,67%	96,67%
2	93,33%	81,67%	100,00%	100,00%
3	98,33%	96,67%	98,33%	98,33%
4	81,67%	83,33%	83,33%	85,00%
5	93,33%	86,67%	86,67%	83,33%
6	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
7	76,67%	76,67%	81,67%	90,00%
8	63,33%	61,67%	63,33%	65,00%
9	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

<b>PRECIZNOST</b>				
<b>klasa</b>	<b>64</b>	<b>128</b>	<b>256</b>	<b>512</b>
<b>10</b>	96,67%	96,67%	95,00%	96,67%
<b>11</b>	90,00%	90,00%	100,00%	100,00%
<b>12</b>	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
<b>13</b>	71,67%	86,67%	93,33%	86,67%
<b>14</b>	78,33%	81,67%	80,00%	83,33%
<b>15</b>	98,33%	86,67%	96,67%	96,67%
<b>16</b>	80,00%	85,00%	93,33%	91,67%
<b>17</b>	56,67%	70,00%	71,67%	71,67%
<b>18</b>	61,67%	83,33%	83,33%	83,33%
<b>Srednja vr.</b>	<b>84,17%</b>	<b>86,48%</b>	<b>89,35%</b>	<b>90,46%</b>

Tabela 5.22. Odziv WD po klasama za konture normalizovane na različit broj tačaka

<b>ODZIV</b>				
<b>klasa</b>	<b>64</b>	<b>128</b>	<b>256</b>	<b>512</b>
<b>1</b>	48,61%	39,58%	39,58%	47,92%
<b>2</b>	55,56%	47,22%	94,44%	93,75%
<b>3</b>	48,61%	69,44%	81,25%	86,11%
<b>4</b>	46,53%	54,17%	58,33%	56,94%
<b>5</b>	84,72%	59,03%	55,56%	45,83%
<b>6</b>	100,00%	97,22%	100,00%	100,00%
<b>7</b>	41,67%	47,22%	64,58%	69,44%
<b>8</b>	32,64%	30,56%	30,56%	37,50%
<b>9</b>	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
<b>10</b>	93,75%	95,14%	91,67%	93,75%
<b>11</b>	72,22%	62,50%	50,00%	51,39%
<b>12</b>	100,00%	100,00%	100,00%	95,14%
<b>13</b>	37,50%	57,64%	63,19%	58,33%
<b>14</b>	47,92%	57,64%	56,94%	60,42%
<b>15</b>	88,89%	57,64%	87,50%	75,00%
<b>16</b>	59,03%	70,83%	72,22%	70,83%
<b>17</b>	28,47%	33,33%	35,42%	35,42%
<b>18</b>	29,17%	60,42%	59,72%	59,72%
<b>Srednja vr.</b>	<b>61,96%</b>	<b>63,31%</b>	<b>68,94%</b>	<b>68,75%</b>

Tabela 5.23. Preciznost prvog pogotka WD po klasama za konture normalizovane na različit broj tačaka

<b>P(1)</b>				
<b>klasa</b>	<b>64</b>	<b>128</b>	<b>256</b>	<b>512</b>
1	66,67%	91,67%	91,67%	91,67%
2	100,00%	91,67%	100,00%	100,00%
3	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
4	91,67%	91,67%	91,67%	75,00%
5	91,67%	100,00%	91,67%	91,67%
6	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
7	83,33%	83,33%	83,33%	91,67%
8	66,67%	66,67%	66,67%	75,00%
9	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
10	100,00%	91,67%	91,67%	91,67%
11	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
12	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
13	100,00%	100,00%	100,00%	91,67%
14	91,67%	75,00%	83,33%	83,33%
15	100,00%	91,67%	100,00%	100,00%
16	75,00%	75,00%	100,00%	100,00%
17	83,33%	83,33%	83,33%	83,33%
18	50,00%	91,67%	91,67%	83,33%
<b>Srednja vr.</b>	<b>88,89%</b>	<b>90,74%</b>	<b>93,06%</b>	<b>92,13%</b>

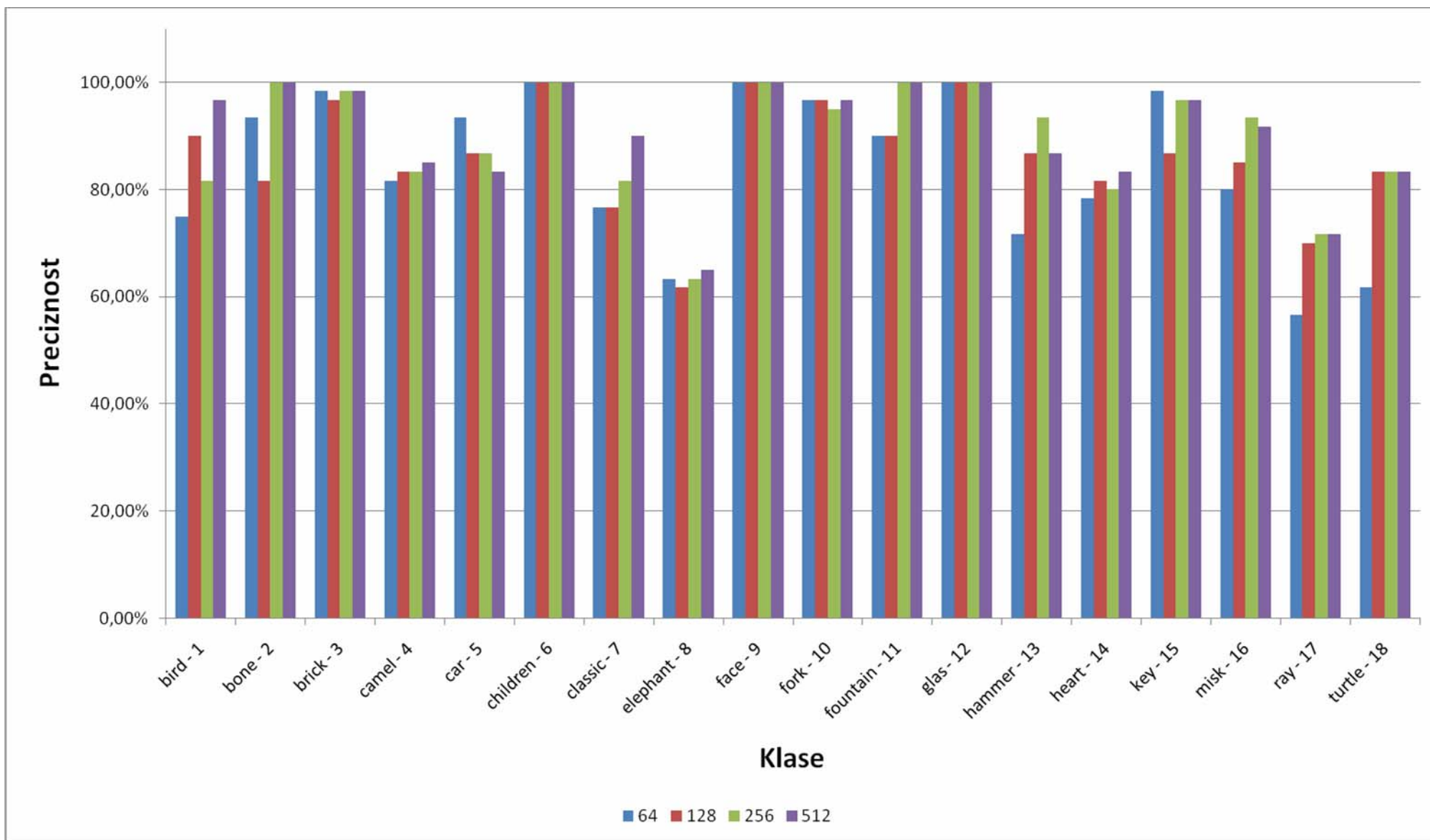
U Tabela 5.24 data je srednja vrijednost rednog broja prve pronađene relevantne slike za svaki parameter za sve klase u bazi, dok su u Tabela 5.25 date su maksimalne vrijednosti Euklidovih distanci za svaki parameter

Tabela 5.24. Srednja vrijednost rednog broja prve pronađene relevantne slike

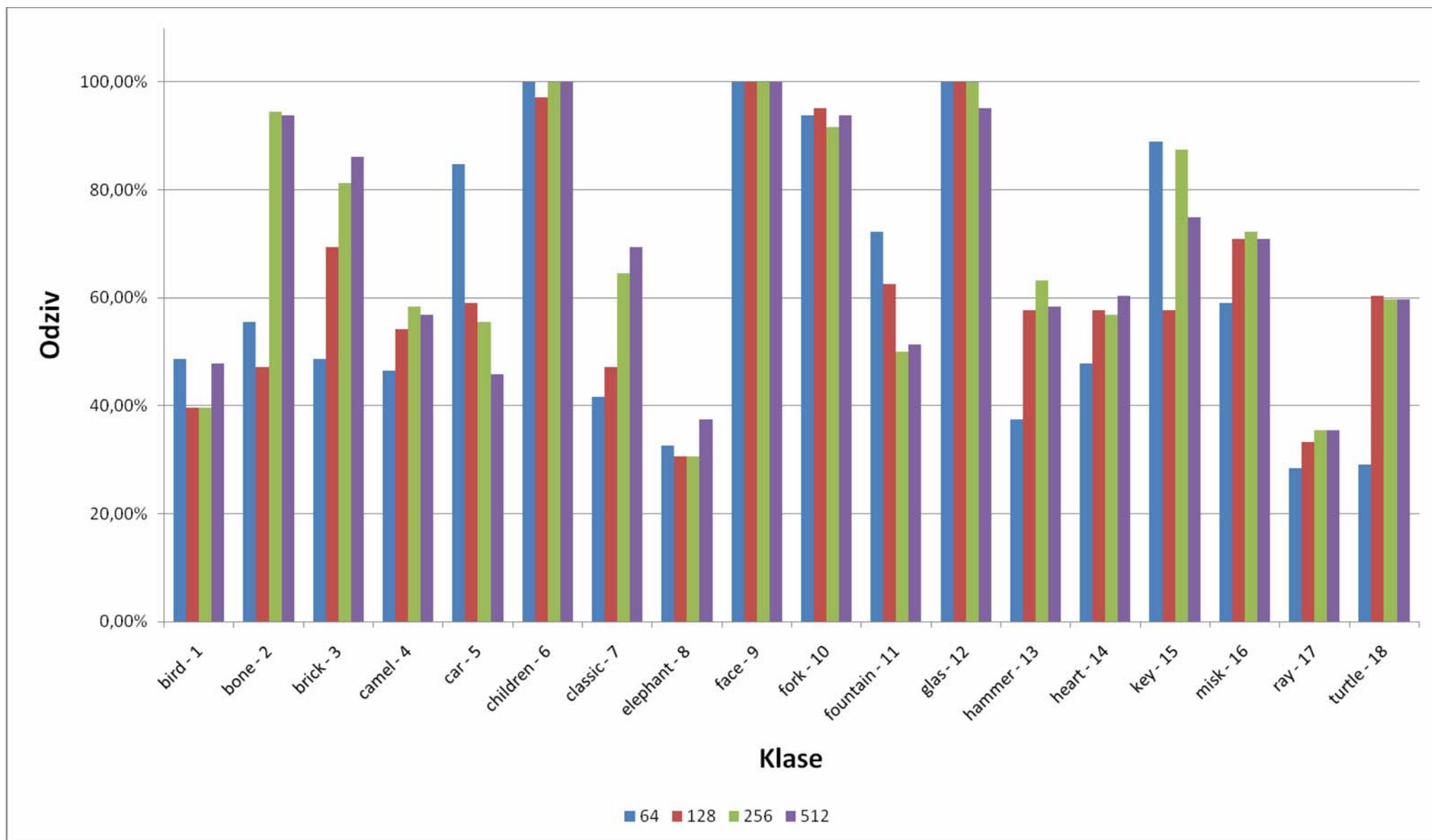
<b>Srednja vrijednost rednog broja prve pronađenije relevantne slike</b>			
<b>64</b>	<b>128</b>	<b>256</b>	<b>512</b>
5,16	2,91	1,95	1,79

Tabela 5.25. Opseg Euklidovih distanci WD za konture normalizovane na različit broj tačaka

<b>Opseg Euklidovih distanci</b>			
<b>64</b>	<b>128</b>	<b>256</b>	<b>512</b>
35,78	44,21	61,53	108,64

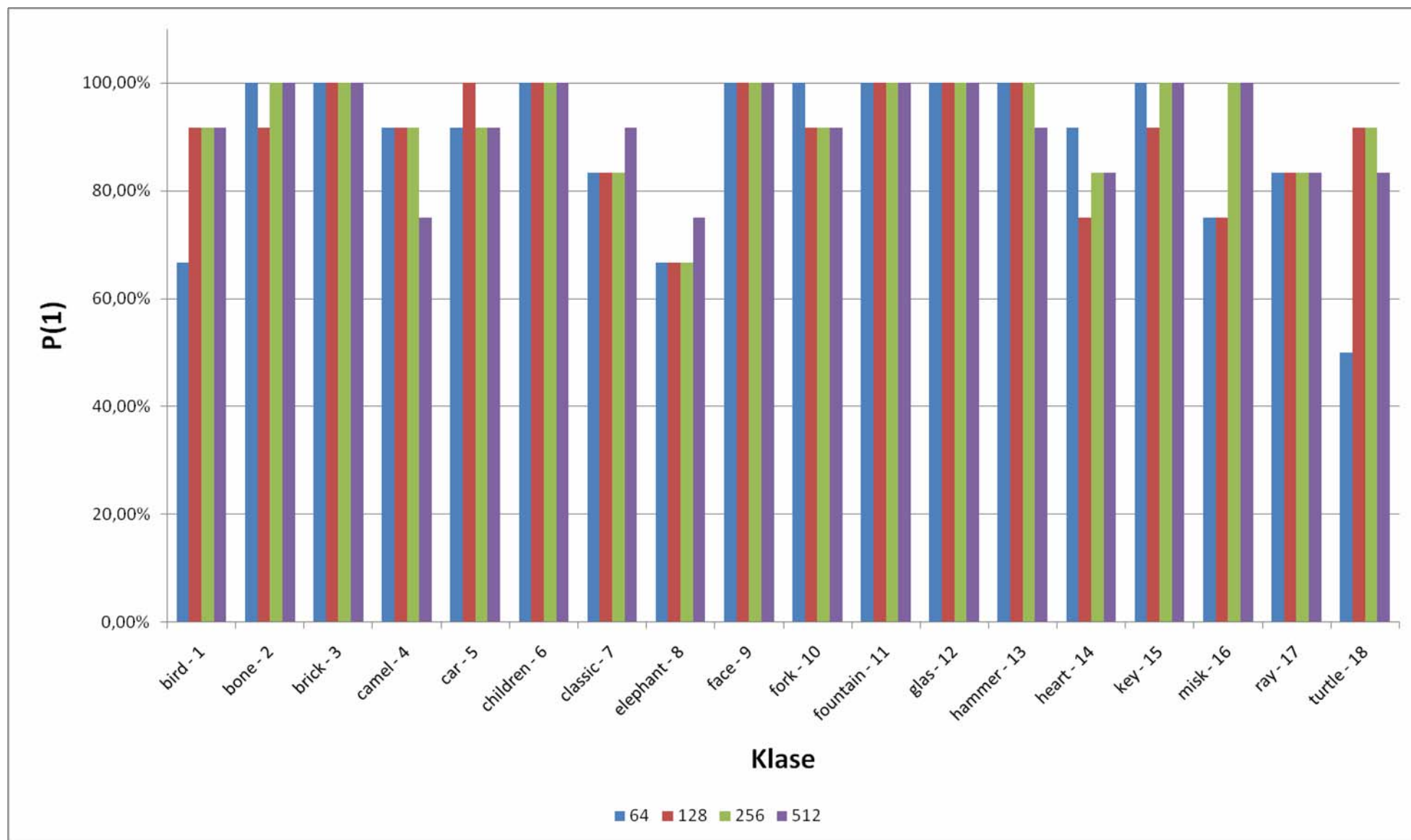


Slika 5.46. - Preciznost WD po klasama za konture normalizovane na različit broj tačaka

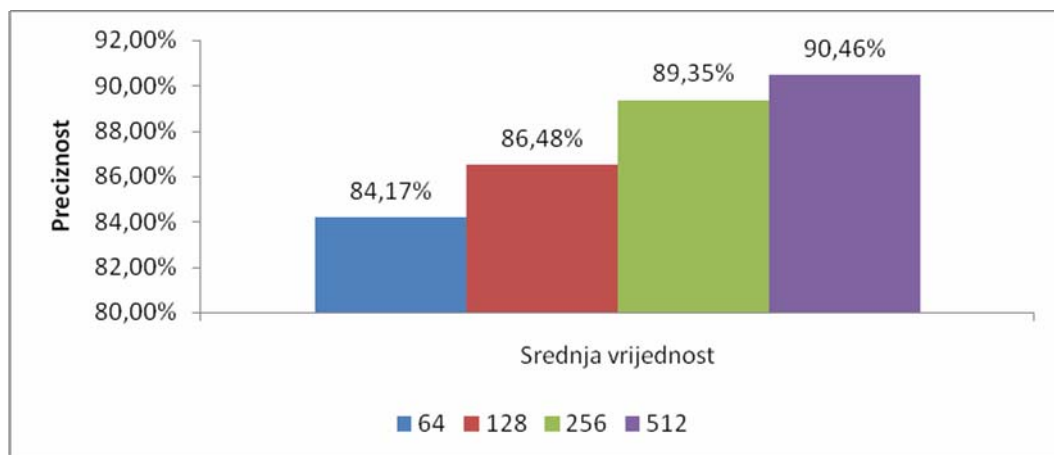


Slika 5.47. - Odziv WD po klasama za konture normalizovane na različit broj tačaka

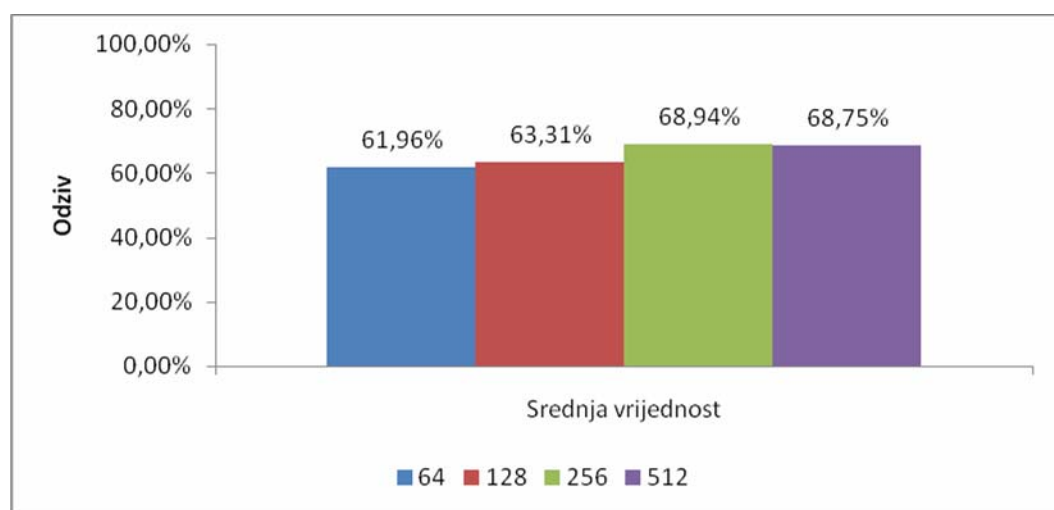




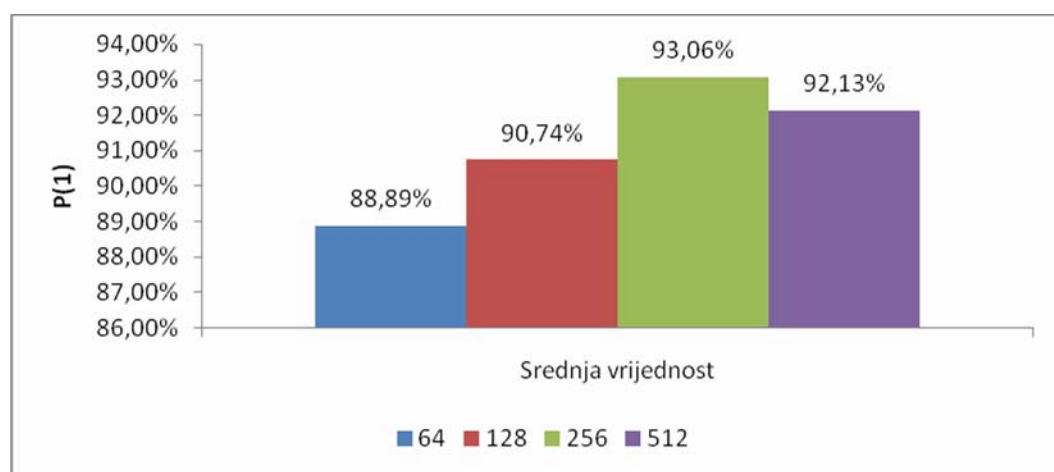
Slika 5.48. - Preciznost prvog pogotka WD po klasama za konture normalizovane na različit broj tačaka



Slika 5.49. - Srednja vrijednost preciznost WD za konture normalizovane na različit broj tačaka



Slika 5.50. - Srednja vrijednost odziva WD za konture normalizovane na različit broj tačaka



Slika 5.51. - Srednja vrijednost preciznosti prvog pogotka WD za konture normalizovane na različit broj tačaka

### 5.4.3. Promjena reda dekompozicije

Prilikom analize broja deskriptora kao fiksni parametri uzeti su broj tačaka 256 i kompleksne koordinate kao signatura. Analiza se odvija po sledećem algoritmu:

```

broj_tacaka=256
signatura=kompleksne koordinate
% parametar red_d=4,6,8,10
red_dek=4
for parametar=1:4
    for klasa=1:18
        for objekat=1:12
            upit=deskriptor(red_dek,klasa,objekat)
            for klasa2=1:18
                for objekat2=1:12
                    slikabaze=deskriptor(red_dek,klasa2,objekat2)
                    Euklidova_distanca(upit,slikabaze)
                end
            end
            end
            Preciznost(red_dek,upit); Odziv (red_dek,upit); P1(red_dek,upit)
        end
        Sr_preciznost_klase(red_dek,klasa),Sr_odziv_klase(red_dek,klasa), Sr_P1(red_dek,klasa)
    end
end
Sr_preciznost(red_dek), Sr_odziv(red_dek), Sr_P1(red_dek)
red_dek=red_dek+2
end

```

MatLAB-ov fajl za analizu je WDred.m, koji rezultirajuću matricu distanci upisuje u Excelove fajlov WDredi-klasaX.xls.Formatirani rezultati su u Excelovom fajlu WDred.xls.

### Ekperimentalni rezultati

U Tabela 5.26 dati su rezultati srednje vrijednosti preciznosti FD unutar klasa, a zatim su određene srednje vrijednosti za sve klase po svakom parametru. Tabela 5.27 prikazuje na isti način dobijene podatke o odzivu, dok su u Tabela 5.28 dati podaci za preciznost prvog podudaranja.

Tabela 5.26. Preciznost WD po klasama za različit red dekompozicije

PRECIZNOST				
klasa	4	6	8	10
1	88,33%	81,67%	86,67%	86,67%
2	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
3	100,00%	98,33%	88,33%	88,33%
4	80,00%	83,33%	88,33%	88,33%
5	83,33%	86,67%	83,33%	83,33%
6	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
7	81,67%	81,67%	76,67%	76,67%
8	63,33%	63,33%	61,67%	61,67%
9	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

<b>PRECIZNOST</b>				
<b>klasa</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>10</b>
<b>10</b>	95,00%	95,00%	96,67%	96,67%
<b>11</b>	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
<b>12</b>	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
<b>13</b>	93,33%	93,33%	70,00%	70,00%
<b>14</b>	85,00%	80,00%	81,67%	81,67%
<b>15</b>	96,67%	96,67%	95,00%	95,00%
<b>16</b>	88,33%	93,33%	86,67%	86,67%
<b>17</b>	71,67%	71,67%	61,67%	61,67%
<b>18</b>	83,33%	83,33%	56,67%	56,67%
<b>Srednja vr.</b>	<b>89,44%</b>	<b>89,35%</b>	<b>85,19%</b>	<b>85,19%</b>

Tabela 5.27. Odziv WD po klasama za različit red dekompozicije

<b>ODZIV</b>				
<b>klasa</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>10</b>
<b>1</b>	41,67%	39,58%	36,11%	36,11%
<b>2</b>	91,67%	94,44%	50,00%	50,00%
<b>3</b>	83,33%	81,25%	54,86%	54,86%
<b>4</b>	53,47%	58,33%	61,81%	61,81%
<b>5</b>	46,53%	55,56%	45,14%	45,14%
<b>6</b>	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
<b>7</b>	57,64%	64,58%	52,78%	52,78%
<b>8</b>	32,64%	30,56%	32,64%	32,64%
<b>9</b>	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
<b>10</b>	93,75%	91,67%	94,44%	94,44%
<b>11</b>	50,00%	50,00%	50,00%	50,00%
<b>12</b>	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
<b>13</b>	63,89%	63,19%	35,42%	35,42%
<b>14</b>	59,72%	56,94%	61,81%	61,81%
<b>15</b>	77,78%	87,50%	83,33%	83,33%
<b>16</b>	68,75%	72,22%	62,50%	62,50%
<b>17</b>	34,72%	35,42%	33,33%	33,33%
<b>18</b>	58,33%	59,72%	28,47%	28,47%
<b>Srednja vr.</b>	<b>67,44%</b>	<b>68,94%</b>	<b>60,15%</b>	<b>60,15%</b>

Tabela 5.28. Preciznost prvog pogotka WD po klasama za različit red dekompozicije

<b>P(1)</b>				
<b>klasa</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>10</b>
1	91,67%	91,67%	83,33%	83,33%
2	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
3	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
4	83,33%	91,67%	100,00%	100,00%
5	91,67%	91,67%	91,67%	91,67%
6	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
7	83,33%	83,33%	66,67%	66,67%
8	75,00%	66,67%	75,00%	75,00%
9	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
10	91,67%	91,67%	100,00%	100,00%
11	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
12	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
13	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
14	83,33%	83,33%	75,00%	75,00%
15	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
16	100,00%	100,00%	91,67%	91,67%
17	83,33%	83,33%	83,33%	83,33%
18	83,33%	91,67%	50,00%	50,00%
<b>Srednja vr.</b>	<b>92,59%</b>	<b>93,06%</b>	<b>89,81%</b>	<b>89,81%</b>

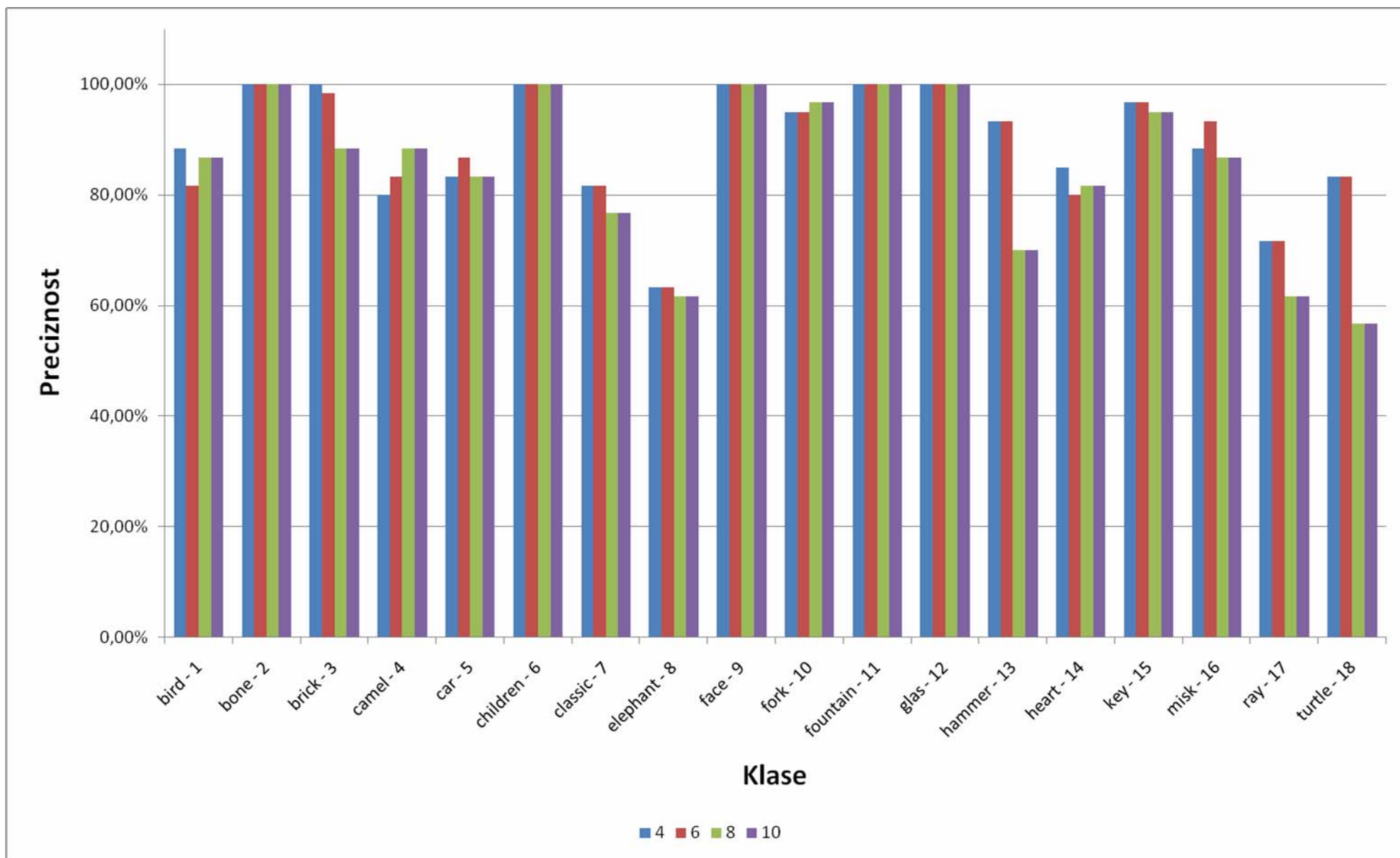
U Tabela 5.29 data je srednja vrijednost rednog broja prve pronađene relevantne slike za svaki parameter za sve klase u bazi, dok su u Tabela 5.30 date su maksimalne vrijednosti Euklidovih distanci za svaki parameter

Tabela 5.29. Srednja vrijednost rednog broja prve pronađene relevantne slike

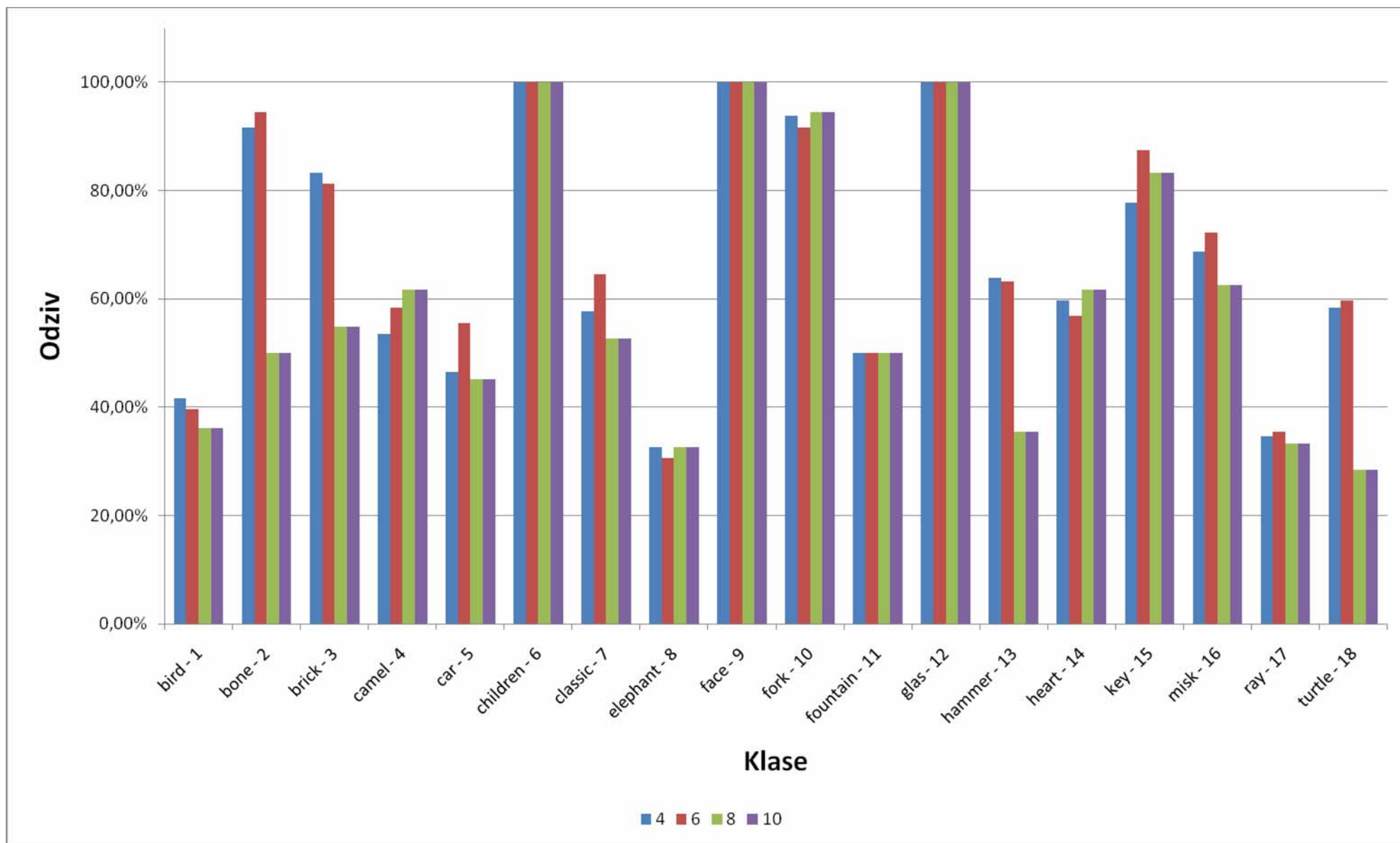
<b>Srednja vrijednost rednog broja prve pronađenije relevantne slike</b>			
<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>10</b>
1,86	1,95	3,94	3,94

Tabela 5.30. Opseg Euklidovih distanci WD za različit red dekompozicije

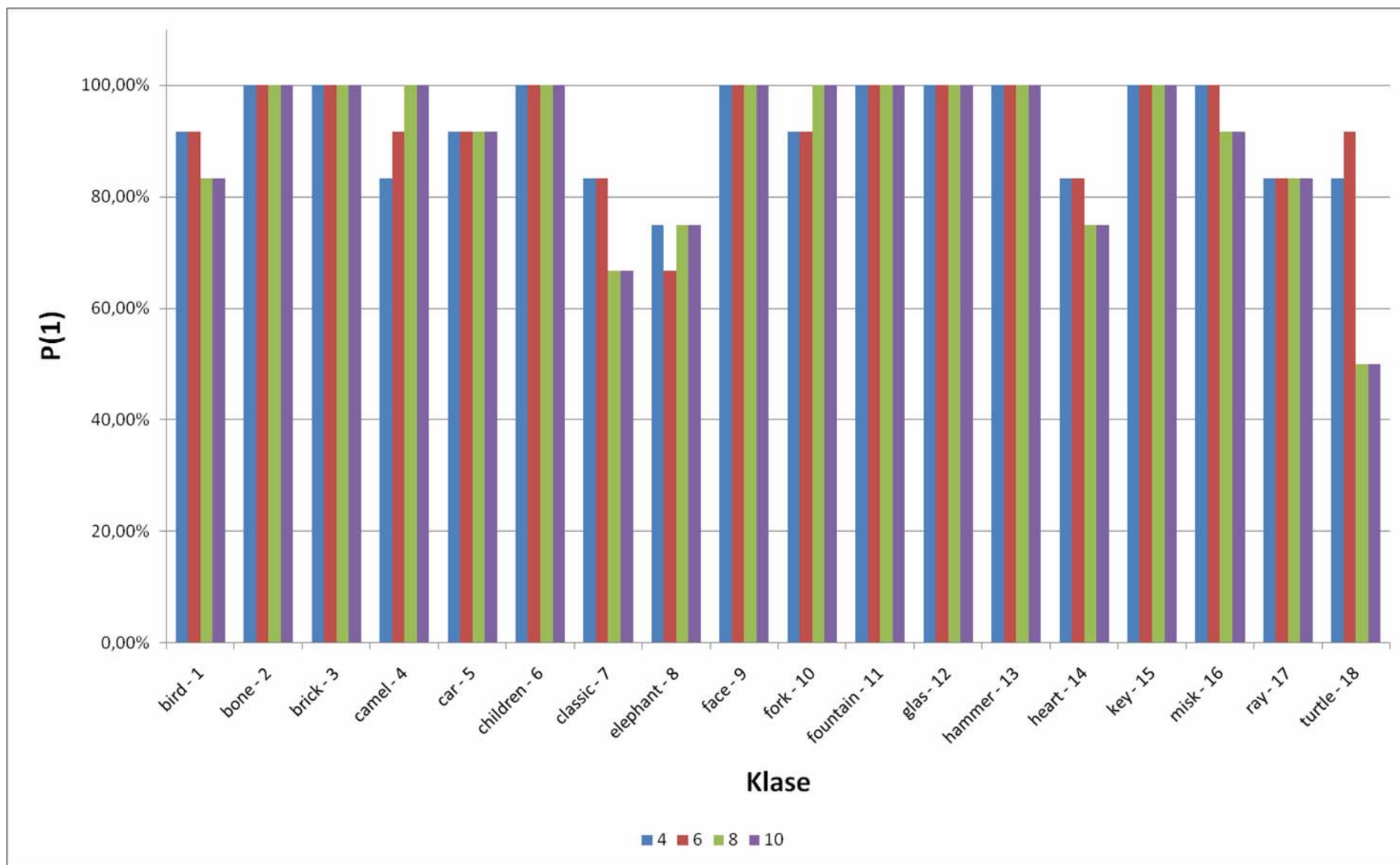
<b>Opseg Euklidovih distanci</b>			
<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>10</b>
54,72	61,53	128,60	129,60



Slika 5.52. - Preciznost WD po klasama za različit red dekompozicije

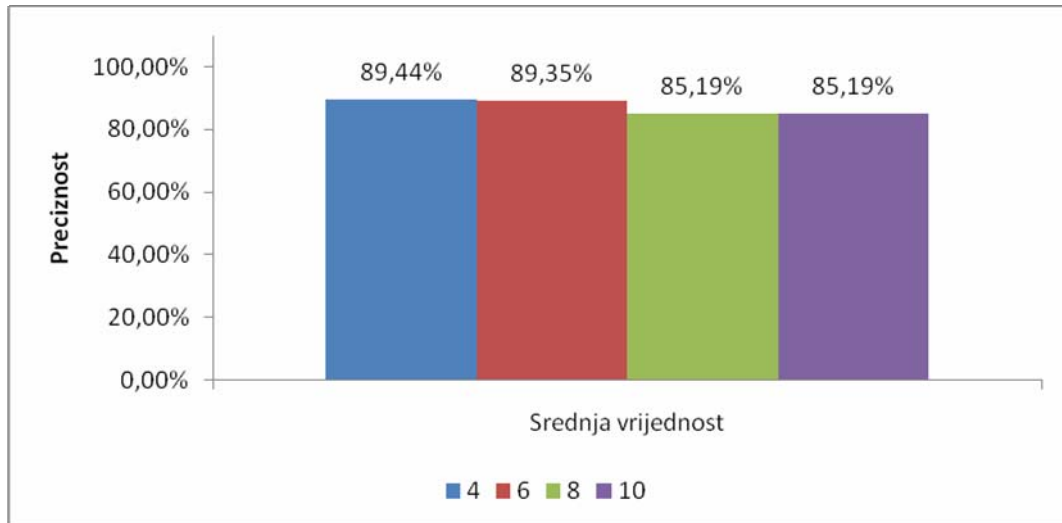


Slika 5.53. - Odziv WD po klasama za različit red dekompozicije

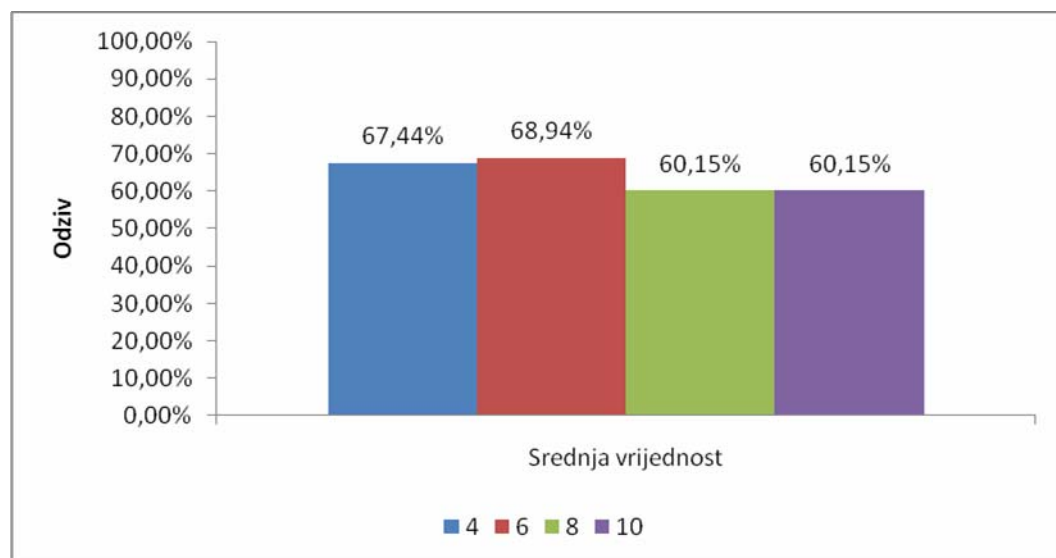


Slika 5.54. - Preciznost prvog pogotka WD po klasama za različit red dekompozicije

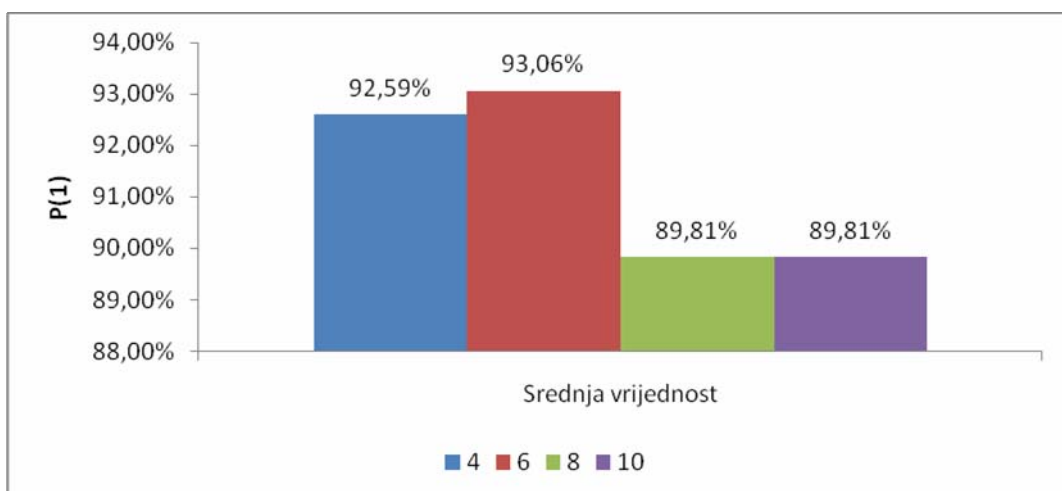




Slika 5.55. - Srednja vrijednost preciznosti WD za različit red dekompozicije



Slika 5.56. - Srednja vrijednost odziva WD za različit red dekompozicije



Slika 5.57. - Srednja vrijednost preciznosti prvog pogotka WD za različit red dekompozicije

#### 5.4.4. Zaključak

Za analizu WD definisacemo četiri kategorije prema efikasnost deskripcije.

**I kategorija:** children (6), face (9), fork(10), glas (12), brick (3)

Klase imaju dobre rezultate (80-100%) za usvojene kriterije sličnosti jer konture slika ne sadrže mnogo značajnih VF komponenti

**II kategorija:** bone (2), hammer (13), key (15), misk (16)

Greške deskriptora - nagle promjene konture imaju preveliku težinu u odnosu na objekat.

**III kategorija:** car (5), classic (7), heart (14), turtle (18), rey (17)

Vizuelna sličnost: greške nastaju miješanjem vizuelno sličnih kategorija

**IV kategorija:** fountain (11), elephant (8), bird (1), rey (17), car (5), turtle (3), classic (7)

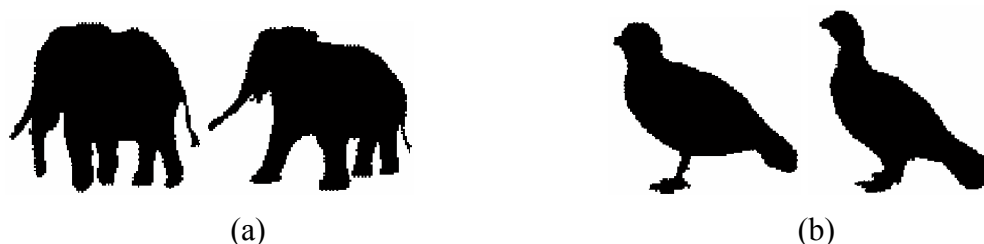
Greške rotacije: greške nastaju zbog pogrešnog izbora početne tačke

Posebno treba naglasiti greške usljed pogrešnog izbora početne tačke. Naime, normalizacija WD za rotaciju podrazumijeva fiksnu početnu tačku. Zbog toga izbor početne tačke predstavlja poseban problem. U ovom radu za fiksiranje tačke izabran je metod maksimalnog radijusa od centroide. Procenat greške početne tačke za ovu metodu iznosi 8%. Još jedan od načina rješavanja ovog problema je Fourierova transformacija WD. Na taj način invarijantnost postizemo uklanjanjem faze.

#### Promjena signatura

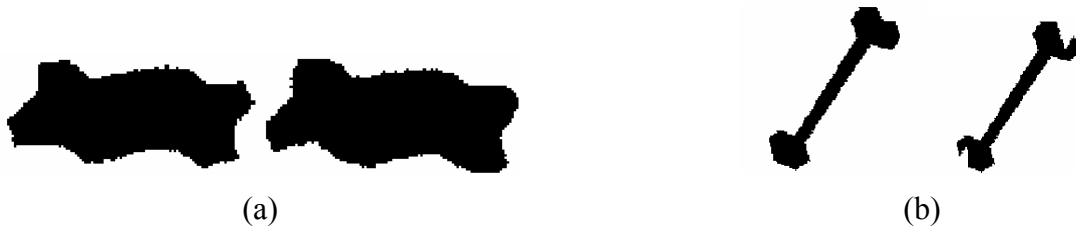
Rezultati pokazuju da su kompleksne koordinate najbolja signatura. Zatim slijedi centroidna distanca (odziv manji za 9,22%), kumulativna ugaona funkcija (odziv manji za 15,31%), i jako loše rezultate daje kurvatura (odziv manji za 46,91%).

Bolje rezultate centroidna distanca daje u klasama bird(1), elephant(8) i fountain(11), zbog manje osjetljivosti na početnu tačku tj. na rotaciju. Osim toga, na Slika 5.58(b) vidimo da centroidna distanca manje naglašava debljinu objekta.



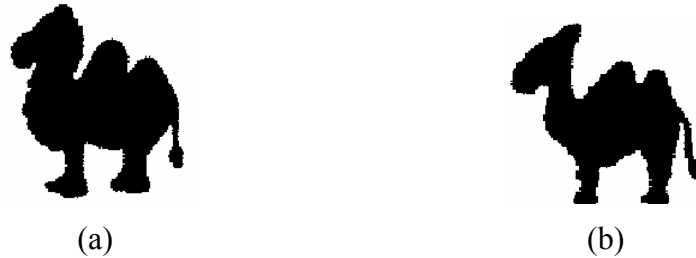
Slika 5.58. (a) upit i 73. pogodak za kompleksne koordinate i 2. za centroidnu distancu; (b) upit i 61. pogodak za kompleksne koordinate i 2. za centroidnu distancu

Značajno lošije rezultate centroidna distanca dala je za klase bone(2), brick (3), face(9) i key (15). Pošto ona opisuje udaljenost ruba od centroide, a ta promjena je mala za ravnomjerne konture. Postojanje naglih promjena konture dodaće VF komponente u deskriptore. Pošto se poređenje vrši pomoću Euklidove distance, sve komponente imaju jednaku težinu, pa će VF komponente koje unose vizuelno male promjene, napraviti znatnu razliku između deskriptora.



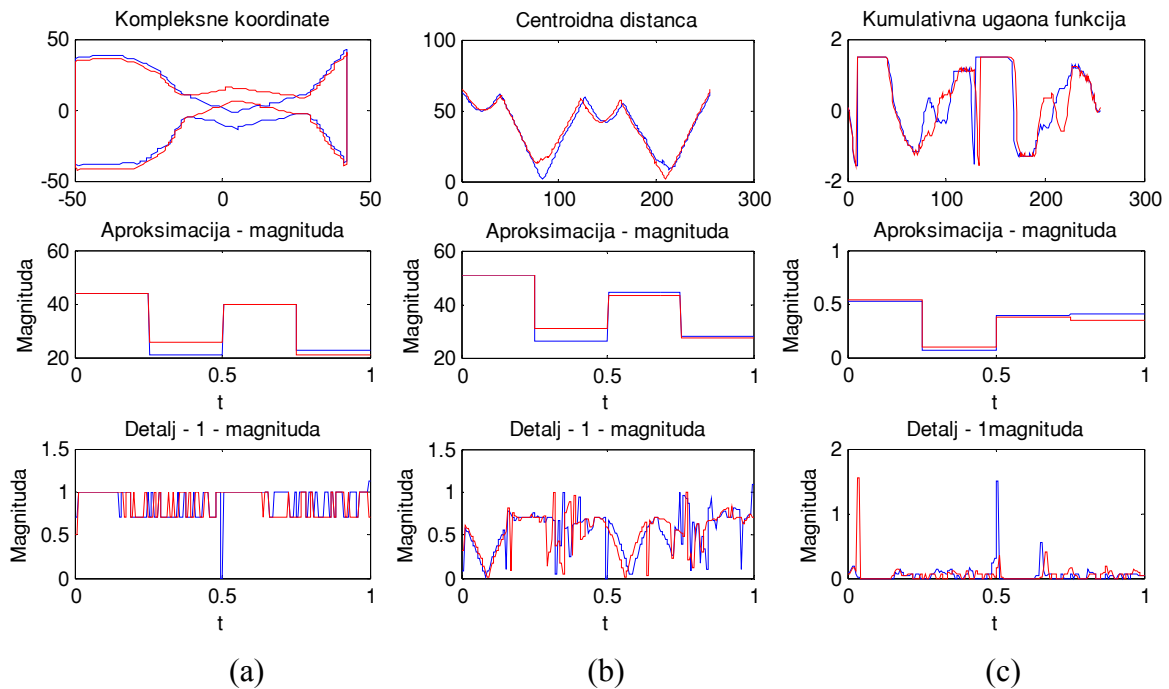
Slika 5.59. (a) upit i 3. pogodak za kompleksne koordinate i 25. pogodak za centroidnu distancu; (b) upit i 5. pogodak za kompleksne koordinate i 38. za centroidnu distancu

Kumulativna ugaona funkcija dala je najbolje rezultate u klasama camel (4), car (5), elephant (8) i glas (12). Razlog tome vidimo na Slika 5.60. Kompleksne koordinate previše su istakle deblji i savijeniji vrat kao i rep. S druge strane kumulativna ugaona funkcija koja se generiše na osnovu promjene ugla tangente, ne ističe nagib repa odnosno vrata, već samo opisuje njegovo postojanje.



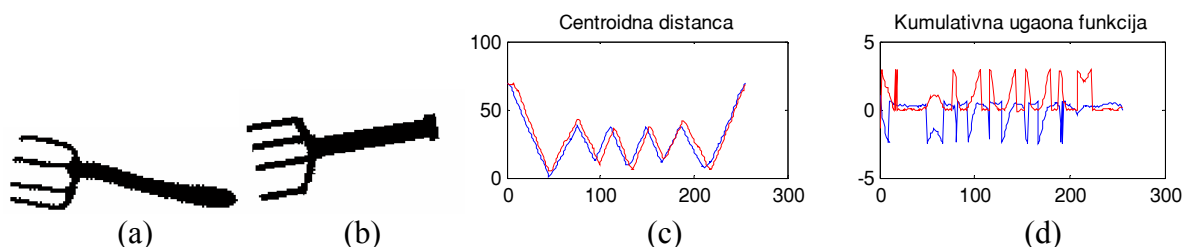
Slika 5.60. (a) model; (b) 72. podudaranje za kompleksne koordinate, 140. za centroidnu distancu i 7. podudaranje za kumulativnu ugaonu funkciju

Slične rezultate vidimo i na Slika 5.61. Savijeno postolje čaše najmanje je istakla kumulativna ugaona funkcija



Slika 5.61. - Uticaj VF komponenti na WD za (a) kompleksne koordinate; (b) centroidnu distancu; (c) kumulativnu ugaonu funkciju

Lošije rezultate dobijamo u klasama fork(10), key(12), misk (16) i turtle (18). Razlog tome vidimo na Slika 5.62. Naime, kumulativna ugaona funkcija ima velike promjene na oštrim ivicama, pa su ti detalji previše naglašeni i unose značajne razlike.



Slika 5.62. - Uticaj oštih ivica (a) upit; (b) 11. pogodak za kompleksne koordinate, 5. pogodak za centroidnu distancu i 144. pogodak za kumulativnu ugaonu funkciju; (c) centroidna distanca upita i objekta; (d) kumulativna ugaona funkcija modela i objekta

Opseg Euklidovih distanci se ne mijenja znatno, dok srednja vrijednost rednog broja prvog pogotka je takođe najbolja kod kompleksnih koordinata.

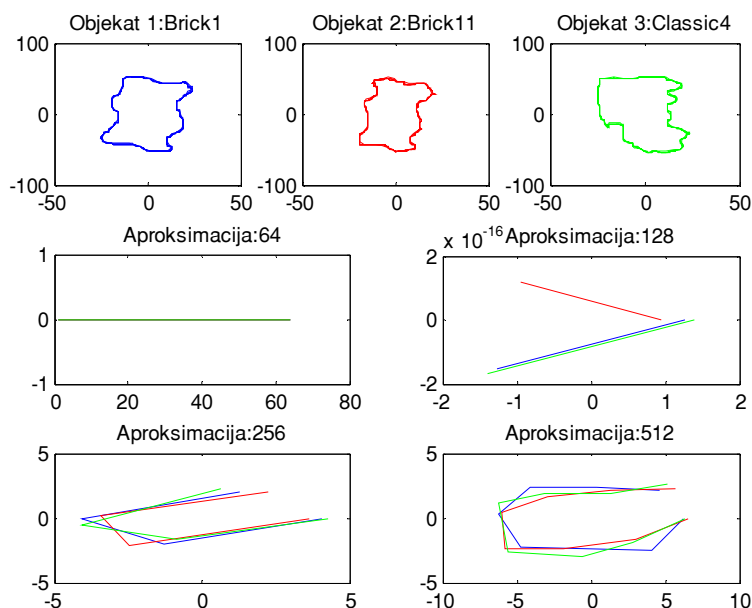
### Promjena broja tačaka

Posmatrajući dobijene rezultate vidljivo je da povećanje broja tačaka od 64 do 256 poboljšava deskripciju, dok za 512 tačaka rezultati su nešto lošiji (odziv ima pad od 0,19%). To je posljedica činjenice da veliki broj tačaka znači da konture imaju veliki broj detalja. Imajući u vidu sam postupak WT, koji daje jednaku težinu svim VF komponentama, loši rezultati su očekivani. Osim toga, promjena broja tačaka mijenja i broj tačaka u pojedinim nivoima dekompozicije. Poseban uticaj ima povećanje broja tačaka aproksimacije. Koeficijenti aproksimacije su koeficijenti najveće magnitude, pa zbog toga razlike između aproksimacija nose najveću težinu.

Tabela 5.31. Broj tačaka po koeficijentima dekompozicije

br. tačaka	a(6)	d(6)	d(5)	d(4)	d(3)	d(2)	d(1)
64	1	1	2	4	8	16	32
128	2	2	4	8	16	32	64
256	4	4	8	16	32	64	128
512	8	8	16	32	64	128	256

Uticaj povećanja broja tačaka aproksimacije je vidljiv u klasama bone (2), brick (3) i classic (7). Naime, ovdje dolazi do mješanja klasa koje su vizuelno slične. Treba uočiti da vizuelna sličnost znači i sličnost aproksimacije. Za upit Brick1, model Brick11 nalazi se na 215. podudaranju za 64 tačke, 41. podudaranju za 128 tačaka, 32. podudaranju za 256 tačaka i 18. podudaranju za 512 tačaka. Znači sa povećanjem broja tačaka model se približava svojoj klasi. S druge strane, model Classic4 nalazi se na 28. podudaranju za 64 tačke, 8. za 128 tačaka, 10. podudaranju za 256 tačaka i 15. podudaranju za 512 tačaka. Što znači da sa povećanjem brojem tačaka objekat se udaljava jer se naglašava razlika u aproksimacijama.



Slika 5.63. - Uticaj povećanja broja tačaka u koeficijentima aproksimacije

Posebnu grupu čine klase car (5) i fountain (11). Povećanje broja tačaka naglasilo je problem izbora početne tačke, tj. uticaj rotacije, zbog čega su se pojedini objekti značajno udaljili od klase kojoj pripadaju.

Srednja vrijednost rednog broja prve ponadene relevantne slike ima slične rezultate, porast sa porastom broja tačaka, ali za 512 mnogo manji (+0,1 u odnosu na 256).

Opseg Euklidovih distanci se povećava sa brojem tačaka, kao što se moglo očekivati. Ali porast je znatno veći pri povećanju na 512 tačaka (+47,13 u odnosu na 256) u odnosu na povećanje koje nastaje prilikom promjene sa 128 na 256 tačaka (+17,32).

Iz svega navedenog možemo zaključiti da je optimalan broj 256 tačaka. Naravno na dobijene rezultate utiče i činjenica da je prosječan broj tačaka konture 458,51, pa možemo zaključiti da je za datu bazu dovoljna polovina prosječnog broja tačaka.

### **Promjena reda wavelet transformacije**

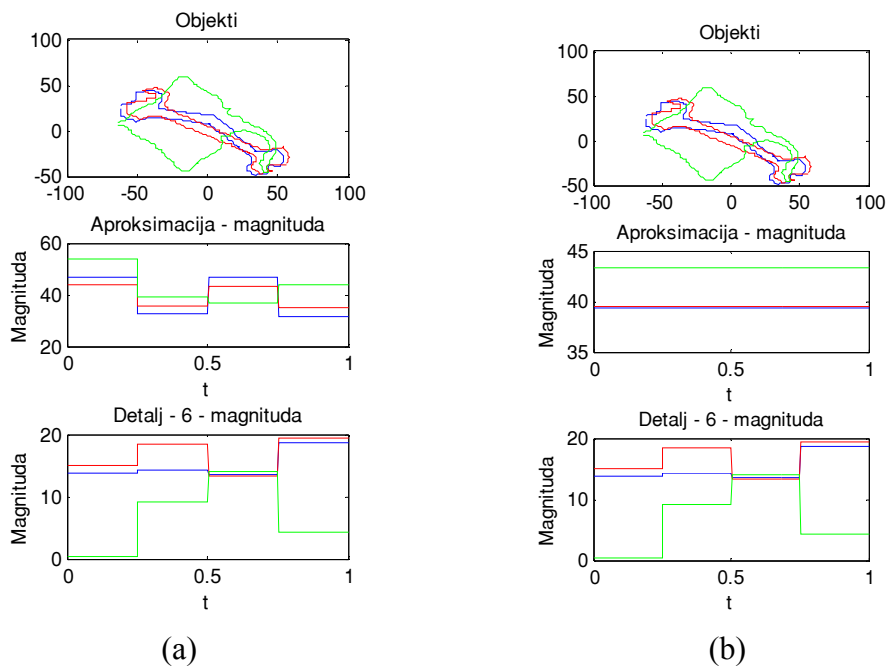
Promjena reda WT direktno je vezana za broj tačaka. U Tabela 5.32 dat je broj tačaka koeficijenata WT po redovima.

Pošto su rezultati dobijeni na osnovu konture od 256 tačaka, WT osmog reda će izvršiti potupunu dekompoziciju, tj. koeficijent aproksimacije imaće jednu tačku kao i poslednji koeficijent detalja. Povećanje reda će nepotrebno dijeliti tj. ponavljati poslednji detalj i time mu davati veću težinu. Manjim redom dekompozicije, koeficijent aproksimacije imaće veći broj tačaka pa će se veća težina davati NF komponentama (Tabela 5.32).

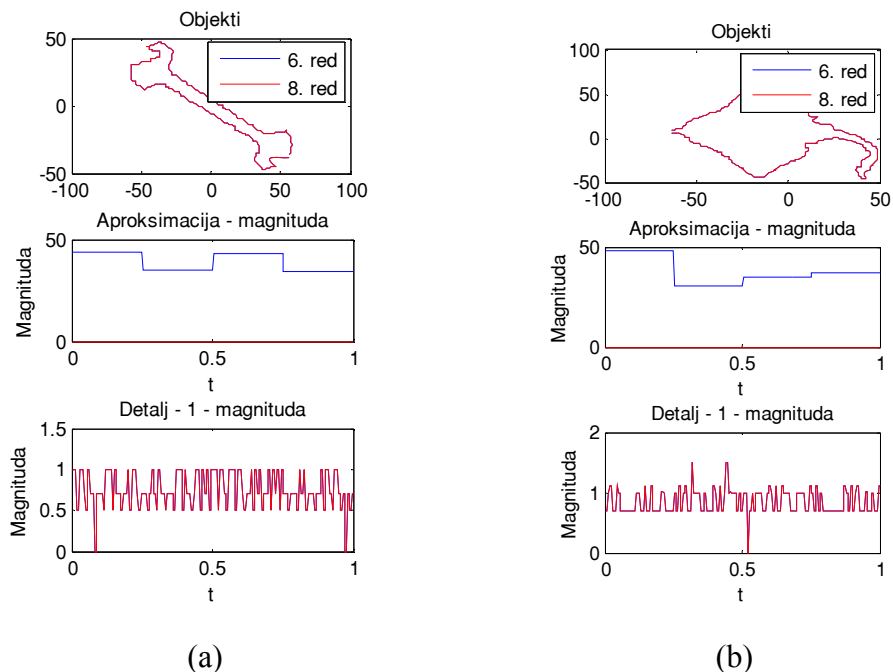
Tabela 5.32. Broj tačaka po koeficijentima za različit red WT

red	a	d(10)	d(9)	d(8)	d(7)	d(6)	d(5)	d(4)	d(3)	d(2)	d(1)
4	16							16	32	64	128
6	4					4	8	16	32	64	128
8	1			1	2	4	8	16	32	64	128
10	1	1	1	1	2	4	8	16	32	64	128

Ako pogledamo dobijene rezultate, gore navedeno možemo potvrditi u klasi bone (2). Ako posmatramo upit 7 (bone7) objekat bone8 će za 6. red dekompozicije biti 8. pogodak, dok za 8 red odlazi na 216. poziciju. S druge strane objekat ray5 će za 6. red biti na 151. poziciji dok za 8. red dolazi na 7. mjesto. Sa Slika 5.65 vidimo da je kod 6. reda dekompozicije dominantan uticaj imala aproksimacija koja je udaljila objekat ray5. Za 8. red veći uticaj imaće VF komponente jer su njihove magnituda veće. Iako je to povećanje samo za 0,01 treba imati u vidu da se to odnosi na 128 tačaka pa se ukupna razlika povećava za 1,28.



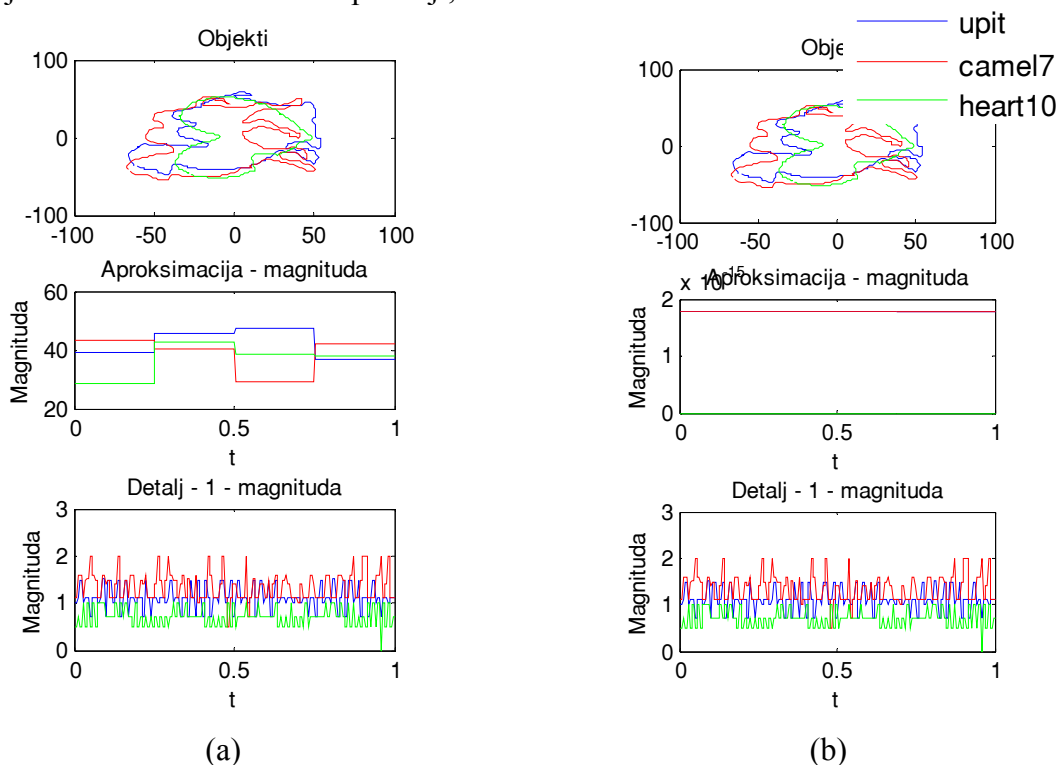
Slika 5.64. - Uticaj aproksimacije (a) 6. red dekompozicije; (b) 8. red dekompozicije



Slika 5.65. - Uticaj promjene reda na vrijednost koeficijenata

Slične rezultate imamo i u klasama brick(3) i turtle(18) gdje pri manjem redu dekompozicije dolazi do mješanja sa klasama koje su vizuelno slične (brick i classic, turtle i elephant).

Drugu grupu čini klasa camel(4). U ovoj klasi dolazi do povećanja efikasnosti sa povećanjem reda. Razlog tome je što su ove slike međusobno dosta različite. Sa povećanjem reda veća težina daće se detaljima što u ovom slučaju ima presudan značaj. Ako pogledamo sliku vidimo da manji red će zamjeniti klasu heart sa camel zbog poređenja NF komponenti, pa je objekat heart10 na 2. podudaranju, a camel7 na 154. podudaranju. Povećanjem reda ovo će biti manje bitno dok dominantan uticaj preuzimaju detalji zbog čega dolazi do pomjeranja pa se objekat heart10 nalazi na 41. poziciji, a camel7 na 22.



Slika 5.66. - (a) 6. red dekompozicije; (b) 8. red dekompozicije

Na kraju, možemo zaključiti da promjenom reda mjenjamo odnos težina NF i VF komponenti konture. Treba imati u vidu da NF komponente daju globalni opis konture, pa u tom smislu različite klase imaju bliske vrijednosti, ili drugim riječima, one daju vrlo grubu klasifikaciju objekata. Zbog toga postoji porast od 1,5% odziva pri povećanju sa 4. na 6. red dekompozicije. Kao što je već rečeno, 8. red će napraviti potpunu dekompoziciju pa možemo reći da će sve biti "sačuvano u detaljima". Pretjeran uticaj VF komponenti imaće za posljedicu pad efikasnosti deskriptora, pa se odziv smanjuje za 8,79%, a preciznost prvog podudaranja za 3,25% pri povećanju sa 6. na 8. red dekompozicije. Daljne povećanje reda nema uticaja, jer se ni deskriptori ne mjenjaju.

Srednja vrijednost rednog broja prvog podudaranja opada sa porastom reda jer dolazi do grešaka usljed prenaplašavanja VF komponenti. Opseg Euklidovih distanci takođe raste sa porastom reda, s tim da pri povećanju sa 4. na 6. red iznosi 6,81, dok za promjenu sa 6. na 8. iznosi 67,07.

## 6. ZAKLJUČAK

Kroz razvoj ljudskog društva potreba za pretraživanjem i pronalaženjem podataka postaje sve veća. Ako pogledamo unazad, već su antičke biblioteke uočile potrebu indeksiranja knjiga da bi olakšali pretraživanje i pronalaženje. Razvoj tehnologije i društva usavršava ovaj pristup, razvijajući elektronske baze podataka, programske jezike i standarde, pa su mogućnosti pronalaženja, pretraživanja, sortiranja tekstualnih podataka svakim danom su sve veća. Sa razvojem Interneta i tehnika pretraživanja baza, u svakom trenutku na jednostavan način moguće je pretražiti veliki broj elektronskih baza podataka, i bilo da se koriste u istraživanju ili samo za zabavu, tekstualni podaci iz baza dostupni su svakome.

S druge strane, današnji svijet je multimedijalni. Skoro da ne postoji sfera ljudskog života koja je ostala uskraćena za multimedijalne informacije. Ne samo u društvu, već i u nauci, multimedijalni podaci sve više postaju neizostavan dio. Neke oblasti istraživanja, skoro da i zavise od brzine i efikasnosti poređenja, sortiranja, arhiviranja i pronalaženja slika. Sve je to vodilo razvoju digitalne obrade slike u smjeru što boljeg obrađivanja, arhiviranja, sortiranja i pronalaženja odgovarajućih multimedijalnih podataka.

Posebno mjesto zauzimaju sistemi pronalaženja slika u bazama. Zbog njihovog intenzivnog razvoja i sve veće upotrebe uveden je i standard koji definiše njihovu primjenu-MPEG-7. Ovim standardom definiše se samo način opisa multimedijalnih podataka, dok je sama tehnika opisa slike proizvoljna.

Opisivanje slika je zahtjevan zadatak. Razlog je što slike ne sadrže egzaktnu informaciju koje bi se mogle koristiti. Na jednoj slici može da se nalazi više objekata, više boja, nijansi i detalja koje bi različiti posmatrači mogli različito opisati. Ovaj problem nastoji se prevazići pronalaženjem matematičkih funkcija koje opisuju sadržaj slike. I ovaj pristup ima svojih nedostataka. Dvije "matematički bliske" slike mogu biti vizuelno potpuno različite. Zbog toga, sve više se koriste i usavršavanju interaktivne tehnike, koje uključuju i korisnika u proces pretraživanja.

U opisivanju slika ključnu ulogu ima izdvajanje obilježja i njihovo indeksiranje. Za svako od osnovnih obilježja (boja, tekstura i oblik) razvijeno je mnoštvo tehnika. Koja će se tehnika primjenjivati zavisi od vrste slika koje se pretražuju, ali i od same primjene. I u oblasti indeksiranja slika na osnovu oblika razvijene su različite tehnike. Pomak je napravljem počev od globalnih reprezentacija oblika, do lokalnih deskriptora. Neka od novijih istraživanja bave se deskriptorima oblika na osnovu krivih predstavljenih setovima segmenata, čije su reprezentacije obilježja složene u metričko stablo. Predloženo je i dinamičko programiranje u svrhu pronalaženja odgovarajućih oblika, gdje su oblici aproksimirani sekvencom konkavnih i konveksnih segmenata. Problem u ovom pristupu je je izračunavanje FD koje uzima dosta vremena. S druge strane, upotreba FD i DTW (Dynamic Time Wrapping) distance umjesto Euklidove, pokazalo je mnogo bolje rezultate [18].

U ovom radu obrađeni su spektralni konturni deskriptori. Oni se dobijaju spektralnim transformacijom signatura, Furierovom transformacijom dobijamo FD, a wavelet transformacijom WD. S druge strane, signature se dobijaju na osnovu koordinata konture. Konture je neophodno normalizovati da bi slike u bazi imale isti broj tačaka kao i slike za koje se postavlja upit. Ovo je neophodno zbog poređenja deskriptora, jer su deskriptori ustvari



matrice, a mjere sličnosti distance tih matrica, pa je za njihovo izračunavanje neophodan isti broj tačaka. Osim broja tačaka i signature i parametri same transformacije mogu uticati na kvalitet deskripcije. U tom smislu, analiziran je uticaj broja deskriptora za FD, odnosno red dekompozicije za WD.

Eksperimentalni rezultati pokazali su da su FD osjetljivi na veći broj izraženijih spektralnih komponenti, jer sve komponente imaju istu težinu. To dovodi do velikih razlika između slika koje su vizuelno slične (klasa camel). Drugi nedostatak je zabuna pozicije spektralne komponente. FD ne prepoznaju gdje se prostorno koja komponenta nalazi, već samo konstatuju njeno prisustvo. Ovo dovodi do zabuna i mješanja klasa koje nisu vizuelno slične. S druge strane FD pokazuju izuzetno dobre rezultate kod klasa sa malim brojem frekvencijskih komponenti. U tim klasama dolazi do manjih grešaka pretraživanja koje su uglavnom posljedica vizuelne sličnosti objekata (classic-brick, hammer-key).

Za razliku od FD, kod WD ne postoje velike oscilacije među klasama. Osnovna karakteristika koja utiče na rezultate izabaranih mjera je postojanje VF koje nemaju veliki vizuelni značaj. Ako ovakve komponente postoje, WD daju lošije rezultate prilikom pretraživanja. Ovo je direktna posljedica same WT koja detaljima tj. VF komponentama daje istu težinu. S druge strane prednost WD je to što ne postoji mješanje frekvencijskih komponenti. Ovo takođe proizilazi iz osobina transformacije koja čuva i položaj odgovarajuće frekvencijske komponente.

Iako WD daju lošije rezultate u odnosu na FD, treba imati u vidu greške nastale zbog izbora početne tačke koja utiče na normalizaciju WD za rotaciju. U ovom radu je primjenjen metod maksimalnog radiusa centrirane konture za izbor početne tačke. Kod ovog metoda greške nastaju kod simetričnih kontura, što je datoj bazi kod 8% slika. Još jedan način prevazilaženja problema rotacije je primjena Fourierove transformacije na WD, a zatim njihova normalizacija.

Za oba deskriptora kompleksne koordinate pokazale su se kao najbolja signatura. Ovaj rezultat treba uzeti sa rezervom, jer je centroidna distanca dominirala unutar određenih klasa. Za FD centroidna distanca značajno neutrališe debljinu objekta, ali i previše naglašava promjene konture u blizini centroida objekta. Kod WD pokazalo se da centroidna distanca djelimično neutrališe rotaciju, ali nedovoljno opisuje objekte blagih kontura. Kumulativna ugaona funkcija daje znatno bolje rezultate za WD u odnosu na kurvaturu. Naime, ona će nagle promjene konture opisati samo malom broju tačaka, pa iako se eliminišu ove VF komponente oblik konture prije i poslije promjene biće zadržan.

Promjena broja tačaka direktno je vezana za osobine transformacija. Za FD povećanje broja tačaka znači poboljšanje deskripcije, iako zanemarljivo malo (0,1 % do 1% za promjenu od 64 do 512 tačaka), ali uz značajan gubitak na vremenu izračunavanja. S druge strane WD sa povećanjem iznad 256 daju lošije rezultate, što je ponovo posljedica osobina transformacije.

Rezultati pokazuju da povećanje broja FD neće značajno doprinjeti kvalitetu deskripcije. Promjena sa 16 na 64 deskriptora daje promjenu odziva od 0,19%, a sa druge strane deskriptori su četiri puta većih dimenzija, pa je i određivanje distance zahtjevnije.

Promjena reda dekompozicije vezana je uz broj tačaka konture. Različiti redovi podrazumjevaju različit odnos NF i VF komponenata, a najbolji rezultati su za 6. red odnosno za aproksimacije sa 4 tačke.

Svi ovi rezultati dobijeni su primjenom Euklidove distance kao mjere sličnosti. Kao što je već rečeno, bolji rezultati mogu se dobiti primjenom nekih složenijih funkcija, koje na bolji način, ili čak na više nivoa vrše poređenja, pa samim tim daju i bolje rezultate.

Pored toga, progami za pretraživanje sve više koriste metode interaktivnog i iterativnog pretraživanja. Ovim metodama se otklanjaju određeni nedostaci kao što su loš odziv, dovoljno je nekoliko tačnih podudaranja da bi korisnik mogao nastaviti i pretraživanje.

Još jedan od načina za poboljšanje CBIR sistema je upotreba tekstualnih anotacija i meta-fajlova. Iako se ovaj pristup na prvi pogled čini komplikovanim, nalazi primjenu u Web CBIR sistemima pretraživanja i implementiran je u Google i Yahoo pretraživače slika [18]. Sistem se temelji na činjenici da su prilikom postavljanja slika na Web neophodne odgovarajuće tekstualne anotacije koje se koriste prilikom pretraživanja.

Pretraživanje baza slika je oblast koja se sve više istražuje i razvija. Zbog složenosti problematike, razvoj se bazira na određenim primjenama i specifičnim klasama slika. Tako da se jedan pristup primjenjuje za pretraživanja biomedicinskih slika, a drugi za Web pretraživanja. Osim toga sve više se vrše istraživanja u cilju pronalaženja boljih signatura i mjera sličnosti, jer one doprinose kvalitetu deskripcije.

Na kraju možemo reći da je oblast primjene pretraživanja baza slika velika. Iako su istraživanja fokusirana na određene primjene, svaka nova tehnika doprinosi sve boljim sistemima za pretraživanje baza slika.

## PRILOG 1 - MATLAB FAJLOVI

Fajl: Priprema.m - Primjer pripreme slike za deskripciju .....	101
Fajl: koor.m - funkcija za izdvajanje koordinata konture iz binarne slike .....	101
Fajl: normalizacijaprimjer.m - primjer normalizacije konture: linerno i ugaono .....	102
Fajl: ftheta.m - funkcija za određivanje funkcije $\Theta$ .....	103
Fajl: signature.m - primjer opisa konture različitim signaturama .....	103
Fajl: sig.m - funkcija za određivanje signature konture .....	105
Fajl: FDprimjer.m - primjer FD .....	106
Fajl: FDtransformacije.m - primjer uticaja transformacija na FD i normalizacija FD .....	107
Fajl: fur.m - funkcija za određivanje FD .....	111
Fajl: FTprimjer.m - primjer FT stacionarnog i nestacionarnog signala .....	112
Fajl: WDekompozicija.m - primjer dekompozicije i rekonstrukcije na osnovu WT .....	112
Fajl: WDTransformacije.m - primjer uticaja transformacija na WD i normalizacija WD .....	113
Fajl: Edist.m - funkcija za izračunavanje Euklidove distance .....	118
Fajl: tackefix.m - funkcija za fiksiranje početne tačke .....	118
Fajl: wdesk.m - funkcija za određivanje WD .....	119
Fajl: FDmat.m - generisanje MAT fajlova sa FD slika iz baze .....	120
Fajl: WDmat.m - generisanje MAT fajlova sa WD baze slika za različite parametre .....	121
Fajl: FDsignaturedist.m - statistička evaluacija FD za različite signature .....	122
Fajl: FDbrtacaka.m - statistička evaluacija FD za različit broj tačaka .....	123
Fajl: FDbrdeskriptora.m - statistička evaluacija FD za različit broj deskriptora .....	123
Fajl: WDsignaturedist.m - određivanje distance WD za različite signature .....	124
Fajl: WDbrtacaka.m - određivanje distance WD za različit broj tačaka konture .....	125
Fajl: WDred.m - određivanje distance WD za različit red WT .....	125
Fajl: pretrazivanjeFD.m .....	126
Fajl: pretrazivanjeWD.m .....	126

---

**Fajl: Priprema.m - Primjer pripreme slike za deskripciju**

---

```
%Priprema slike za deskripciju
global fold
grayime=[fold 'slika.jpg'];
Pom=imread(grayime);
figure ('name','Priprema slike','numbertitle','off')
subplot (2,3,1), subimage(Pom)
hold on
title('Grayscale slika')
axis off
%binarizacija
Pom=gt(Pom,160);
subplot (2,3,2), subimage(Pom)
hold on
title('Binarna slika')
axis off
%prigusivanje suma
Pom=medfilt2(Pom,[3,3]);
subplot (2,3,3), subimage(Pom)
hold on
title('Ociscena slika')
axis off
%zatvaranje slike
Pom=bwmorph(not(Pom),'Close');
Pom=not(Pom);
subplot (2,3,4), subimage(Pom)
hold on
title('Zatvorena slika')
axis off
xx=bwmorph(Pom,'erode');
Pom=not(Pom-xx);
subplot (2,3,5), subimage(Pom)
hold on
title('Rub')
axis off
```

---

**Fajl: koor.m - funkcija za izdvajanje koordinata konture iz binarne slike**

---

```
function Tacke=koor(ulaznaslika,n)
%Izdvajanje koordinata konture
%Tacke=koor(ulaznaslika,n)
%ulaznaslika - lokacija i ime slike
%n - broj tacaka za normalizaciju ako se ne unese n=256
clear Slika
clear t
clear Tacke
clear pTacke
clear nor
if nargin < 2, n = 256; end
Slika=imread(ulaznaslika);
Slika=bwmorph(not(Slika),'Close');
Slika=not(Slika);
pTacke=bwboundaries(Slika);
t=length(pTacke);
pTacke=pTacke{t};
```

```

L=length(pTacke);
nor=linspace(1,L,n);
nor=floor(nor);
for i=1:n
    x=nor(i);
    Tacke(i,:)=pTacke(nor(i),:);
end
end

```

### **Fajl: normalizacijaprimjer.m - primjer normalizacije konture: linerno i ugaono**

```

%Linearna normalizacija konture
global fold
clear pTacke
clear Tacke
ulaznaslika=[fold 'bird1.pgm'];
pTacke=koor(ulaznaslika);
L=length(pTacke);
k=0;
figure('name','Linearna normalizacija','numbertitle','off')
hold on
j=16;
for korak=1:4
    j=j*2;
    nor=linspace(1,L,j);
    nor=floor(nor);
    for i=1:j
        x=nor(i);
        Tacke(i,1)=pTacke(x,1);
        Tacke(i,2)=pTacke(x,2);
    end
    k=k+1;
    subplot(2,2,k);
    plot(Tacke(:,1),Tacke(:,2),'b');
    hold on
    plot(Tacke(:,1),Tacke(:,2),'r');
    title(['Broj tacaka = ' num2str(j)])
end
%Ugaona normalizacija
figure('name','Ugaona normalizacija','numbertitle','off')
hold on
j=16;
s=0;
for korak=1:4
    j=j*2;
    clear C
    clear cTacke
    clear ugao
    C=mean(pTacke);
    clear k
    for k=1:L
        cTacke(k,1)=pTacke(k,1)-C(1);
        cTacke(k,2)=pTacke(k,2)-C(2);
    end
    [ugao,r]=cart2pol(cTacke(:,1),cTacke(:,2));
    clear cTacke
    [y,xi]=sort(ugao);
    normugao=2*pi/j;

```

```

cTacke(1,:)=pTacke(xi(1),:);
pugao=y(1)+normugao;
ind=2;
for i=2:L
    if y(i)>=pugao
        cTacke(ind,:)=pTacke(xi(i),:);
        ind=ind+1;
        pugao=pugao+normugao;
    end
end
s=s+1;
subplot(2,2,s);
plot(cTacke(:,1),cTacke(:,2),'b');
hold on
plot(cTacke(:,1),cTacke(:,2),'r');
title(['Broj tacaka = ' num2str(j)])
end

```

---

### Fajl: ftheta.m - funkcija za određivanje funkcije $\Theta$

---

```

%Određivanje theta
% theta=ftheta(Tacke,w)
% k - matrica koordinata konture
% w - sirina prozora za koji se određuje
% default w=8
function theta=ftheta(mk,w)
duz=length(mk);
if nargin < 2, w=8;end
for t=1:duz
    t1=t-w;
    if t1<1
        t1=duz+t-w;
    end
    xx=mk(t,1)-mk(t1,1);
    if xx==0
        theta(t)=pi/2;
    else
        theta(t)=atan((mk(t,2)-mk(t1,2))/xx);
    end
end
end
end

```

---

### Fajl: signature.m - primjer opisa konture različitim signaturama

---

```

%Signature oblika primjer
global fold
ulaznaslika=[fold 'bird1.pgm'];
clear pTacke
clear cTacke
clear Tacke
Tacke=koor(ulaznaslika);
%Kompleksne koordinate
C=mean(Tacke);
clear k
L=length(Tacke);
for k=1:L
    cTacke(k,:)=Tacke(k,)-C;
end

```

```

pTacke=complex(Tacke(:,1),Tacke(:,2));
cTacke=complex(cTacke(:,1),cTacke(:,2));
figure ('name','Kompleksne koordinate','numbertitle','off')
plot(pTacke);
xlabel('Realna')
ylabel('Imaginarna')
title('Kompleksne koordinate')
figure ('name','Centrirane kompleksne koordinate','numbertitle','off')
plot(cTacke);
title('Centrirane kompleksne koordinate')
xlabel('Realna')
ylabel('Imaginarna')
%centroidna distanca
%Kontura prikazana preko centroidne distance
clear cTacke
for i=1:L
cTacke(i)=((Tacke(i,1)-C(1))^2+(Tacke(i,2)-C(2))^2)^0.5;
end
figure ('name','Centroidna distanca','numbertitle','off')
subplot(2,2,1);
plot(Tacke(:,1),Tacke(:,2));
title('Objekat 1');xlabel ('x koordinate');ylabel ('y koordinate');
hold on
subplot(2,2,2);
plot(cTacke);
title('Centroidna distanca objekta 1')
ylabel('r(t)');xlabel ('Odmjerci konture');axis([0 256 0 80]);
clear pTacke
clear xTacke
ulaznaslika=[fold 'camel1.pgm'];
pTacke=koor(ulaznaslika);
L1=length(pTacke);
for i=1:L1
xTacke(i)=((pTacke(i,1)-C(1))^2+(pTacke(i,2)-C(2))^2)^0.5;
end
subplot(2,2,3);
plot(pTacke(:,1),pTacke(:,2));
title('Objekat 2');xlabel ('x koordinate');ylabel ('y koordinate');
hold on
subplot(2,2,4);
plot(xTacke);
title('Centroidna distanca objekta 2');
ylabel('r(t)');xlabel ('Odmjerci konture');axis([0 256 0 80]);
%Krivina
clear theta
clear theta1
clear K
clear K1
theta=ftheta(Tacke);
theta1=ftheta(pTacke);
K(1)=0;
for i=2:L
K(i)=theta(i)-theta(i-1);
end
K1(1)=0;
for i=2:L1
K1(i)=theta1(i)-theta1(i-1);
end
end

```

```

figure ('name','Krivina','numbertitle','off')
subplot(2,2,1);
plot(Tacke(:,1),Tacke(:,2));
title('Objekat 1');xlabel ('x koordinata');ylabel ('y koordinata');
hold on
subplot(2,2,2);
plot(K);
title('Krivina objekta 1');ylabel('K(t)');xlabel ('Odmjerci konture');axis([0 256 -4 4]);
subplot(2,2,3);
plot(pTacke(:,1),pTacke(:,2));
title('Objekat 2');xlabel ('x koordinata');ylabel ('y koordinata');
hold on
subplot(2,2,4);
plot(K1);
title('Krivina objekta 2');ylabel('K(t)');xlabel ('Odmjerci konture');axis([0 256 -4 4]);
%Kumulativna ugaona funkcija
clear fi
clear fi1
fi(1)=theta(1);
for i=2:L
fi(i)=(theta(i)-fi(1));
end
fi1(1)=theta(1);
for i=2:L1
fi1(i)=theta1(i)-fi1(1);
end
figure ('name','Kumulativna ugaona funkcija','numbertitle','off')
subplot(2,2,1);
plot(Tacke(:,1),Tacke(:,2));
title('Objekat 1');xlabel ('x koordinata');ylabel ('y koordinata');
hold on
subplot(2,2,2);
plot(fi);
title('Kumulativna ugaona funkcija objekta 1')
ylabel('fi(t)');xlabel ('Odmjerci konture');axis([0 256 -4 2]);
subplot(2,2,3);
plot(pTacke(:,1),pTacke(:,2));
title('Objekat 2');xlabel ('x koordinata');ylabel ('y koordinata');
hold on
subplot(2,2,4);
plot(fi1);
title('Kumulativna ugaona funkcija objekta 2')
ylabel('fi(t)');xlabel ('Odmjerci konture');axis([0 256 -4 2]);

```

---

### Fajl: sig.m - funkcija za odredjivanje signature konture

---

```

%Signature oblika
%sig=sig(k,v,w);
%k-matrica koordinata konture
%v-vrsta signature
% ck - kompleksne koordinate
% cd - centroidna distanca
% kr - kurvatura
% ku - kumulativna ugaona funkcija
%w - sirina prozora za odredjivanje kurvatures i kumulativne ugaone funkcije
% ako se ne navede w=8

```



```

function sig=sig(mk,v,w)
clear C
clear i
clear L
clear sig
L=length(mk);
C=mean(mk);
if v=='ck'
for i=1:L
    mk(i,:)=mk(i,:)-C;
end
sig=complex(mk(:,1),mk(:,2));
end
if v=='cd'
for i=1:L
sig(i)=((mk(i,1)-C(1))^2+(mk(i,2)-C(2))^2)^0.5;
end
end
if v=='kr'
    if nargin < 3, w = 8; end
    theta=ftheta(mk,w);
sig(1)=0;
for i=2:L
sig(i)=theta(i)-theta(i-1);
end
end
if v=='ku'
    if nargin < 3, w = 8; end
    theta=ftheta(mk,w);
    sig(1)=theta(1);
for i=2:L
sig(i)=(theta(i)-sig(1));
end
end
end

```

---

### Fajl: FDprimjer.m - primjer FD

---

```

%Primjer FD
global fold
clear Tacke
clear FD
clear sig
clear FD
clear lin
ulaznaslika=[fold 'bird1.pgm'];
Tacke=koor(ulaznaslika);
sig=sig(Tacke,'ck');
FD=fft(sig);
L=length(FD);
lin=[1:L];lin=lin./L;
figure('name','Primjer FD','numbertitle','off');
subplot(3,2,1);
plot(sig)
title ('Objekat 1')
hold on
subplot(3,2,3);
semilogy(lin,abs(sig))
title ('Magnituda FD');

```

```

xlabel('Normalizovana frekvencija');ylabel('Magnituda (dB)');
axis ([0 1 0 100]);
hold on
subplot(3,2,5);
plot(lin,angle(sig))
title ('Faza FD');
xlabel('Normalizovana frekvencija');ylabel('Faza (rad)');
hold on
clear Tacke
clear FD
clear sig
clear FD
clear lin
ulaznaslika=[fold 'camel1.pgm'];
Tacke=koor(ulaznaslika);
sig=sig(Tacke,'ck');
FD=fft(sig);
L=length(FD);
lin=[1:L];lin=lin./L;
subplot(3,2,2);
plot(sig)
title ('Objekat 2')
hold on
subplot(3,2,4);
semilogy(lin,abs(sig))
title ('Magnituda FD');
xlabel('Normalizovana frekvencija');ylabel('Magnituda (dB)');
axis ([0 1 0 100]);
hold on
subplot(3,2,6);
plot(lin,angle(sig))
title ('Faza FD')
xlabel('Normalizovana frekvencija');ylabel('Faza (rad)');

```

### **Fajl: FDtransformacije.m - primjer uticaja transformacija na FD i normalizacija FD**

```

%Normalizacija FD primjer
global fold
close all
figure('name','Uticaj translacije na FD','numbertitle','off');
for i=1:2
    switch i
        case 1
            ulaznaslika=[fold 'invarijantnost.png'];
            boja='b';
        case 2
            ulaznaslika=[fold 'translacija.png'];
            boja='r';
    end
clear Tacke
Tacke=koor(ulaznaslika);
clear sig
sig=complex(Tacke(:,1),Tacke(:,2));
clear FD; clear pFD;
pFD=fft(sig);
FD=pFD(1:32);
L=length(FD);

```

```
clear lin
lin=[0:(L-1)];
lin=lin./(8*L);
subplot(3,2,i);
plot(sig,boja)
title(['Objekat ' num2str(i)])
hold on
subplot(3,1,2);
semilogy(lin,abs(FD),boja)
title('Magnituda FD');xlabel('Normalizovana frekvencija');ylabel('Magituda (dB)');
hold on
subplot(3,1,3);
plot(lin,angle(FD),boja)
title('Faza FD');xlabel('Normalizovana frekvencija');ylabel('Faza (rad)');
hold on
end
subplot(3,1,2);
legend('Objekat 1','Objekat 2');
hold off
figure('name','Uticaj skaliranja na FD','numbertitle','off');
for i=1:2
    switch i
        case 1
            ulaznaslika=[fold 'invarijantnost3.png'];
            boja='b';
        case 2
            ulaznaslika=[fold 'skaliranje.png'];
            boja='r';
    end
clear Tacke
Tacke=koor(ulaznaslika);
clear sig
sig=complex(Tacke(:,1),Tacke(:,2));
clear FD;clear pFD;
pFD=fft(sig);
FD=pFD(1:32);
subplot(3,2,i);
plot(sig,boja)
title(['Objekat ' num2str(i)])
hold on
subplot(3,1,2);
semilogy(lin,abs(FD),boja)
title('Magnituda FD');xlabel('Normalizovana frekvencija');ylabel('Magituda (dB)');
hold on
subplot(3,1,3);
plot(lin,angle(FD),boja)
title('Faza FD');xlabel('Normalizovana frekvencija');ylabel('Faza (rad)');
hold on
end
subplot(3,1,2);
legend('Objekat 1','Objekat 2');
hold off
figure('name','Uticaj rotacije na FD','numbertitle','off');
```

```

for i=1:2
    switch i
        case 1
            ulaznaslika=[fold 'invarijantnost.png'];
            boja='b';
        case 2
            ulaznaslika=[fold 'rotacija.png'];
            boja='r';
        end
    clear Tacke
    Tacke=koor(ulaznaslika);

    clear sig
    sig=complex(Tacke(:,1),Tacke(:,2));
    clear FD;clear pFD;
    pFD=fft(sig);
    FD=pFD(1:32);
    subplot(3,2,i);
    plot(sig,boja)
    title(['Objekat ' num2str(i)])
    hold on
    subplot(3,1,2);
    semilogy(lin,abs(FD),boja)
    title('Magnituda FD');xlabel('Normalizovana frekvencija');ylabel('Magituda (dB)');
    hold on
    subplot(3,1,3);
    plot(lin,angle(FD),boja)
    title('Faza FD');xlabel('Normalizovana frekvencija');ylabel('Faza (rad)');
    hold on
end
subplot(3,1,2);
legend('Objekat 1','Objekat 2');
hold off
figure('name','Normalizacija FD translacije','numbertitle','off');
lin=[0:(L-1)];
lin=lin./(8*L);
for i=1:2
    switch i
        case 1
            ulaznaslika=[fold 'invarijantnost.png'];
            boja='b';
        case 2
            ulaznaslika=[fold 'translacija.png'];
            boja='r';
        end
    clear Tacke
    Tacke=koor(ulaznaslika);
    clear sig
    sig=complex(Tacke(:,1),Tacke(:,2));
    clear FD
    clear inverz
    FD=fft(sig);
    FD(1)=0;
    inverz=ifft(FD);
    subplot(3,2,2);
    plot(inverz,boja)
    title('Normalizovani objekti')
    hold on

```

```

subplot(3,2,1);
plot(sig,boja)
title ('Originalni objekti')
hold on
subplot(3,1,2);
plot(lin,abs(FD(1:32)),boja)
title ('Magnituda FD');xlabel('Normalizovana frekvencija');ylabel('Magituda');
hold on
subplot(3,1,3);
plot(lin,angle(FD(1:32)),boja)
title ('Faza FD');xlabel('Normalizovana frekvencija');ylabel('Faza (rad)');
hold on
end
subplot(3,1,2);
legend ('Objekat 1','Objekat 2');
hold off
figure('name','Normalizacija FD skaliranja','numbertitle','off');
for i=1:2
    switch i
        case 1
            ulaznaslika=[fold 'invarijantnost3.png'];
            boja='b';
        case 2
            ulaznaslika=[fold 'skaliranje.png'];
            boja='r';
    end
clear Tacke
Tacke=koor(ulaznaslika);
clear sig
sig=complex(Tacke(:,1),Tacke(:,2));
clear FD
clear inverz
FD=fft(sig);
FD=FD/abs(FD(2));
FD(1)=0;
inverz=ifft(FD);
subplot(3,2,2);
plot(inverz,boja)
title ('Normalizovani objekti')
hold on
subplot(3,2,1);
plot(sig,boja)
title ('Originalni objekti')
hold on
subplot(3,1,2);
plot(lin,abs(FD(1:32)),boja)
title ('Magnituda FD');xlabel('Normalizovana frekvencija');ylabel('Magituda');hold on
subplot(3,1,3);
plot(lin,angle(FD(1:32)),boja)
title ('Faza FD');xlabel('Normalizovana frekvencija');ylabel('Faza (rad)');
hold on
end
subplot(3,1,2);
legend ('Objekti 1','Objekti 2');
hold off
figure('name','Normalizacija FD rotacije','numbertitle','off');

```

```

for i=1:2
    switch i
        case 1
            ulaznaslika=[fold 'invarijantnost.png'];
            boja='b';
        case 2
            ulaznaslika=[fold 'rotacija.png'];
            boja='r';
        end
    clear Tacke
    Tacke=koor(ulaznaslika);
    clear sig
    sig=complex(Tacke(:,1),Tacke(:,2));
    clear FD
    clear inverz
    FD=fft(sig);
    FD=abs(FD);
    inverz=ifft(FD);
    subplot(3,2,2);
    plot(inverz,boja)
    title ('Normalizovani objekti')
    hold on
    subplot(3,2,1);
    plot(sig,boja)
    title ('Originalni objekti')
    hold on
    subplot(3,1,2);
    plot(lin,abs(FD(1:32)),boja)
    title ('Magnituda FD');xlabel('Normalizovana frekvencija');ylabel('Magituda');hold on
    subplot(3,1,3);
    plot(lin,angle(FD(1:32)),boja)
    title ('Faza FD');xlabel('Normalizovana frekvencija');ylabel('Faza (rad)');
    hold on
end
subplot(3,1,2);
legend ('Objekat 1','Objekat 2');
hold off

```

### Fajl: fur.m - funkcija za određivanje FD

---

```

%Određivanje FD
%fur=fur(s, n);
%s - normalizovana signatura
%n - broj deskriptora - ako se ne navede n=64
function fd=fur(s,n)
clear fd
clear pFur
if nargin < 2, n=64; end
pFur=fft(s);
if pFur(1)~=0, pFur=pFur/abs(pFur(2)); end;
pFur(1)=0;
pFur=abs(pFur);
L=length(pFur);
fd(1:n/2)=pFur(1:n/2);
fd((n/2)+1:n)=pFur((L+1-(n/2)):L);
end

```

## Fajl: FTprimjer.m - primjer FT stacionarnog i nestacionarnog signala

---

```

%Primjer FT
global fold
clear aaa
clear bbb
clear xxx
clear yyy
clear zzz
aaa=[0:0.01:pi];
xxx=sin(4*aaa);
yyy=sin(20*aaa);
zzz=zeros(1,629);
zzz(1:315)=xxx;
zzz(316:629)=yyy(1:314);
figure('name','Primjer FD','numbertitle','off');
subplot(3,2,1)
l=[1:629];l=l./314;
plot(l,zzz)
title('Signal 1')
axis ([0 2 -1 1]); xlabel ('T');
aaa=[0:0.01:2*pi];
xxx=sin(4*aaa);
yyy=sin(20*aaa);
bbb=xxx+yyy;
subplot(3,2,2)
plot(l,bbb,'r')
title('Signal 2')
axis ([0 2 -2 2]); xlabel ('T');
clear pom
pom=fft(zzz);
clear aaa
aaa=[1:314];
aaa=(aaa./314)*2*pi;
subplot(3,1,2)
plot(aaa,abs(pom(1:314)), 'b');
title('FT signala 1'); xlabel ('Frekvencija (Hz)');
axis ([0 1 0 200])
hold on
clear pom
pom=fft(bbb);
subplot(3,1,3)
plot(aaa,abs(pom(1:314)), 'r');
title('FT signala 2'); xlabel ('Frekvencija (Hz)');
axis ([0 1 0 400])

```

## Fajl: WDekompozicija.m - primjer dekompozicije i rekonstrukcije na osnovu WT

---

```

%Primjer dekompozicije i rekonstrukcije konture iz WD
global fold
ulaznaslika=[fold 'camel1.pgm'];
clear Tacke
clear CX; clear DX; clear DY; clear CY
clear RekX; clear RekY
Tacke=koor(ulaznaslika,1024);
figure ('name', 'Rekonstrukcija','numbertitle','off')
plot(Tacke(:,1), Tacke(:,2), 'b')
hold on

```

```

[CX,DX]=wavedec(Tacke(:,1),3,'haar');
[CY,DY]=wavedec(Tacke(:,2),3,'haar');
DX(2)=0;
DY(2)=0;
RekX=waverec(CX,DX,'haar');
RekY=waverec(CY,DY,'haar');
plot(RekX, RekY,'r')
hold on
legend('Originalna kontura','Rekonstrukcija bez detalja d(1)')

```

### **Fajl: WDTransformacije.m - primjer uticaja transformacija na WD i normalizacija WD**

```

%Transformacije WD
global fold
close all
clear Tacke
clear CX; clear DX; clear DY; clear CY
figure('name','Uticaj translacije na WD','numbertitle','off');
for i=1:2
    switch i
        case 1
            ulaznaslika=[fold 'invarijantnost.png'];
            boja='b';
        case 2
            ulaznaslika=[fold 'translacija.png'];
            boja='r';
    end
    clear Tacke
    Tacke=koor(ulaznaslika);
    clear CX; clear DX; clear DY; clear CY
    [CX,DX]=wavedec(Tacke(:,1),3,'haar');
    [CY,DY]=wavedec(Tacke(:,2),3,'haar');
    subplot(2,2,1);
    plot(Tacke(:,1),Tacke(:,2),boja)
    title ('Objekti')
    hold on
    clear X
    clear Y
    X=wrcoef('a',CX,DX,'haar',3);
    Y=wrcoef('a',CY,DY,'haar',3);
    subplot(2,2,2);
    plot(X,Y,boja)
    title('Aproksimacija')
    hold on
    for k=1:3
        clear X
        clear Y
        X=wrcoef('d',CX,DX,'haar',k);
        Y=wrcoef('d',CY,DY,'haar',k);
        subplot(2,3,k+3);
        plot(X,Y,boja)
        title(['Detalji - ' num2str(k)])
        hold on
    end
end
figure('name','Uticaj rotacije na WD','numbertitle','off');

```



```

for i=1:2
    switch i
        case 1
            ulaznaslika=[fold 'invarijantnost.png'];
            boja='b';
        case 2
            ulaznaslika=[fold 'rotacija3.png'];
            boja='r';
        end
    clear Tacke
    clear Slika
    Slika=imread(ulaznaslika);
    Slika=bwmorph(not(Slika),'Close');
    Slika=not(Slika);
    Tacke=bwboundaries(Slika);
    Tacke=Tacke{2};
    subplot(3,2,i);
    plot(Tacke(:,1),Tacke(:,2),boja)
    title(['Objekat ' num2str(i)])
    hold on
    Tacke=tackefix(Tacke);
    clear CX;clear DX;clear DY;clear CY
    [CX,DX]=wavedec(Tacke(:,1),3,'haar');
    [CY,DY]=wavedec(Tacke(:,2),3,'haar');
    clear X
    clear Y
    X=wrcoef('a',CX,DX,'haar',3);
    Y=wrcoef('a',CY,DY,'haar',3);
    subplot(3,2,3);
    clear V
    V=complex(X,Y);
    lin=[1:length(V)];lin=lin./length(V);
    semilogy(lin,abs(V),boja)
    hold on
    title('Aproksimacija - magnituda');xlabel ('Normalizovana frekvencija');ylabel ('Magnituda (dB)');
    subplot(3,2,4)
    plot(lin,angle(V),boja)
    title('Aproksimacija - faza');xlabel ('Normalizovana frekvencija');ylabel ('Faza (rad)');
    hold on
    k=3;
    clear X
    clear Y
    X=wrcoef('d',CX,DX,'haar',k);
    Y=wrcoef('d',CY,DY,'haar',k);
    subplot(3,2,5);
    clear V
    V=complex(X,Y);
    semilogy(lin,abs(V),boja)
    hold on
    title(['Detalji - ' num2str(k) '- magnituda'])
    xlabel ('Normalizovana frekvencija');ylabel ('Magnituda (dB)');
    subplot(3,2,6)
    plot(lin,angle(V),boja);
    title(['Detalji - ' num2str(k) '-faza'])
    xlabel ('Normalizovana frekvencija');ylabel ('Faza (rad)');
    hold on
    end
    figure('name','Uticaj skaliranja na WD','numbertitle','off');

```

```

for i=1:2
    switch i
        case 1
            ulaznaslika=[fold 'invarijantnost3.png'];
            boja='b';
        case 2
            ulaznaslika=[fold 'skaliranje.png'];
            boja='r';
        end
    clear Tacke
    Tacke=koor(ulaznaslika);
    clear CX;clear DX;clear DY;clear CY
    [CX,DX]=wavedec(Tacke(:,1),3,'haar');
    [CY,DY]=wavedec(Tacke(:,2),3,'haar');
    subplot(3,2,i);
    plot(Tacke(:,1),Tacke(:,2),boja)
    title ('Objekti')
    hold on
    clear X; clear Y;
    X=wrcoef('a',CX,DX,'haar',3);
    Y=wrcoef('a',CY,DY,'haar',3);
    subplot(3,2,3);
    clear V
    V=complex(X,Y);
    lin=[1:length(V)];lin=lin./length(V);
    semilogy(lin,abs(V),boja)
    hold on
    title('Aproksimacija - magnituda');xlabel ('Normalizovana frekvencija');ylabel ('Magnituda (dB)');
    subplot(3,2,4)
    plot(lin,angle(V),boja)
    title('Aproksimacija - faza');xlabel ('Normalizovana frekvencija');ylabel ('Faza (rad)');
    hold on
    k=3;
    clear X; clear Y;
    X=wrcoef('d',CX,DX,'haar',k);
    Y=wrcoef('d',CY,DY,'haar',k);
    subplot(3,2,5);
    clear V
    V=complex(X,Y);
    semilogy(lin,abs(V),boja)
    hold on
    title(['Detalji - ' num2str(k) '- magnituda'])
    xlabel ('Normalizovana frekvencija');ylabel ('Magnituda (dB)');
    subplot(3,2,6)
    plot(lin,angle(V),boja);
    hold on
    title(['Detalji - ' num2str(k) '- faza'])
    xlabel ('Normalizovana frekvencija');ylabel ('Faza (rad)');
end
%Normalizacija
figure('name','Normalizacija WD za translaciju','numbertitle','off');
for i=1:2
    switch i
        case 1
            ulaznaslika=[fold 'invarijantnost.png'];
            boja='b';
        case 2
            ulaznaslika=[fold 'translacija.png'];

```

```

        boja='r';
    end
clear Tacke
Tacke=koor(ulaznaslika);
clear CX
clear DX
clear DY
clear CY
[CX,DX]=wavedec(Tacke(:,1),3,'haar');
[CY,DY]=wavedec(Tacke(:,2),3,'haar');
subplot(2,1,1);
plot(Tacke(:,1),Tacke(:,2),boja)
title('Objekti')
hold on
clear X
clear Y
X=appcoef(CX,DX,'haar');
Y=appcoef(CY,DY,'haar');
BX=mean(X);
BY=mean(Y);
for k=1:DX(1)
    CX(k)=CX(k)-BX;
    CY(k)=CY(k)-BY;
end
clear X
clear Y
X=waverec(CX,DX,'haar');
Y=waverec(CY,DY,'haar');
subplot(2,1,2);
plot(X,Y,boja)
title('Normalizacija WD za translaciju')
hold on
end
subplot(2,1,1)
legend('Objekat 1','Objekat 2')
figure('name','Normalizacija WD za rotaciju','numbertitle','off');
for i=1:2
    switch i
        case 1
            ulaznaslika=[fold 'invarijantnost.png'];
            boja='b';
        case 2
            ulaznaslika=[fold 'rotacija3.png'];
            boja='r';
    end
end
clear Tacke
Slika=imread(ulaznaslika);
Slika=bwmorph(not(Slika),'Close');
Slika=not(Slika);
Tacke=bwboundaries(Slika);
Tacke=Tacke{2};
Tacke=tackefix(Tacke);
clear BX;clear BY;clear CX;clear DX;clear DY;clear CY
[CX,DX]=wavedec(Tacke(:,1),3,'haar');
[CY,DY]=wavedec(Tacke(:,2),3,'haar');
subplot(2,1,1);
plot(Tacke(:,1),Tacke(:,2),boja)
pt(i,1)=Tacke(1,1);
pt(i,2)=Tacke(1,2);

```

```

title ('Objekti')
hold on
clear X;clear Y;clear BX;clear BY;clear Th;clear Ro
[Th, Ro]=cart2pol(CX,CY);
kraj=length(CX);
clear SrTh
kraj=length(CX);
SrTh=mean(Th(1:kraj));
clear p
for p=1:kraj
    Th(p)=Th(p)-SrTh;
end
clear CX;clear CY
[CX,CY]=pol2cart(Th, Ro);
clear X;clear Y
X=waverec(CX,DX,'haar');
Y=waverec(CY,DY,'haar');
clear BX;clear BY;clear N;clear Ind
subplot(2,1,2);
plot(X,Y,boja)
pt(i+2,1)=X(1);
pt(i+2,2)=Y(1)
title('Normalizacija WD za rotaciju')
hold on
end
subplot(2,1,1)
plot (pt(1,1),pt(1,2),'ks')
hold on
plot (pt(2,1),pt(2,2),'ks')
hold on
legend('Objekat 1','Objekat 2','Pocetna tacka')
hold on
subplot(2,1,2)
plot (pt(3,1),pt(3,2),'ks')
hold on
plot (pt(4,1),pt(4,2),'ks')
hold on
figure('name','Normalizacija WD za skaliranje','numbertitle','off');
for i=1:2
    switch i
        case 1
            ulaznaslika=[fold 'invarijantnost.png'];
            boja='b';
        case 2
            ulaznaslika=[fold 'skaliranje.png'];
            boja='r';
    end
end
clear Tacke
Tacke=koor(ulaznaslika);
clear CX;clear DX;clear DY;clear CY
[CX,DX]=wavedec(Tacke(:,1),3,'haar');
[CY,DY]=wavedec(Tacke(:,2),3,'haar');
subplot(2,1,1);
plot(Tacke(:,1),Tacke(:,2),boja)
title ('Objekti')
hold on
clear X;clear Y;clear BX;clear BY;clear Th;clear Ro;clear X;clear Y
X=appcoef(CX,DX,'haar');
Y=appcoef(CY,DY,'haar');

```

```

BX=mean(X);
BY=mean(Y);
for k=1:DX(1)
    CX(k)=CX(k)-BX;
    CY(k)=CY(k)-BY;
end
clear X;clear Y
[Th, Ro]=cart2pol(CX,CY);
kraj=length(CX);
clear SrRo
kraj=length(CX);
SrRo=mean(Ro(1:kraj));
clear p
for p=1:kraj
    Ro(p)=Ro(p)/SrRo;
end
clear CX;clear CY
[CX,CY]=pol2cart(Th, Ro);
clear X
clear Y
X=waverec(CX,DX,'haar');
Y=waverec(CY,DY,'haar');
subplot(2,1,2);
plot(X,Y,boja)
title('Normalizacija WD za skaliranje')
hold on
end
subplot(2,1,1)
legend('Objekat 1','Objekat 2')

```

---

### Fajl: Edist.m - funkcija za izračunavanje Euklidove distance

---

```

%Euklidova distanca
function E=Edist(mod,obj);
clear E
E=mod-obj';
E=abs(E);
E=E.^2;
E=sum(E);
E=E^0.5;
end

```

---

### Fajl: tackefix.m - funkcija za fiksiranje početne tačke

---

```

%fiksiranje pocetne tacke
% k=tackefix(k)
%k- matrica koordinata konture
function k=tackefix(kor)
clear Tx; clear Ty;clear sx; clear sy;
Tx=kor(:,1);Ty=kor(:,2);
sx=mean(Tx);sy=mean(Ty);
kraj=length(Tx);
for i=1:kraj
    Tx(i)=Tx(i)-sx;
    Ty(i)=Ty(i)-sy;
end

```

```

clear nTh; clear nRo;
[nTh, nRo]=cart2pol(Tx,Ty);
clear A; clear ind;clear Xn;clear Yn;
[A, ind]=sort(nRo);
prvi=ind(kraj);
for i=1:kraj
    xx=prvi+i-1;
    if xx>kraj
        xx=xx-kraj;
    end
    Xn(i)=Tx(xx);
    Yn(i)=Ty(xx);
end
clear k
k(:,1)=Xn; k(:,2)=Yn;
end

```

### Fajl: wdesk.m - funkcija za određivanje WD

---

```

% odredjivanje WD
% [C, D]= wdesr(s,t,r,v)
% s - signatura
% t - tip signature:  1 - kompleksne koordinate
%                   2 - ostale signature
% r - red deskriptora (ako se ne upise r=8)
% v - vrsta waveleta (ako se ne upise 'haar')
function [C,D]=wdesk(s,t,r,v)
if nargin < 3, r=8; v='haar'; end
if nargin < 4, v='haar'; end
clear C;clear D
[C,D]=wavedec(s,r,v);
clear A;clear B;clear Th;clear Ro;clear SrTh;clear SrRo
A=appcoef(C,D,v);
B=mean(A);
for k=1:D(1)
    C(k)=C(k)-B;
end
SrRo=mean(C);
C=C/SrRo;
if t==1
[Th, Ro]=cart2pol(real(C),imag(C));
SrTh=mean(Th(1:length(C)));
clear p
for p=1:length(C)
Th(p)=Th(p)-SrTh;
end
[A, B]=pol2cart(Th, Ro);
C=complex(A,B);
end
end

```

## Fajl: FDmat.m - generisanje MAT fajlova sa FD slika iz baze

```

%generisanje MAT fajlova
global Modeli
global brojmodela
global fold
des='FD';
%signature
for i=1:4
    switch i
        case 1
            vrsta='ck';
        case 2
            vrsta='cd';
        case 3
            vrsta='kr';
        case 4
            vrsta='ku';
    end
clear FDbaza
for a=1:brojmodela
    for b=1:12
        clear k;clear s; clear ofur
        ulaznaslika=[fold char(Modeli{a}) num2str(b) '.pgm'];
        k=koor(ulaznaslika);
        s=sig(k,vrsta);
        ofur=fur(s);
        FDbaza{a,b}=ofur;
    end
end
ime= [des 'baza' vrsta];
save (ime, 'FDbaza');
end
%tacke
for d=1:2
    switch d
        case 1
            vrsta='ck';
        case 2
            vrsta='cd';
    end
br=64;
for i=1:4
clear FDbaza
for a=1:brojmodela
    for b=1:12
        clear k;clear s; clear ofur
        ulaznaslika=[fold char(Modeli{a}) num2str(b) '.pgm'];
        k=koor(ulaznaslika,br);
        s=sig(k,vrsta);
        ofur=fur(s);
        FDbaza{a,b}=ofur;
    end
end
ime= [des 'baza-' vrsta '-tacaka' num2str(br)];
save (ime, 'FDbaza');
br=br*2;
end
end

```

```

%deskriptori
vrsta='cd';
br=32;
for i=1:4

clear FDbaza
for a=1:brojmodela
    for b=1:12
        clear k;clear s; clear ofur
        ulaznaslika=[fold char(Modeli{a}) num2str(b) '.pgm'];
        k=koor(ulaznaslika);
        s=sig(k,vrsta);
        ofur=fur(s,br);
        FDbaza{a,b}=ofur;
    end
end
ime= [des 'baza-deskriptora' num2str(br)];
save (ime, 'FDbaza');
br=br*2;
end

```

---

### Fajl: WMat.m - generisanje MAT fajlova sa WD baze slika za različite parametre

---

```

%generisanje MAT fajlova
global Modeli
global brojmodela
global fold
des='WD';
%signature
for i=1:4
    switch i
        case 1
            vrsta='ck';t=1;
        case 2
            vrsta='cd';t=2;
        case 3
            vrsta='kr';t=2;
        case 4
            vrsta='ku';t=2;
    end
clear FDbaza
for a=1:brojmodela
    for b=1:12
        clear k;clear s; clear owav
        ulaznaslika=[fold char(Modeli{a}) num2str(b) '.pgm'];
        k=koor(ulaznaslika);
        kf=tackefix(k);
        s=sig(kf,vrsta);
        [owav,D]=wdesk(s,t);
        FDbaza{a,b}=owav;
    end
end
ime= [des 'baza' vrsta];
save (ime, 'FDbaza');
end
%tacke
vrsta='ck';t=1;

```



```

br=64;
for i=1:4
clear FDbaza
for a=1:brojmodela
    for b=1:12
        clear k;clear s; clear ofur
        ulaznaslika=[fold char(Modeli{a}) num2str(b) '.pgm'];
        k=koor(ulaznaslika,br);
        s=sig(k,vrsta);
        [owav,D]=wdesk(s,t);
        FDbaza {a,b}=owav;
    end
end
ime= [des 'baza-tacaka' num2str(br)];
save (ime, 'FDbaza');
br=br*2;
end
%red
vrsta='ck';t=1;
br=4;
for i=1:4
clear FDbaza
for a=1:brojmodela
    for b=1:12
        clear k;clear s; clear ofur
        ulaznaslika=[fold char(Modeli{a}) num2str(b) '.pgm'];
        k=koor(ulaznaslika);
        s=sig(k,vrsta);
        [owav,D]=wdesk(s,t,br);
        FDbaza {a,b}=owav;
    end
end
ime= [des 'baza-deskriptora' num2str(br)];
save (ime, 'FDbaza');
br=br*2;
end

```

### **Fajl: FDsignaturedist.m - statistička evaluacija FD za različite signature**

---

```

%primjena razlicitih signatura
global Modeli
global fold
global brojmodela
for c=1:brojmodela
clear e
    for i=1:4
    switch i
        case 1
            vrsta='ck';
        case 2
            vrsta='cd';
        case 3
            vrsta='kr';
        case 4
            vrsta='ku';
    end
    load(['FDbaza' vrsta], 'FDbaza')

```

```

for d=1:12
    clear mfur
    mfur=FDbaza{c,d};
    for a=1:brojmodela
        for b=1:12
            clear ofur
            ofur=FDbaza{a,b};
            xa=(d-1)*18+a;
            xb=(i-1)*12+b;
            e(xa,xb)=Edist(mfur,ofur);
        end
    end
end
end
end
xlswrite(['FDsignature-klasa' num2str(c) '.xls'],e);
end

```

---

### Fajl: FDbrtacaka.m - statistička evaluacija FD za različit broj tačaka

---

```

%promjena broja tacaka
global Modeli
global fold
global brojmodela
vrsta='ck';
for c=1:brojmodela
    clear e
    br=64;
    for i=1:4
        load(['FDbaza-' vrsta '-tacaka' num2str(br)], 'FDbaza')
        for d=1:12
            clear mfur
            mfur=FDbaza{c,d};
            for a=1:brojmodela
                for b=1:12
                    clear ofur
                    ofur=FDbaza{a,b};
                    xa=(d-1)*18+a;
                    xb=(i-1)*12+b;
                    e(xa,xb)=Edist(mfur,ofur);
                end
            end
        end
    end
    br=2*br;
end
end
xlswrite(['FDtacke' vrsta '-klasa' num2str(c) '.xls'],e);
end

```

---

### Fajl: FDbrdeskriptora.m - statistička evaluacija FD za različit broj deskriptora

---

```

%promjena broja deskriptora
global Modeli
global fold
global brojmodela
vrsta='ck';
for c=1:brojmodela
    clear e

```

```

br=32;
for i=1:4
load(['FDbaza-deskriptora' num2str(br)], 'FDbaza')
for d=1:12
clear mfur
mfur=FDbaza{c,d};
for a=1:brojmodela
for b=1:12
clear ofur
ofur=FDbaza{a,b};
xa=(d-1)*18+a;
xb=(i-1)*12+b;
e(xa,xb)=Edist(mfur,ofur);
end
end
end
br=2*br;
end
xlswrite(['FDdeskriptori-klasa' num2str(c) '.xls'],e);
end

```

---

### Fajl: WDSignaturedist.m - određivanje distance WD za različite signature

---

```

%primjena razlicitih signatura
global Modeli
global fold
global brojmodela
for c=1:brojmodela
clear e
for i=1:4
switch i
case 1
vrsta='ck';
case 2
vrsta='cd';
case 3
vrsta='kr';
case 4
vrsta='ku';
end
load(['WDbaza' vrsta], 'FDbaza')
for d=1:12
clear mwav
mwav=FDbaza{c,d};
for a=1:brojmodela
for b=1:12
clear owav
owav=FDbaza{a,b};
xa=(d-1)*18+a;
xb=(i-1)*12+b;
e(xa,xb)=Edist(mwav,owav');
end
end
end
end
xlswrite(['WDSignature-klasa' num2str(c) '.xls'],e);
end

```

---

**Fajl: WDbrtacaka.m - određivanje distance WD za različit broj tačaka konture**

---

```
%promjena broja tacaka
global Modeli
global fold
global brojmodela
for c=1:brojmodela
clear e
    br=64;
    for i=1:4
load(['WDbaza-tacaka' num2str(br)], 'FDbaza')
        for d=1:12
            clear mwav
            mwav=FDbaza{c,d};
            for a=1:brojmodela
                for b=1:12
                    clear owav
                    owav=FDbaza{a,b};
                    xa=(d-1)*18+a;
                    xb=(i-1)*12+b;
                    e(xa,xb)=Edist(mwav,owav');
                end
            end
        end
    end
    br=br*2;
end
xlswrite(['WDtacke-klasa' num2str(c) '.xls'],e);
end
```

---

**Fajl: WDred.m - određivanje distance WD za različit red WT**

---

```
%promjena reda
global Modeli
global fold
global brojmodela
for c=1:brojmodela
clear e
    br=4;
    for i=1:4
load(['WDbaza-deskriptora' num2str(br)], 'FDbaza')
        for d=1:12
            clear mwav
            mwav=FDbaza{c,d};
            for a=1:brojmodela
                for b=1:12
                    clear owav
                    owav=FDbaza{a,b};
                    xa=(d-1)*18+a;
                    xb=(i-1)*12+b;
                    e(xa,xb)=Edist(mwav,owav');
                end
            end
        end
    end
    br=br*2;
end
xlswrite(['WDred-klasa' num2str(c) '.xls'],e);
end
```

## Fajl: pretrazivanjeFD.m

---

```


```

%pretrazivanje baze pomocu FD
global brizdvajanja
global Modeli
global brojmodela
global fold
global slika
global vr
fff=[];
for i=1:12
    subplot(7,6,30+i);imshow(fff);
end
clear ofur; clear k; clear s; clear mfur;
load(['FDbaza' vr], 'FDbaza')
k=koor(slika);
s=sig(k,vr);
mfur=fur(s);
for a=1:brojmodela
    for b=1:12
        ofur=FDbaza {a,b};
        xa=(a-1)*12+b;
        e(xa)=Edist(mfur,ofur);
    end
end
e=e';
[ep,ind]=sort(e)
for i=1:brizdvajanja
    subplot(7,6,30+i);
b=mod(ind(i),12);
if b==0
    a=ind(i)/12; b=12;
else
    a=floor(ind(i)/12)+1;
end
ulaznaslika=[fold char(Modeli {a}) num2str(b) '.pgm'];
imshow(ulaznaslika);
title(['R.br.' num2str(i)]);
axis off;
end
end

```


```

## Fajl: pretrazivanjeWD.m

---

```


```

global brizdvajanja
global Modeli
global brojmodela
global fold
global slika
global vr
fff=[];
if vr=='ck', t=1; else t=2;end;
for i=1:12
    subplot(7,6,30+i);imshow(fff);
end
clear owav; clear k; clear s; clear mwav;
load(['WDbaza' vr], 'WDbaza')
k=koor(slika);
s=sig(k,vr);
[mwav,D]=wdesk(s,t);

```


```

```
for a=1:brojmodela
    for b=1:12
        owav=FDbaza{a,b};
        xa=(a-1)*12+b;
        e(xa)=Edist(mwav,owav');
    end
end
e=e';
[ep,ind]=sort(e);
for i=1:brizdvajanja
    subplot(7,6,30+i);
    b=mod(ind(i),12);
    if b==0
        a=ind(i)/12; b=12;
    else
        a=floor(ind(i)/12)+1;
    end
end
ulaznaslika=[fold char(Modeli{a}) num2str(b) '.pgm'];
imshow(ulaznaslika);
title(['R.br.' num2str(i)]);
axis off;
end
```

## LITERATURA

- [1] Prof. Zdenka Babić, *Digitalna obrada slike - skripta*, Banjaluka 2005.
- [2] Vittorio Castelli, Lawrence D. Bergman, *Image Databases*, John Wiley & Sons Inc, New York, 2002.
- [3] University of Minesota, *Accessibility of Information Technology/Biometric Identification, 2005*, <http://cap.unm.edu/ait/hardware/BiometricID.html>
- [4] Nikolay M. Sirakov, James W. Swift, Phillip A. Mlsna, *Image Database Query Using Shape-Based Boundary Descriptors*, [http://www.spinger.com/cda/content/document/cda\\_downloaddocument/9783540404262-t1.pdf](http://www.spinger.com/cda/content/document/cda_downloaddocument/9783540404262-t1.pdf)
- [5] Dr Guhui Long, Dr Hongjiang Zhang, Prf. David Dagan Feng, *Fundametanls of content-based image retrieval*, <http://reasearch.microsoft.com/asia/dlead-files/group/micomputing/2003P/ch01-v40-proof.pdf>
- [6] Vladimir Risojević, *Pretraživanje baza slika na osnovu sličnosti regiona*, magistarska teza, Elektrotehnički fakultet, Banjaluka 2006.
- [7] Bryan S. Morse, *Lecture 7: Shape Description (Contours)*, 2000., [http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL\\_COPIES/MORSE/boundary-rep-desc.pdf](http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL_COPIES/MORSE/boundary-rep-desc.pdf)
- [8] D. Zhang, Guojun Lu, *A Comparative Study on Shape Retrieval Using Fourier Descriptors with Different Shape Signatures*, [http://www.knight.cis.temple.edu/~lakaemper/courses/cis595\\_2004/papers/fourierShape.pdf](http://www.knight.cis.temple.edu/~lakaemper/courses/cis595_2004/papers/fourierShape.pdf)
- [9] Kerr-Jia Lu, Sridhar Kota, *Compliant Mechanism Synthesis for Shape-Change Applications: Preliminary Results*, <http://www.engin.umich.edu/labs/csdl/papers/shapechange.pdf>
- [10] Yerin Yoo, *Tutorial on Fourier Theory*, 2001., [http://csnet.otago.ac.nz/cosc453/student\\_tutorials/fourier\\_analysis.pdf](http://csnet.otago.ac.nz/cosc453/student_tutorials/fourier_analysis.pdf)
- [11] Iivari Kunttu, Leena Lepisto, Ari Visa, *Efficient Fourier shape descriptor for industrial defect images usig wavelets*, 2005., <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=17158568>
- [12] Daniel Novak, *ECG processing using wavelet - Wavelet theory*, [http://cyber.felk.cvut.cz/gerstner/biolab/bio\\_web/teach/KP/WaveletTheory.pdf](http://cyber.felk.cvut.cz/gerstner/biolab/bio_web/teach/KP/WaveletTheory.pdf)
- [13] Michael Unser, *Wavelet Theory Demystified*, 2003., <http://bigwww.epfl.ch/publications/unser0301.html>
- [14] Gene C.-H. Chuang, C.-C. Jay Kuo, *Wavelet Descriptor of Planar Curves: Theory and Applications*, 1996., <http://sipi.usc.edu/~ortega/WaveletPapers/contour1.pdf>

- [15] Brault P., Mounier H., Automated, transformation invariant, shape recognition through wavelet *multiresolution*, 2005., [http://www.lss.supelec.fr/~publi/TWFyY2VsIFNFNSVNNNSUM=\\_BraultMounier\\_SPIE01\\_recompil\\_1avr04.pdf](http://www.lss.supelec.fr/~publi/TWFyY2VsIFNFNSVNNNSUM=_BraultMounier_SPIE01_recompil_1avr04.pdf)
- [16] Karsten Mueller, Jens-Rainer Ohm, *Contour Description using Wavelets*, <http://www.ient.rwth-aachen.de/engl/team/ohm/publi/wiami993.pdf>
- [17] Berlin University of Technology, *Compute Vision and Remote Sensing: Image Analysis Excercise 1*, 2005.
- [18] R. Datta, D. Joshi, J. Li, J.Z. Wang, *Image Retrieval: Ideas, Influences, and Trends of the New Age*, <http://infolab.stanford.edu/~wangz/project/imsearch/JOUR/datta07a.pdf>
- [19] T. Surazhsky, G. Elber, *Metamorphosis of Planar Parametric Curves via Curvature Signature*, <http://www.cs.technion.ac.il/~tess/publications/ CurvMorph.pdf>