

# Identifikacija osoba putem značajki dlana

---

**Ferić, Franjo**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:141950>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-14**

*Repository / Repozitorij:*

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



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

**Sveučilišni studij**

**IDENTIFIKACIJA OSOBA PUTEM ZNAČAJKI DLANA**

**Završni rad**

**Franjo Ferić**

**Osijek, 2020.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju

Osijek, 26.09.2020.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Prijedlog ocjene završnog rada na  
preddiplomskom sveučilišnom studiju**

Ime i prezime studenta:	Franjo Ferić
Studij, smjer:	Preddiplomski sveučilišni studij Računarstvo
Mat. br. studenta, godina upisa:	R4058, 24.09.2019.
OIB studenta:	14447397753
Mentor:	Prof.dr.sc. Željko Hocenski
Sumentor:	
Sumentor iz tvrtke:	
Naslov završnog rada:	Identifikacija osoba putem značajki dlana
Znanstvena grana rada:	<b>Programsko inženjerstvo (zn. polje računarstvo)</b>
Predložena ocjena završnog rada:	Izvrstan (5)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	26.09.2020.
Datum potvrde ocjene Odbora:	30.09.2020.
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 30.09.2020.

**Ime i prezime studenta:**

Franjo Ferić

**Studij:**

Preddiplomski sveučilišni studij Računarstvo

**Mat. br. studenta, godina upisa:**

R4058, 24.09.2019.

**Turnitin podudaranje [%]:**

23

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Identifikacija osoba putem značajki dlana**

izrađen pod vodstvom mentora Prof.dr.sc. Željko Hocenski

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.

Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

**IZJAVA**

**o odobrenju za pohranu i objavu ocjenskog rada**

kojom ja Franjo Ferić, OIB: 14447397753, student/ica Fakulteta elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek na studiju Preddiplomski sveučilišni studij Računarstvo, kao autor/ica ocjenskog rada pod naslovom: Identifikacija osoba putem značajki dlana,

dajem odobrenje da se, bez naknade, trajno pohrani moj ocjenski rad u javno dostupnom digitalnom repozitoriju ustanove Fakulteta elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek i Sveučilišta te u javnoj internetskoj bazi radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu, sukladno obvezi iz odredbe članka 83. stavka 11. *Zakona o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju* (NN 123/03, 198/03, 105/04, 174/04, 02/07, 46/07, 45/09, 63/11, 94/13, 139/13, 101/14, 60/15).

Potvrđujem da je za pohranu dostavljena završna verzija obranjenog i dovršenog ocjenskog rada. Ovom izjavom, kao autor/ica ocjenskog rada dajem odobrenje i da se moj ocjenski rad, bez naknade, trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim:

- a) široj javnosti
- b) studentima/icama i djelatnicima/ama ustanove
- c) široj javnosti, ali nakon proteka 6 / 12 / 24 mjeseci (zaokružite odgovarajući broj mjeseci).

*\*U slučaju potrebe dodatnog ograničavanja pristupa Vašem ocjenskom radu, podnosi se obrazloženi zahtjev nadležnom tijelu Ustanove.*

Osijek, 30.09.2020.

(mjesto i datum)

\_\_\_\_\_  
(vlastoručni potpis studenta/ice)

# Sadržaj

1. UVOD .....	1
1.1. Zadatak završnog rada.....	2
2. BIOMETRIJA.....	3
2.1. Biometrija kao znanost.....	3
2.2. Povijest biometrije .....	3
2.3. Biometrija danas.....	3
3. BIOMETRIJSKE METODE .....	5
3.1. Fizička biometrija.....	5
3.1.1. DNK identifikacija .....	6
3.1.2. Otisak prsta.....	7
3.1.3. Šarenica oka .....	8
3.1.4. Prepoznavanje rukopisa .....	10
3.2. Metode ponašanja .....	10
3.2.1. Lice.....	11
3.2.2. Prepoznavanje i provjera glasa.....	13
3.2.3. Prepoznavanje hoda.....	15
4. IDENTIFIKACIJA OSOBA PUTEM ZNAČAJKI DLANA .....	16
4.1. Građa dlana .....	16
4.2. Značajke dlana.....	16
4.3. Prednosti korištenja otiska dlana za identifikaciju osoba .....	18
4.4. Primjeri radova .....	19
4.4.1. Jain, Ross i Pakatij.....	19
4.4.2 Jain i Duta .....	19
4.4.3. Wong i Shi.....	19

5. PROGRAM ZA IDENTIFIKACIJU OSOBE POMOĆU ZNAČAJKI DLANA .....	22
5.1. Izuzimanje slike dlana.....	22
5.2. Predprocesiranje slike .....	22
5.3. Korištenje geometrije dlana .....	23
5.4. Primjena minimalno razapinjućih stabala u sustavu.....	25
5.5. Testiranje sustava.....	27
6. ZAKLJUČAK.....	30
OBJAŠNJENJE KRATICA KORIŠTENIH U RADU .....	31
LITERATURA.....	32
SAŽETAK.....	35
ABSTRACT .....	36

# 1. UVOD

U 21. stoljeću biometrijska autentifikacija i identifikacija osoba postala je općeprihvaćen dio svakodnevice. Za to su ponajviše, ako ne i u potpunosti, zaslužni tehnološki divovi (Samsung, Apple, itd.) svojim implementiranjem biometrijske identifikacije i autentifikacije na pametne telefone.

Iz tog razloga danas su općepoznate i usvojene biometrijske metode prepoznavanja ljudi po otisku prsta i prepoznavanjem lica.

Biometrija je znanost o automatiziranim postupcima za jedinstveno prepoznavanje osoba pomoću jedne ili više njihovih fizičkih i/ili ponašajnih karakteristika [6].

Biometrija nije nedavno osmišljena. Naprotiv, biometrija se koristi još od davnih vremena te se razvijala paralelno s razvojem ljudskog znanja i tehnologije i znanosti čiji je napredak u posljednjem desetljeću otvorio vrata raznim mogućnostima primjene biometrije koje su do tada bili nezamislive. Brzim razvojem tehnologije, povećana je potreba za pouzdanim načinima identifikacije osoba [5, 6].

U informatičkoj tehnologiji biometrijska autentifikacija se odnosi na tehnologije koje mjere i analiziraju fizičke (otisci prstiju, rožnica oka, prepoznavanje lica, dlana i slično) i ponašajne karakteristike (rukopis, tipkanje, hod i slično) čovjeka. Biometrija objedinjuje korištenje specijaliziranih uređaja koji prate određene fizičke ili ponašajne karakteristike te programa koji analiziraju dobivene informacije. U samim počecima izvedbe i upotrebe biometrijskih sustava, prednost je davana fiziološkim karakteristikama u odnosu na ponašajne karakteristike. Prevladavalo je mišljenje da fiziološke značajke, u odnosu na ponašajne, posjeduju „uočljivost“. To je dovelo do uvjerenja kako su fiziološke karakteristike pouzdanije od ponašajnih jer imaju tendenciju manjih razlika unutar grupa u usporedbi s ponašajnim karakteristikama. U novom okruženju klasične metode identifikacije dobivaju dodatnu kvalitetu, a osmišljavaju se i nove metode [1, 5, 6].

U završnom radu navedene su i ukratko opisane razne biometrijske metode identifikacije ljudi. Detaljnije su opisane biometrijske metode identifikacije pomoću dlana i prstiju te je na temelju primjera opisan postupak osposobljavanja programa koji koristi neku od oblika identifikacije osoba pomoću dlana i prstiju.



## **1.1. Zadatak završnog rada**

Zadatak završnog rada je istražiti načine kojima je moguće identificirati osobu na temelju značajki dlana i prstiju. Rad opisuje načine rada sustava koji se se koriste nekom od mogućih metoda identifikacija osobe putem značajki dlana i prstiju.

## **2. BIOMETRIJA**

### **2.1. Biometrija kao znanost**

Biometrija je znanost o automatiziranim postupcima za jedinstveno prepoznavanje ljudi na temelju jednog ili više urođenih tjelesnih obilježja ili obilježja čovjekovog ponašanja. Može se definirati i kao matematičko-statistička metoda za istraživanje živih bića s obzirom na njihove odnose mjere i broja koji se utvrđuju korištenjem automatiziranih tehničkih sustava mjerenja i registracije [1].

### **2.2. Povijest biometrije**

Ranije je navedeno kako biometrijske metode nisu novootkrivene, nego se temelje na standardnim identifikacijskim metodama koje su korištene još u starim vremenima ljudske povijesti. Osim što neke metode datiraju iz davne povijesti, bile su korištene na raznim dijelovima zemaljske kugle i na razne načine.

Prema nekim podacima u srednjovjekovnoj Kini uzimani su otisci stopala novorođenčadi kako bi se očuvao njihov identitet i onemogućila zamjena. Sustavno korištenje biometrije veže se uz Europu, posebice u policijskom području djelovanja. *Alphonse Bertillonage* je 1883. godine razvio sustav identifikacije počinitelja kaznenih djela. Sustav se bazirao na mjerama pojedinih dijelova tijela i uočljivim razlikama u fizičkom izgledu (ožiljci, tetovaže, manjak ili višak udova i sl.). Iako je sustav kasnije odbačen zbog nedovoljne preciznosti, on je i dalje jedan od prvih pokušaja organiziranog korištenja biometrijskih metoda u području policijskog djelovanja [1].

### **2.3. Biometrija danas**

Biometrija danas uz pomoć suvremene tehnologije omogućuje nezamislivo precizna mjerenja i registriranje tjelesnih i ponašajnih obilježja.

Osnova biometrijskih tehnologija je digitalizacija. Digitalizacija je postupak kojim je moguće pretvoriti skenirane podatke u digitalni format kako bi ih računala mogla obraditi. Proces digitalizacije je proces pretvaranja analognog u digitalni signal te obrade i prepoznavanja s programskom opremom. Pretvaranje signala vrši se korištenjem elektroničkog DAC (engl. *digital*

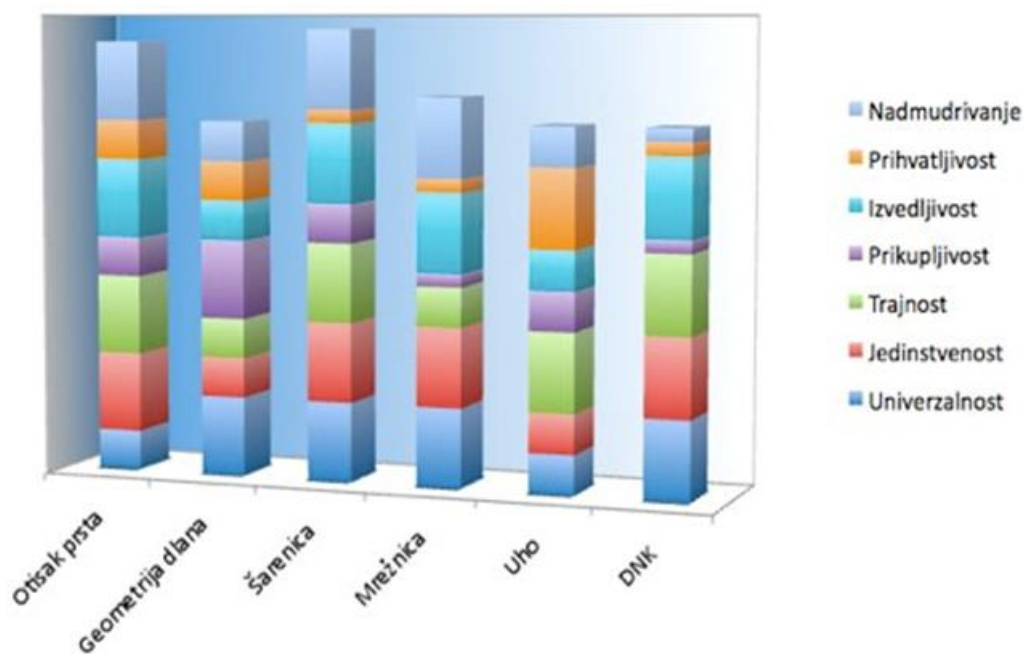
*audio-video converter*) uređaja, a sam proces sastoji se od niza Fourierovih transformacija, kvantizacija i drugih elemenata potrebnih za što točniji matematički prikaz ulaznih signala [3, 5].

### 3. BIOMETRIJSKE METODE

Biometrika je znanost o utvrđivanju identiteta pojedinca korištenjem niza značajki očitanih iz određenih fizičkih atributa ili karakteristika ponašanja pojedinca. Pod karakteristike ponašanja spadaju način kretanja, način reakcije, stil govora, geste ruku, potpis pojedinca i slično. Fiziološka kategorija uključuje fizičke karakteristike pojedinca poput otiska prsta, šarenice oka, lica, vena, oblika ruke, otiska dlana i niz drugih karakteristika [8].

#### 3.1. Fizička biometrija

Fizičke biometrijske metode nazivaju se i kontaktnim biometrijskim metodama jer zahtijevaju prisutnost osobe u identifikaciji. Fizičke karakteristike dijele se i na kontaktne i nekontaktne karakteristike. Primjena fizičkih kontaktnih biometrijskih metoda prikazana je na grafu 1.1. [3]



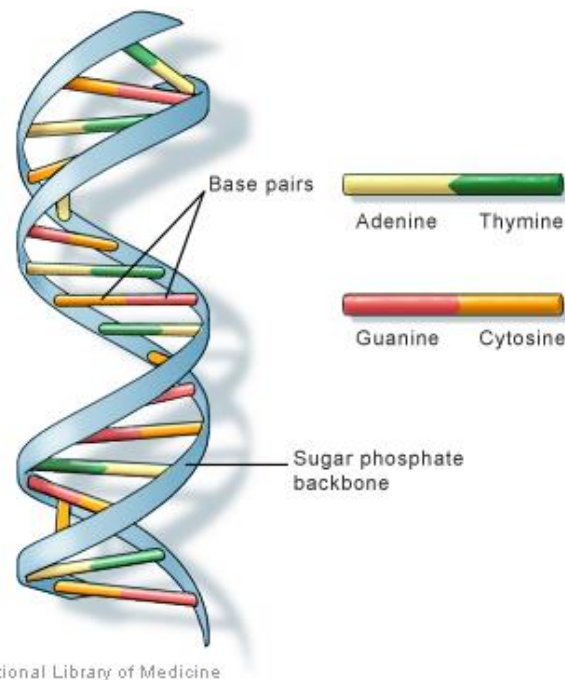
Graf 3.1. Primjena fizičkih kontaktnih biometrijskih metoda [3]

### 3.1.1. DNK identifikacija

Čitanje jedinstvenog DNK (hrv. deoksiribonukleinska kiselina; engl. *Deoxyribonucleic aci*, DNA) iako novija grana biometrije, najpreciznija je i najpouzdanija metoda identifikacije. Uzorak DNK moguće je uzeti s bilo kojeg dijela čovjeka. Prema [3] to može biti tjelesna tekućina, dlaka, nokti, koža ili bilo koji predmet s kojim je osoba neposredno bila u fizičkom kontaktu.

DNK je nukleinska kiselina u obliku dvostruke zavojnice koja sadrži genetske upute za specifični biološki razvoj staničnih oblika života i većine virusa. DNK je osnovna molekula nasljeđivanja odgovorna za prenošenje nasljednog materijala i osobina. Gotovo je nemoguć scenarij da dvije osobe imaju potpuno isti genetski zapis, isključujući jednojajčane blizance [9].

Čitač DNK zapisa, nakon očitavanja neke jedinice, uspoređuje ju s pohranjenim zapisom u bazi podataka. Tako se omogućava identifikacija korisnika u nekom sustavu. DNK analiza koristi se u razne svrhe, neke od njih su dokazivanje rodbinske povezanosti ili dokaz očinstva, posebice se koristi u forenzičkim aplikacijama prilikom identifikacije [3].



Slika 3.1. Shematski prikaz DNK molekule (preuzeto s [www.healio.com](http://www.healio.com))

### 3.1.2. Otisak prsta

Otisak prsta kao biometrička metoda počeo se naveliko koristiti od 19-og stoljeća. Bila je to posljedica stvaranja i razvoja zavoda za identifikaciju čiji je zadatak bio održavati precizne zapise o indeksiranim pojedincima. Prvi način uzimanja otiska prsta bio je izvođen korištenjem tinte [10]. Identifikacija pomoću otiska prsta uglavnom se primjenjivala u forenzičkim istraživanjima zločina.

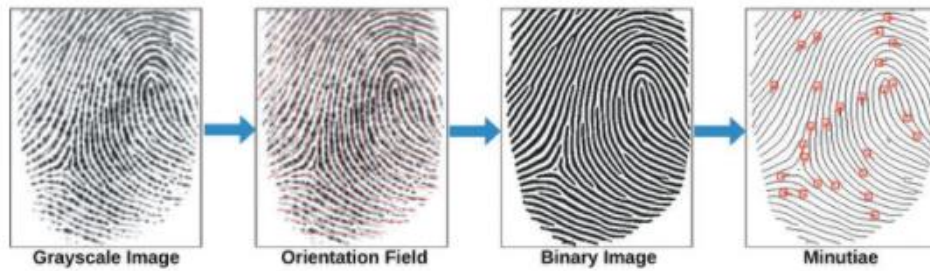
Glavni razlozi popularnosti biometrijske metode otiska prsta su:

- Svaki otisak prsta jedinstven je za svaku osobu, ne postoje dvije različite osobe na svijetu sa istim otiskom prsta.
- Otisak prsta pojedinca od rođenja do smrti ostaje isti.
- Stopa uspješne primjene u područjima forenzike, uprave i svakodnevnog života.
- Zločinci često ostavljaju otiske prstiju na mjestima zločina.
- Kompaktnost modernih uređaja za očitavanje otisaka prstiju.

*Minutia* značajke imaju ključnu ulogu u prepoznavanju otiska prsta. Prikaz procesa običnog uzorkovanja *minutia* značajke (Slika 3.2.).

Detalji otiska prsta definiraju se kao:

- greben završetak – točka završetka grebena.
- bifurkacija – točka grananja jednog na dva grebena.
- kratki greben – greben znatno kraće prosječne dužine sljemena na otisku prsta [3].



Slika 3.2. Dobivanje *minutia* značajke (preuzeto s [www.computer.org](http://www.computer.org))



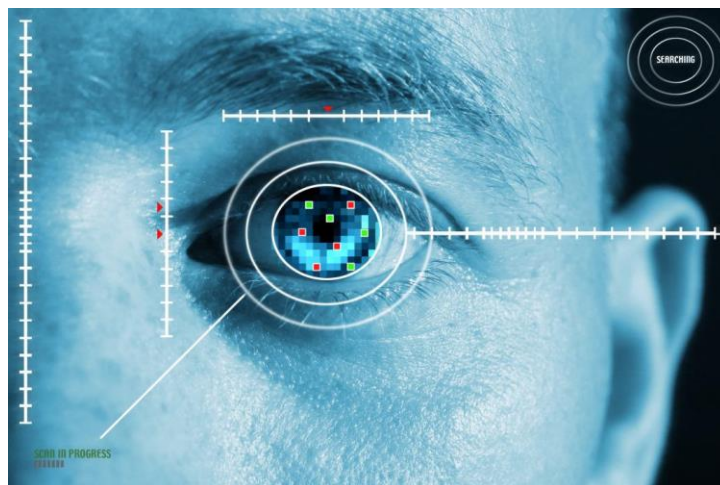
Slika. 3.3. Prijenosni uređaj za skeniranje otiska prsta (preuzeto s [www.amazon.com](http://www.amazon.com))

### 3.1.3. Šarenica oka

Šarenica oka je jedna od najvrjednijih i najpouzdanijih karakteristika korištenih za automatsko prepoznavanje osobe. Glavni razlozi tomu su što je šarenica zaštićen unutarnji organ oka koji je vidljiv izvana te je prstenaste strukture i plosnatog oblika koji se lako okreće i što šarenica ima i bogatu teksturu koja je većim dijelom fenotip s ograničenim utjecajem genetike [11].

Za skeniranje šarenice dovoljna je obična kamera i dolazak na udaljenost do pola metra od kamere. To je dovoljno da se u nekoliko sekundi pretraži baza podataka. Takav sustav ima

protumjere poduzete kako se ne bi mogao prevariti upotrebom leća, staklenog oka ili oka odstranjenog s mrtve osobe. Kako bi se detektirala leća koriste se algoritmi za detekciju leće, a kod slučaja sa staklenim ili odstranjenim okom dovoljna je detekcija širenja, odnosno kontrakcije zjenice pri obasjavanju oka [3].



Slika 3.4. Identifikacija osobe skeniranjem šarenice (preuzeto s [www.computerworld.com](http://www.computerworld.com))



Slika 3.5. Prijenosni uređaj za skeniranje šarenice (preuzeto s [www.mantratec.com](http://www.mantratec.com))



### 3.1.4. Prepoznavanje rukopisa

Rukopis svake osobe je jedinstven, on je neka vrsta „otiska prsta“. Načini korištenja rukopisa za identifikaciju osobe su mjerenje brzine, kuta i pritiska koje koristi osoba za vrijeme pisanja nekog teksta ili dok se potpisuje.

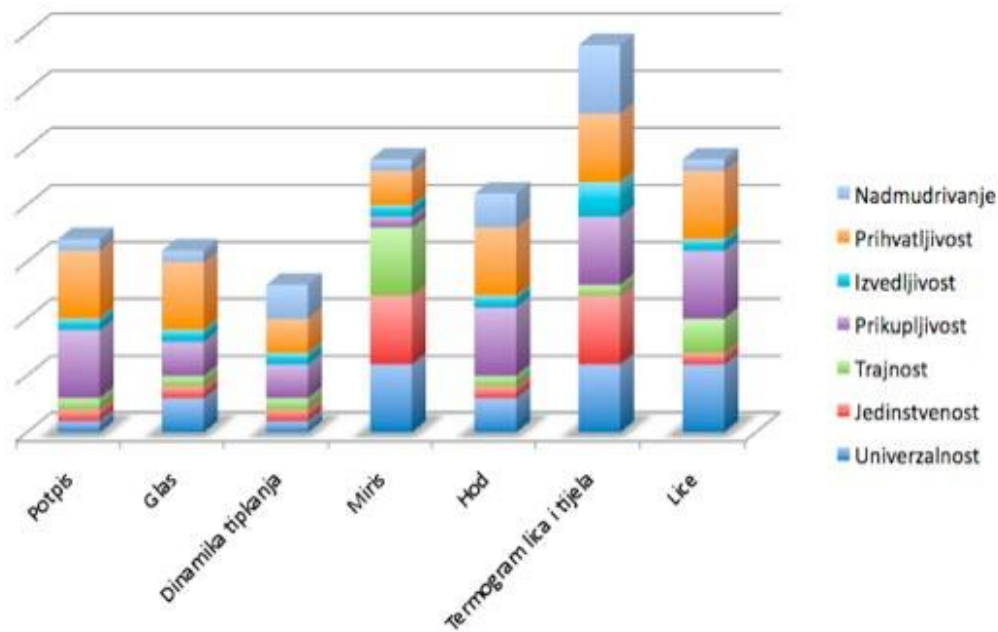
Osim individualnih obilježja rukopisa (brzina, kut i pritisak) koriste se i opća obilježja (slika 3.6.) kako bi se olakšala identifikacija. Neka od općih obilježja su stupanj ispisanosti, odnos prema liniji pisanja, ukrašavanje rukopisa, raspored i veličina teksta te ostalo tome slično [3].



Slika 3.6. Opća obilježja rukopisa [3]

## 3.2. Metode ponašanja

Biometrijske metode ponašanja nisu pouzdane kao kontaktne, ali su primjenjive u širokom spektru slučajeva. Činjenica da su metode ponašanja primjenjive u velikom broju slučajeva, uvelike pogoduje današnjem obliku arhitekture klijent/poslužitelj. Mnogi današnji sustavi zaštite osobnih podataka i privatnosti korisnika te sustavi poslovanja usmjereni su na takvu arhitekturu. Dakle, javlja se potreba za korištenjem sustava koji će znati prepoznati korisnika, registrirati, identificirati ili autentificirati ga te koji neće zahtijevati poseban kontakt korisnika s čitačem. Primjena biometrijskih metoda ponašanja uz vrijednosti u stvarnosti prikazana je grafom 3.2.



Graf 3.2. Primjena biometrijskih metoda ponašanja [3]

### 3.2.1. Lice

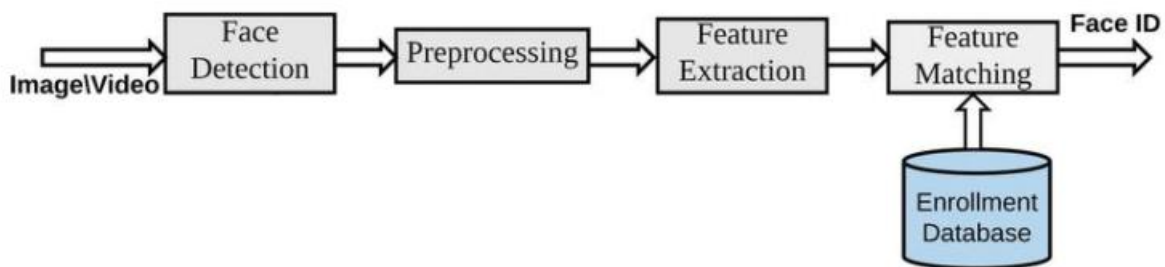
Prepoznavanje lica (slika 3.8.) je jedno od najvažnijih sposobnosti koje svakodnevno koristimo. Prepoznavanje lica aktivno se istražuje već 40-ak godina, a prvi automatizirani sustav prepoznavanja lica razvio je Takeo Kanade 1973. godine. Povećani interes za razvoj prepoznavanja lica potaknut je zadovoljavajućim uspjesima raznih mobilnih aplikacija i programa koji koriste i obavljaju radnje na registriranom licu korisnika [12].

Biometrijska metoda prepoznavanja lica, osim što je prirodna i nenametljiva, ima i drugih prednosti nad biometrijskim metodama poput otiska prsta i šarenice.

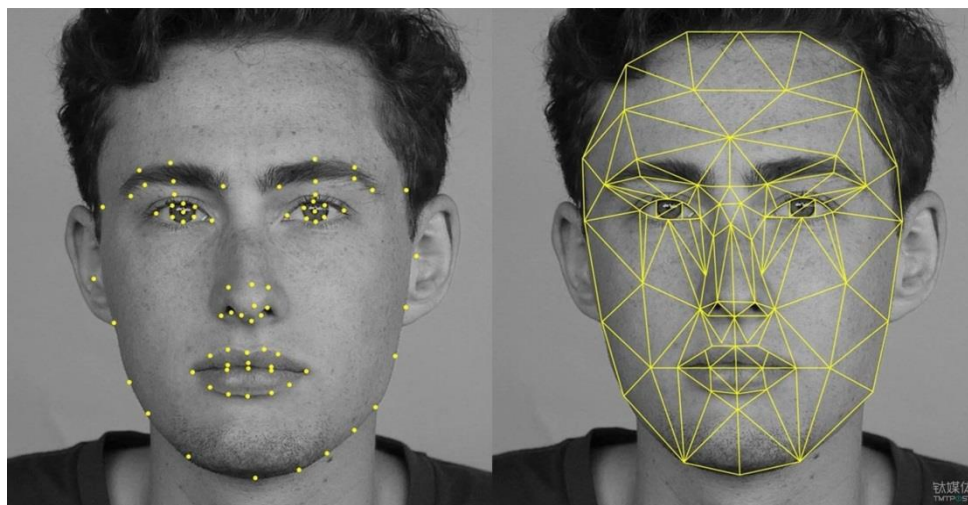
Neke od prednosti biometrijske metode prepoznavanja lica:

- Najveća prednost je to što se lice osobe može registrirati s velike udaljenosti i u tajnosti, neprimjetno.
- Uz identitet, obradom lica moguće je registrirati emocije i raznih izraze pojedinca (tuga, čuđenje, strah, ljutnja i sl.). Moguće je odrediti spol i dob pojedinca.
- Velike baze sa slikama lica već postoje i koriste se pri stvaranju osobnih iskaznica, vozačkih dozvola i sl.
- Ljudi su otvoreniji prema ideji slanja svojih lica na „izlog“ za širu javnost i dozvoljavaju obradu svojih lica na društvenim mrežama (označavanje na slikama, skeniranje lica, korištenje filtera, itd.)

Sustav prepoznavanja lica općenito se sastoji od četiri dijela. Prvi dio je detekcija lica (engl. *Face detection*) nakon čega slijede predobrada (engl. *Preprocessing*) i uzimanje karakteristika (engl. *Feature extraction*). Zatim slijedi pretraga baze podataka u kojoj se nalaze ranije registrirane osobe kako bi se provjerilo nalaze li se dobavljeni podaci lica u bazi podataka ili ne. Shema postupka prikazana je na slici 3.7.



Slika 3.7. Shema procesa prepoznavanja lica (preuzeto s [www.intechopen.com](http://www.intechopen.com))



Slika 3.8. Prepoznavanje lica (preuzeto s [www.rapidapi.com](http://www.rapidapi.com))

### 3.2.2. Prepoznavanje i provjera glasa

Govor ili glas je jedna od karakteristika ponašanja koja se koristi u biometričkim sustavima prepoznavanja osoba. Biometrijskom metodom prepoznavanja i reakcijom na glas danas se koriste svi pametni telefon koristeći razne verzije programa koji im to omogućuju (Siri (slika 3.9.), Google assistant i sl.). Kod biometričkih sustava koji obrađuju glas i govor osobe, u svrhu kasnijeg raspoznavanja registriranog glasa, podaci se spremaju u bazu podataka kao i informacije prikupljene analizom slike lica, otiska prsta ili bilo koje druge karakteristike korištene u biometričkim sustavima prepoznavanja. Tako se stvara i baza podataka na osnovu određenih informacija prikupljenih iz govora i glasa osobe. Neke od karakteristika koje se obrađuju su stil govora i boja glasa jer su jedinstvene i prepoznatljive za svaku osobu. Prepoznavanje glasa moglo bi se svrstati i u fiziološku kategoriju biometrijskih metoda jer se ponašanje glasa svake osobe dobiva kao rezultat oblika glasovnih kanala.

Neke od prednosti korištenja prepoznavanja govora su:

- nenametljivost
- lakoća i jednostavnost uzimanja uzoraka
- jeftina tehnologija za raspoznavanje.

Problemi u korištenju prepoznavanja govora nastaju jer je proces snimanja glasa ili govora osjetljiv na:

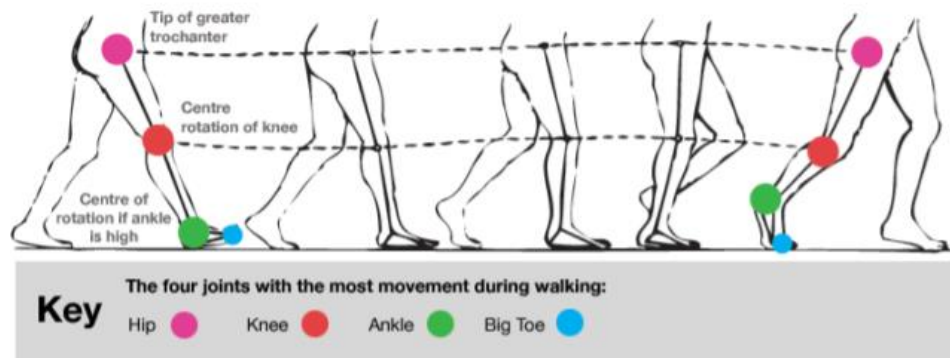
- pozadinsku buku
- akustiku prostorije
- preklapanje govora
- promjenu boje glasa i načina govora zbog upale grla i sličnih bolesti.



Slika 3.9. Siri (preuzeto s [www.cultofmac.com](http://www.cultofmac.com))

### 3.2.3. Prepoznavanje hoda

Prema [14] ljudski hod je niz ravnomjernih i naizmjeničnih koordiniranih pokreta udova i trupa s ciljem premještanja s jednog mjesta na drugo u prostoru. Također se može definirati i kao ritmično pokretanje nogu s ciljem davanja potpore i pogona u svrhu lokomocije. On nije jedinstven za svaku osobu i mijenja se tijekom života. Unatoč tome, hod se kao karakteristika ističe kod detektiranja osoba ovisno o njihovom karakteru, zdravstvenom stanju pa čak i situaciji u kojoj se nalaze. Uzorak hoda može se dobiti iz video zapisa načinjenog bilo kakvom video kamerom. Hod se provjerava analizom načina gibanja svakog zgloba za vrijeme obavljanja određene radnje. Ciklus hoda prikazan je slikom 3.10.



Slika 3.10. Ciklus hoda [14]

## 4. IDENTIFIKACIJA OSOBA PUTEM ZNAČAJKI DLANA

### 4.1. Građa dlana

Dlan je unutarnji dio šake od zgloba šake do vršaka prstiju. Površina dlana je puno veća od površine na vršcima prstiju, ali tip kože je isti.

Građa dlana sastoji se od:

- 1) **Glavne linije** - svaka osoba ima 4 glavne linije koje nastaju na isti način, ali se usprkos tome razlikuju od osobe do osobe. Neki od razloga za to su različiti načini hvatanja/uzimanja stvari te različita veličina prstiju i debljina dlana. Razlikuju se i načini savijanja svake šake što također oblikuje te četiri glavne linije.
- 2) **Nabori** - nastaju po cijelom tijelu i koži pružaju određenu rastezljivost. Paralelno s gubitkom elastičnosti kože nabori postaju sve uočljiviji. Neki su nabori urođeni dok su neki nabori većinom nastali zbog načina kretanja osobe, npr. način hvatanja stvari.
- 3) **Grebeni** - trajna zadebljanja na epidermu (vanjskom ćelijskom dijelu kože). Uzdižu se iznad normalne razine kože i nalaze se samo na dlanovima i stopalima. Rasprostranjenost im ovisi o područjima koja su pod naporom uzrokovanim nošenjem velike težine ili hvatanja [7].

### 4.2. Značajke dlana

Značajke dlana su glavne linije, nabori, grebeni, singularne točke i detaljne točke. Velik broj karakteristika dlana možemo koristiti za identifikaciju osoba. Identifikacija osobe pomoću dlana je metoda koja identificira osobu po njezinim jedinstvenim značajkama dlana koje mogu, ali i ne moraju, biti vidljive golim okom. To se postiže upotrebom algoritama koji razlučuju razlike među dvama osobama prema značajkama dlana.

Značajke dlana možemo prikupiti uzimanjem otisaka dlana. Otisak je utisak na nekoj površini pritiskom. Otisak dlana čini obrazac kože na dlanu sastavljen od svojih jedinstvenih karakteristika kao što su linije, točke i tekstura. Zbog znojenja, otisci dlanova ostaju na raznim površinama objekata. Što su dlanovi suši to su otisci manje vidljivi.

Otisak dlana moguće je prikazati sa i bez tinte. Četiri značajke je moguće preuzeti iz oba načina prikaza, a dvije je moguće preuzeti samo s otiska dobivenog korištenjem tinte.

Te značajke su:

- 1) **Geometrijske značajke** - ovisno o obliku dlana moguće je izlučiti neke značajke kao što su dužina, širina i debljina.
- 2) **Značajke glavnih linija** - forma i lokacija glavnih linija dlana važne su značajke kod identifikacije jer se jako malo mijenjaju tijekom godina.
- 3) **Značajke nabora** - dlan ima mnoštvo nabora koji se razlikuju od glavnih linija po tome što su tanji i neregularni. Hrapavi i glatki nabori se razlikuju tako da ima više detalja za usporedbu.
- 4) **Krajnje točke** - dvije krajnje točke dobivaju se pomoću glavnih linija. One pružaju dobar način za registraciju dlana, nalaze se na krajevima obje strane dlana. Pomoću euklidijske dužine moguće je izmjeriti veličinu dlana.
- 5) **Značajke delta točaka** - delta točke su središnje točke koje se nalaze u području korijena prsta. One pružaju jedinstvenu mjeru za identifikaciju dlana.



- 6) **Detaljne točke** - to što se dlan sastoji od grebena dozvoljava korištenje detaljne točke kao značajke u usporedbi dlanova [7].

### **4.3. Prednosti korištenja otiska dlana za identifikaciju osoba**

Korištenje otiska dlana kao identifikatora osoba je u prednosti nad ostalim biometrijskim tehnologijama određivanja osoba jer:

- 1) U usporedbi sa otiskom prsta, dlan ima veću površinu te samim time ima i više značajki korisnih za identifikaciju osoba.
- 2) Uz to što se linije dlana tijekom života gotovo ne mijenjaju te su zbog toga sigurne kao značajke koje definiraju osobu, veća je mogućnost da će osoba oštetiti jagodicu prsta nego cijeli dlan do razine neprepoznatljivosti.
- 3) Ovisno o vrsti upotrebe, kod skeniranja dlana koriste se slike s visokom (400 i više DPI) ili niskom (150 i manje DPI) rezolucijom. Za otisak prsta uvijek koriste slike visoke rezolucije (500 DPI ili više). Znači da će datoteke dlana zauzimati manje prostora od datoteka otiska prsta.
- 4) Zbog korištenja niže rezolucije, na identifikaciju otiskom dlana, neće utjecati male količine prljavštine ili masti na koži pojedinca dok će kod otiska prsta to predstavljati problem.
- 5) Budući da je rezolucija potrebna za izlučivanje značajki dlana niska, koristi se i senzor s manjom rezolucijom u odnosu na značajke prsta. Time se štedi na vremenu jer su računanja kod predprocesiranja i izlučivanja značajki puno brža.
- 6) U usporedbi sa tehnologijom 3D geometrije šake, dlan ima mnogo više jedinstvenih značajki pogodnih za korištenje u identifikaciji. Iz tog razloga daje bolje rezultate [6].

## **4.4. Primjeri radova**

### **4.4.1. Jain, Ross i Pakatij**

Jain, Ross i Pakatij 1999. godine napravili su prvi nekomercionalni sustav za verifikaciju osoba koji koristi biometrijsku metodu geometrije dlana. Baza podataka sadržavala je 500 slika, 10 slika za svaku od 50 osoba (140 slika su morali odbaciti zbog nepravilnog postavljanja ruke na skener). Koristili su valjke na površini skenera kako bi postavili ruku pojedinca u željeni položaj i odredili 16 osi prema kojima će vršiti potrebna mjerenja. Slike ruku su bile isključivo u grayscale obliku (nijanse sive boje) [9].

„Iz dobrog skupa uzoraka izlučivali su mjere prema tim osima i njih spremali u jedan vektor, a zatim uspoređivanje dvaju vektora vršili s četiri mjere: apsolutnom razlikom (udaljenošću), ponderiranom apsolutnom razlikom, euklidskom udaljenošću i ponderiranom euklidskom udaljenošću. Svaka od tih vrijednosti imala je posebno definiranu granicu prihvatljivosti, odnosno dopuštene razlike. Na temelju toga je razvijen sustav koji je dao sljedeće rezultate: stupanj pogrešnog prihvaćanja (FAR) bio je 2%, a stupanj pogrešnog odbijanja (FRR) čak 15%“ [13].

### **4.4.2 Jain i Duta**

Jain i Duta 1999. godine su napravili sustav koji je identificirao osobe na temelju poravnanja konture prstiju i mjerenju prosječne greške kod poravnanja između uzoraka iste osobe. Za bazu podataka uzete su 353 slike od 53 osobe. To je bio prvi javno dostupan sustav verifikacije temeljen isključivo na obliku ruke. Sustav je bio bolji od ranije razvijenog sustava (točka 4.4.1.). Iako je stupanj pogrešnog prihvaćanja bio 2% (kao u prethodnom sustavu), stupanj pogrešnog odbijanja bio je 3.5% [13].

### **4.4.3. Wong i Shi**

Wong i Shi prvi su napravili sustav koji ne zahtjeva fizički kontakt dlana i uređaja za izuzimanje slike. Zbog smanjenog kontakta korisnika i uređaja, izuzimanje slike dlana je postalo jednostavnije i prihvatljivije korisnicima. Sustav se temeljio na mjerenju duljine i širine prstiju te duljine i lokacije njihovih vrhova, a koristio je bazu podataka koja je sadržavala 323 slike. Svaka slika se prije obrade normalizirala tako što se rotirala u potreban položaj nakon pronalaska ključnih točaka za obradu. Zato su korisnici imali slobodu postavljanja ruke u bilo koji položaj. Wong i Shan

su koristili neuronske mreže i Gaussian mixture model te dosegli rezultate od 86% dobrog prihvaćanja i 2% pogrešnog prihvaćanja [13].



Slika 4.1. Uređaj za skeniranje ruke, Schlage HandPunch 3000 (preuzeto s [www.time-masters.com](http://www.time-masters.com))



Slika 4.2. Položaj ruke na skeneru s valjcima (preuzeto s [www.m2sys.com](http://www.m2sys.com))

## **5. PROGRAM ZA IDENTIFIKACIJU OSOBE POMOĆU ZNAČAJKI DLANA**

Postupak izrade sustava za autentikaciju biti će prikazan uz pomoć već napravljenog sustava iz izvora [13]. Razlog korištenja konkretnog primjera je postojanje mnogih načina korištenja istih elemenata i značajki dlana na različite načine i s različitim rezultatima. Tako se s konkretnim primjerom izbjegavaju moguća miješanja raznih metoda obrade slike, dohvaćanja i korištenja glavnih točaka dlana i slično.

Sustav koji je napravio Tomislav Fotak sastoji se redom od:

- izuzimanja slike dlana pomoću skenera
- njezinog predprocesiranja s ciljem dobivanja konture dlana
- izlučivanja specifičnih točaka geometrije dlana
- izrade razapinjućeg stabla dobivenih točaka
- uspoređivanja novih stabala točaka sa onima u napravljenoj bazi podataka.

### **5.1. Izuzimanje slike dlana**

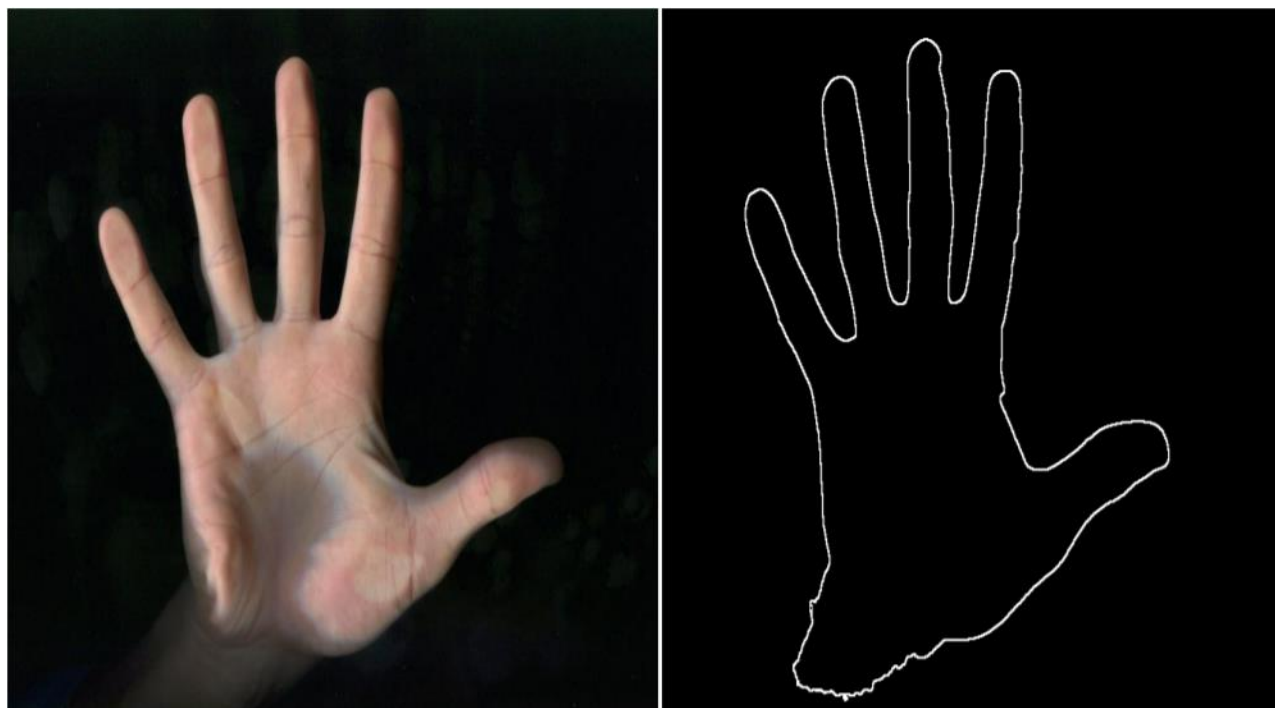
Općenito se za izuzimanje slike dlana koriste skeneri ili digitalni aparati s rezolucijama koje variraju ovisno o potrebnoj rezoluciji slike da bi sustav mogao raditi.

Budući da je Fotakov sustav temeljen na geometriji dlana, dovoljna je rezolucija od 842 x 612 piksela. Kako bi dobio potrebne slike Fotak je koristio klasični CCD skener, Epson Perfection V30. Za izuzimanje slika koristio je ograničenje za držanje ruke, odnosno, sudionici su morali držati srednji prst u uspravnom položaju u odnosu na donji desni dio palčane uzvisine. Ograničenje je postavljeno zbog daljnje obrade uzorka. Svaka osoba je morala dati 4 slike istog dlana, prosječna brzina izuzimanja je bila 6 sekundi po uzorku. Svi uzorci su veličine 842 x 617 piksela.

### **5.2. Predprocesiranje slike**

Nakon izuzimanja slike skenerom ili digitalnim aparatom potrebno je istu sliku digitalno obraditi kako bi se dobila potrebna kontura dlana za uporabu kod daljnje obrade.

Fotak je iz izuzete slike odbacio sve boje te ju konvertirao u nijanse sive boje (grayscale) kako bi u idućem koraku mogao izvršiti *thresholding* s vrijednošću 35. Tim postupkom je dobio binarnu sliku koju je u nastavku jednostavnije obrađivati. Zatim je primjenom Medijan filtera otklonio sve male dijelove izvan područja dlana koji imaju istu boju kao dlan. Na kraju primjenom Sobelovog Edge Detector filtra dobivena je kontura dlana. Prikaz slike dlana prije i nakon obrade je na slikama 5.1.



Slika 5.1. a) Slika dlana izuzeta sa skenera i b) Digitalno obrađena slika – normalizirana [13]

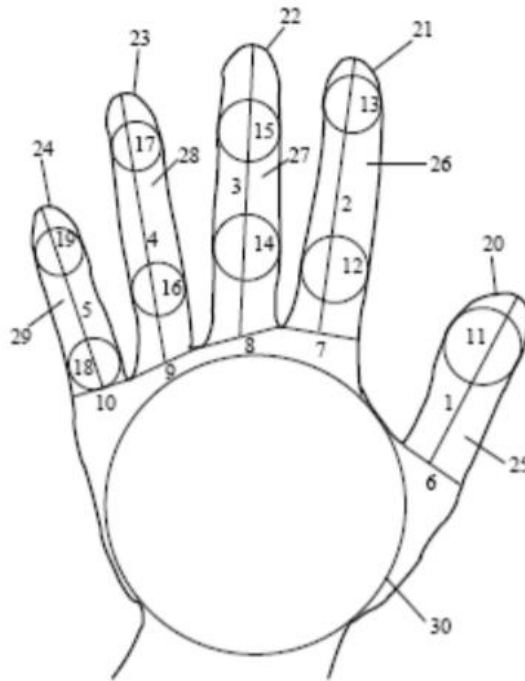
### 5.3. Korištenje geometrije dlana

Uređaji za očitavanje geometrije dlana danas su pristupačni zbog jednostavnije proizvodnje uzrokovane manjim troškovima i većim mogućnostima današnje tehnologije. Zbog razvoja tehnologije, sustavi danas mogu istovremeno gledati na 16 do 30 mjera dlana. Tih 30 mjera 2004. godine definirali su Bulatov, Jambawalikar, Kumar i Sethia. Prikazane su na slikama (5.2.) i (5.3.) .

U primjeru Fotak se ne koristi tim karakteristikama, nego obradom slike dolazi do karakterističnih točaka koje se razlikuju kod svakog dlana.

- |  |  |
|--|--|
| 1. Duljina palca                           | 16. Polumjer donjeg dijela prstenjaka                              |
| 2. Duljina kažiprsta                       | 17. Polumjer gornjeg dijela prstenjaka                             |
| 3. Duljina srednjeg prsta                  | 18. Polumjer donjeg dijela malog prsta                             |
| 4. Duljina prstenjaka                      | 19. Polumjer gornjeg dijela malog prsta                            |
| 5. Duljina malog prsta                     | 20. Opseg palca  |
| 6. Širina palca                            | 21. Opseg kažiprsta  |
| 7. Širina kažiprsta                        | 22. Opseg srednjeg prsta   |
| 8. Širina srednjeg prsta                   | 23. Opseg prstenjaka   |
| 9. Širina prstenjaka                       | 24. Opseg malog prsta  |
| 10. Širina malog prsta                     | 25. Površina palca   |
| 11. Polumjer gornjeg dijela palca          | 26. Površina kažiprsta   |
| 12. Polumjer donjeg dijela kažiprsta       | 27. Površina srednjeg prsta  |
| 13. Polumjer gornjeg dijela kažiprsta      | 28. Površina prstenjaka  |
| 14. Polumjer donjeg dijela srednjeg prsta  | 29. Površina malog prsta   |
| 15. Polumjer gornjeg dijela srednjeg prsta | 30. Polumjer najveće upisane kružnice (površina dlana bez prstiju) |

Slika 5.2. Popis promatranih mjera u analizi geometrije dlana [13]



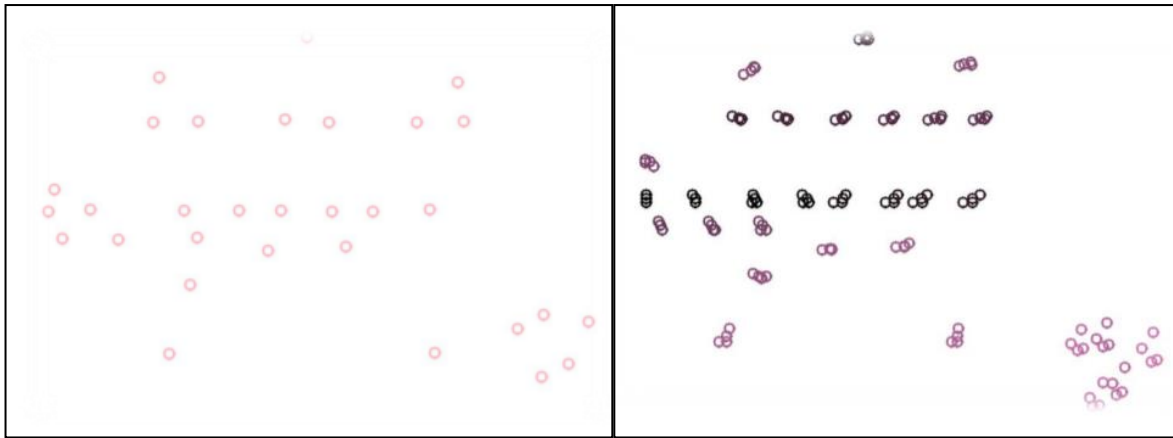
Slika 5.3. Prikaz promatranih mjera u analizi geometrije dlana [13]

#### 5.4. Primjena minimalno razapinjućih stabala u sustavu

Ovaj korak je specifičan za Fotakov rad. Primjenjuje se teorija grafova jer se metoda verifikacije temelji na iznosu težine MST-a grafa i promjeni te težine. Dio teorije grafova potreban za ovakav način verifikacije detaljnije je obrađen u izvoru [14].

Za svaku od pozicija geometrije ruke potrebno je odrediti jedno MST. U primjeru ima 31 takva pozicija što znači da se radi s 31 grafom. Svaki graf ima točno 4 vrha jer je za unos nove geometrije u bazu podataka potrebno imati 4 primjerka skenirane ruke pojedinca. Dakle, nakon što se odrede točke jednog primjerka, sa svakim idućim primjerkom svakom se grafu dodaje po jedan vrh. Usporedba izgleda rasporeda grafova nakon prvog i nakon posljednjeg skeniranja istog dlana prikazana je slikom 5.4.

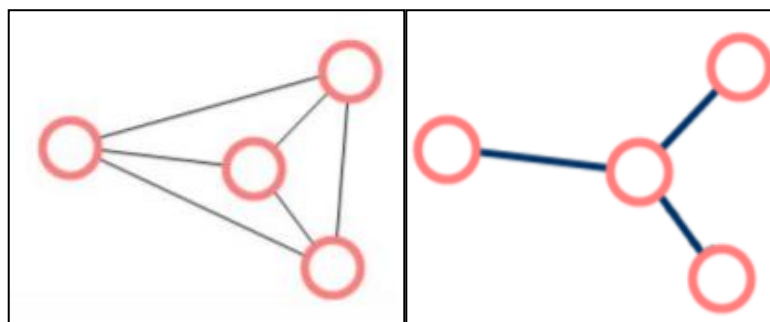




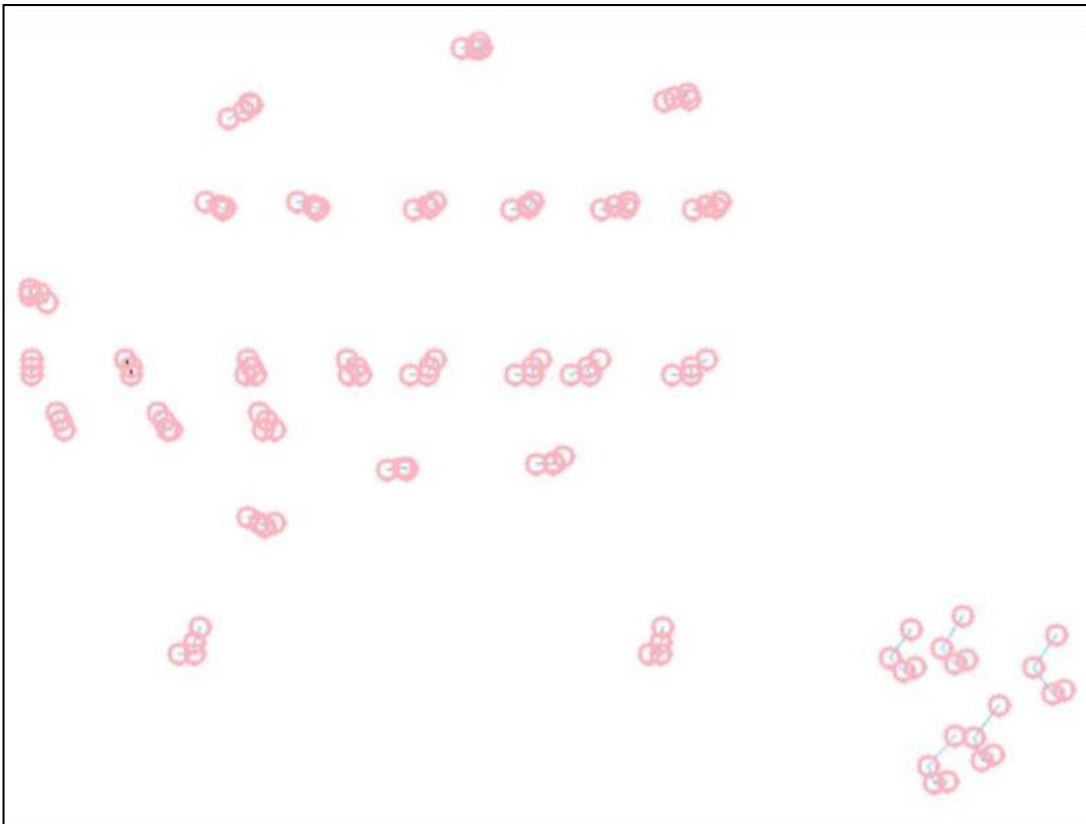
Slika 5.4. Pozicija vrhova MST-a kod a) prvog skeniranja, b) nakon 4 skeniranja [13]

U nastavku rada Fotak stvara potpune grafove definiranjem svih bridova nad svakim grafom. Nakon toga se nastavlja obradom dobivenih potpunih grafova, određuje se broj, a zatim i težina bridova potpunog grafa. Na kraju se primjenom Pimovog algoritma odredi MST.

Primjer potpunog grafa vrhova jedne karakteristične točke i iz njega određenog MST-a vrhova jedne karakteristične točke prikazan je na slici 5.5. Primjer konačne geometrije dlana dobivene opisanom postupkom obrade točaka prikazan je slikom 5.6.



Slika 5.5. a) Potpuni graf b)MST [13]



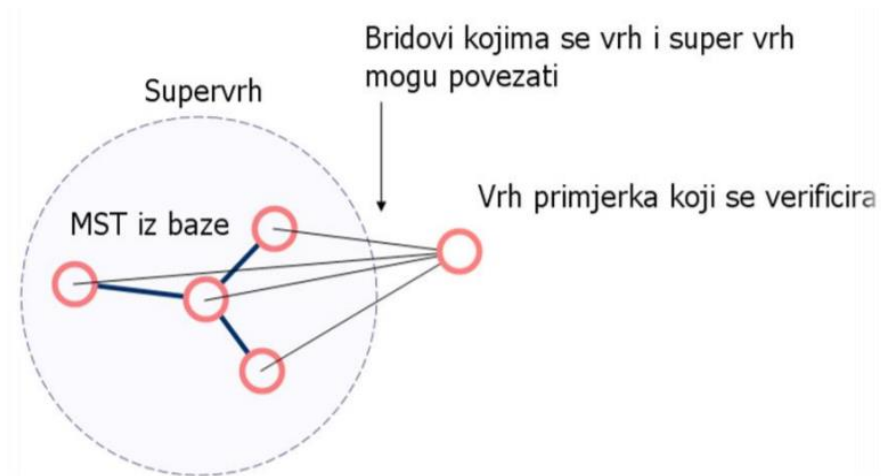
Slika 5.6. Geometrija dlana dobivena korištenjem MST [13]

## 5.5. Testiranje sustava

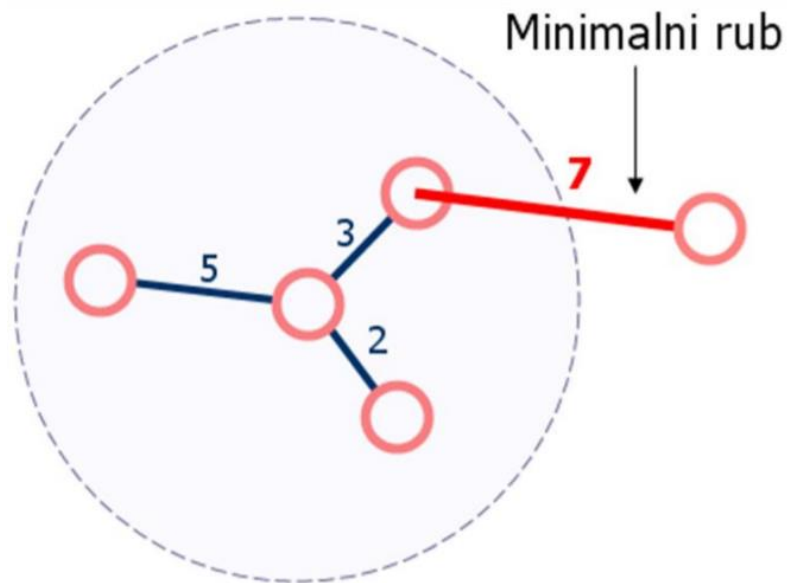
U svakom sustavu za identifikaciju osobe potrebno je testiranjem sustava pronaći moguće greške u sustavu ili jednostavno podesiti neke dijelove sustava kako bi imao što veću točnost. Sustavi se testiraju tako što se nove informacije uspoređuju s ranije spremljenim informacijama u bazi podataka sustava. Testiranjem sustava određuju se FAR, FRR i FER, zajedno s brzinom sustava, oni su najčešći pokazatelji kvalitete biometrijskog sustava. To su redom stupanj pogrešnog prihvaćanja (FAR), stupanj pogrešnog odbijanja (FRR) i nešto manje korišten stupanj pogrešnog izuzimanja (FER).

Fotak svoj sustav testira tako što svaki novi vrh uspoređuje sa supervrhom iz baze podataka. Novi vrh povezuje se na supervrh (slika 5.7.) te se računa težina minimalnog ruba (slika 5.8.) nakon čega se provjerava zadovoljava li težina minimalnog ruba postavljeni uvjet. Mogući način

određivanja uvjeta je da težina minimalnog ruba mora biti manja od težine MST-a. Stroža verzija uvjeta bi bila da težina minimalnog ruba mora biti manja od polovice MST-a.



Slika 5.7. Povezivanje novog vrha na supervrh iz baze podataka [13]



Slika 5.8. Usporedba novog vrha sa supervrhom iz baze podataka [13]

Nakon završenog testiranja i prepravljanja sustava dobiju se rezultati koji prikazuju konačna obilježja sustava ili obilježja optimalnog oblika sustava u tom trenutku. Svaki sustav se može testirati i optimizirati koliko god je to potrebno ili dokle god se njegove specifikacije prema nekim standardima ne smatraju prihvatljivima. Na slici 5.9. je prikazana tablica sa rezultatima testiranja Fotakovog sustava.

Broj testova	FAR	FRR	FER
< 40	2,5 %	10 %	7,5 %
40 – 80	1,666 %	7,825 %	8,75 %
> 80	1,219 %	7,775 %	8,25 %

Slika 5.9. Tablica rezultata testiranja Fotakovog sustava [13]

## 6. ZAKLJUČAK

Završni rad opisuje znanost biometrije i neke poznate metode kojima se ona koristi. Nadalje, rad navodi karakteristike, načine izvođenja i korištenja istih te određene prednosti koje posjeduju biometrijski sustavi identifikacije osoba koji koriste obrise dlana i ostale metode vezane uz ljudski dlan i prste. U zadnjem dijelu rada prikazan je postupak izrade biometrijskog sustava identifikacije osobe korištenjem metode geometrije dlana.

U završnom radu vidljivo je da ni jedna biometrijska metoda nije savršena. Unatoč tome, svaka biometrijska metoda nastala je s razlogom i korisna je u različitim mjerama u različite svrhe. Također se može zaključiti da nije moguće napraviti biometrijski sustav koji će imati stopostotnu točnost u obavljanju svog zadatka. No, moguće je iskoristiti testiranja kako bi se postigla ne potpuna, ali zadovoljavajuća preciznost, odnosno točnost sustava.

Danas je svijet pretrpan raznim načinima korištenja biometrije i biometrijskih metoda identifikacije. Biometrija se koristi u raznim dijelovima naših života. Koristi se u sigurnosnim sustavima koji mogu imati zadatke velike važnosti poput prepoznavanja prava pristupa bazama podataka, zgradama neke tvrtke, vlade i sl. Koristi se u medijima, na društvenim mrežama, u forenzici itd. Bitno je imati barem površno znanje o načinima rada s biometrijskim metodama. Potrebno je shvatiti da svakodnevne nesvjesne radnje poput dopuštanja skeniranja našeg lica kako bismo mogli isprobati novi filter ili dopuštanja stavljanja oznake na svom licu na nekoj fotografiji nisu bez posljedica. Ovakvo korištenje biometrije nije privremeno jer će biometrija napredovati zajedno sa tehnologijom.

## **OBJAŠNJENJE KRATICA KORIŠTENIH U RADU**

**CCD (Charge – coupled device)** – svjetlosni uređaj za spremanje i prikaz slikovnih podataka tako što je svaki slikovni element (piksel) pretvoren u električni napon jačine koja odgovara boji u spektru boja.

**FAR (False Acceptance Rate)** - Vjerojatnost da sustav prilikom uspoređivanja uzoraka pogrešan uzorak proglasi točnim. Ova mjera opisuje postotak nepravilnog podudaranja. Odnosno, mjera govori kolika je vjerojatnost identificiranja neovlaštenog korisnika kao ovlaštenog.

**FRR (False Rejection Rate)** - Vjerojatnost da sustav prilikom usporedbe uzoraka dobar uzorak proglasi pogrešnim. Mjera opisuje postotak nepravilnog odbijanja. Odnosno, vjerojatnost da će ovlašteni korisnik biti odbijen kao neovlašten.

**FER (Failure To Enroll Rate)** - Postotak ulaznih podataka u sustav koji se nisu mogli registrirati i pohraniti. Postotak je veći što je kvaliteta uzetog uzorka manja.

**MST (Minimum Spanning Tree)** – minimalno razapinjuće stablo. U teoriji grafova je to povezan jednostavan graf čija je suma težina bridova jednaka i ne sadrži niti jedan ciklus.

## LITERATURA

[1] Ž., Radmilović, Biometrijska identifikacija, stručni članak, 2008.,

Dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/file/117825>

(rujan 2020.)

[2] M., Dimić, Biometrijski sustavi identifikacije, završni rad, 2016.,

Dostupno na: <https://repositorij.ffos.hr/islandora/object/ffos:2344/preview>

(rujan 2020.)

[3] D., Jakupec, Usporedba digitalnog i digitaliziranog potpisa, diplomski rad, , 2015., Tehničko veleučilište u Zagrebu, Zagreb

Dostupno na:

[https://www.bib.irb.hr/897427/download/897427.Diplomski\\_Dubravka\\_Jakupec\\_v2.docx](https://www.bib.irb.hr/897427/download/897427.Diplomski_Dubravka_Jakupec_v2.docx)

(rujan 2020.)

[4] I., Fratrić, Biometrijska verifikacija osoba temeljena na značajkama dlana i lica dobivenim iz video sekvenci, doktorski rad, 2011., Dostupno na:

<https://www.bib.irb.hr/511729/download/511729.rad.pdf>

(rujan 2020.)

[5] Carnet, Biometrija, Carnet Cert u suradnji s LS&S, 2006.,

Dostupno na:

<https://www.cis.hr/www.edicija/LinkedDocuments/CCERT-PUBDOC-2006-11-167.pdf>

(rujan 2020.)

[6] I., Vasiljević, Biometrija, seminar, 2007.,

Dostupno na: [http://spvp.zesoi.fer.hr/seminari/2007/seminari/IgorVasiljevic\\_Biometrija.pdf](http://spvp.zesoi.fer.hr/seminari/2007/seminari/IgorVasiljevic_Biometrija.pdf)

(rujan 2020.)

[7] M., Maraš, Korištenje biometrijskih značajki dlana za identifikaciju osoba, diplomski rad, 2018., Dostupno na:

<https://repository.inf.uniri.hr/islandora/object/infri%3A192/datastream/PDF/view>

(rujan 2020.)

[8] A. K., Jain, A. A., Ross, K., Nandakumar, Introduction to Biometrics. Springer; 2011. 312 p.

DOI: 10.1007/978-0-387-773261

Dostupno na:

[scholar.google.com](https://scholar.google.com)

(rujan 2020.)

[9]Wikipedija, DNK, Dostupno na:

[https://hr.wikipedia.org/wiki/Deoksiribonukleinska\\_kiselina](https://hr.wikipedia.org/wiki/Deoksiribonukleinska_kiselina)

(rujan 2020.)

[10] Berry JS, David A. The history and development of fingerprinting. In: Lee HC, Ramotowski R,

Gaensslen RE, editors. Advances in fingerprint Technology. 2nd ed. CRC press; 2001:13-52. DOI:

10.1201/9781420041347.ch1

Dostupno na:

[scholar.google.com](https://scholar.google.com)

(rujan 2020.)

[11] Wikipedija, šarenica, Dostupno na:

<https://bs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0arenica>

(rujan 2020.)

[12] Takeo K. Picture Processing by Computer Complex and Recognition of Human Faces [Thesis].

Kyoto, Japan: Dept. of Science, Kyoto University; 1974. 143 p . DOI: 10.14989/doctor.k1486

Dostupno na:

[scholar.google.com](https://scholar.google.com)

(rujan 2020.)



[13] T., Fotak, Autentikacija osobe primjenom minimalno razapinjućih stabala na dvodimenzionalnu sliku dlana, 2009.

Dostupno na: <https://apps.unizg.hr/rektorova-nagrada/javno/stari-radovi/377/preuzmi>

(rujan 2020.)

[14] P., dr. med. Miklić, Normalan hod i analiza hoda, 2017

Link: <https://hdfm.org/wp-content/uploads/2017/10/normalan-hod.pdf>

(rujan 2020.)

## SAŽETAK

Rad opisuje znanost biometrije i biometrijske metode za identifikaciju osoba. Drugi dio rada se posebno fokusira na karakteristike, dohvaćanje karakteristika i opće korištenje identifikacije osoba putem značajki dlana i prstiju. Za bolju predodžbu postupka stvaranja jednog sustava za identifikaciju osobe putem značajki dlana, rad koristi jedan od izvora u kojem je navedeni sustav ostvaren.

**Ključne riječi:** biometrija, biometrijske metode, značajke dlana

## **ABSTRACT**

### **Person identification using palm features**

The content of this paper briefly describes biometric science and biometric methods for person identification. Second part of the paper focuses on characteristics, ways of extraction and general use of person identification based on palm and finger characteristics. An already established system for person identification is used in purpose of specifically explaining what the approach would be when trying to create such a system.