

## Motivacija

Kako se stepen broja napada na sisteme u IT oblasti povećava iz godine u godinu, interesi za pronalaženjem boljih bezbednosnih sistema rastu, pri čemu se autentikacija najčešće okreće ka biometrijskim sistemima. Autentikacija otiska prsta je najstariji i najčešće korišćen oblik biometrijske identifikacije, s obzirom da je otisak prsta jedinstveno obeležje svakog čoveka. Stoga, razvoj sistema zasnovan na ovom vidu identifikacije korisnika predstavlja visok stepen zaštite korišćenog sistema.

## Podaci

Podaci koji su korišćeni u sistemu su preuzeti sa zvaničnog sajta Nacionalnog instituta za standarde i tehnologiju (NIST). U pitanju je skup od 4000 slika, od kojih je 2000 kreirano uz pomoć elektronskog skenera, dok je drugih 2000 slika kreirano uz pomoć metode ostavljanja otiska u mastilu.

Skup obuhvata otiske 2000 osoba, pri čemu je svaki otisak predstavljen pomoću dve instance - različite u odnosu na metod kojim je otisak napravljen.

Svaka slika je grayscale, dimenzija 512x512.

## Opis problema

Prvi korak u realizaciji sistema je klasifikacija otiska prsta, dok je drugi korak utvrđivanje procenta poklapanja ključnih tačaka između dva zadata otiska, čime se određuje da li su u pitanju otisci jedne ili dve individue.

Klasifikacija podrazumeva podelu otisaka prsta na osnovu strukture i oblika istog u jednu od 5 mogućih kategorija: *arch*, *left loop*, *right loop*, *tented arch* i *whorl*.



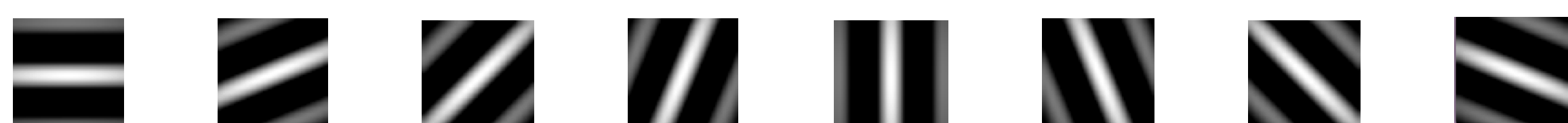
Slika 1. Otisak u klasi: arch, left loop, right loop, tented arch, whorl

## Preprocesiranje

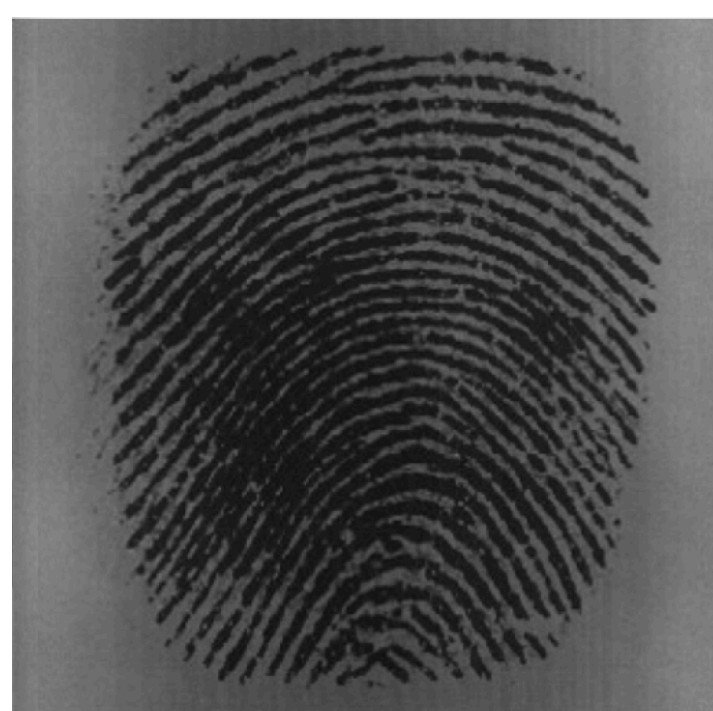
Preprocesiranje podrazumeva postupak pripreme ulaznih podataka (slika) za klasifikaciju otiska prsta u jednu od 5 klasa. Za ovaj postupak je korišćena biblioteka *OpenCV*.

Koraci koji su primenjeni u toku preprocesiranja su:

1. **CLAHE** (*Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization*) - adaptivno izjednačavanje histograma, u cilju postizanja boljeg kontrasta na slici.
2. **Gabor filter** - filtriranje ulazne slike u cilju rekonstrukcije otiska i popunjavanja određenih nepotpunih i nejasnih grebena. Filtriranje je izvršeno uz pomoć 8 jezgara veličine 21x21, gde se svaki filter razlikuje od prethodnog u orijentaciji za 22.5 stepeni. Nakon primene svakog od filterskih jezgara dobija se slika na kojoj su izraženi samo oni grebeni koji imaju istu orijentaciju kao i jezgro kojim se vrši filtriranje.



Slika 2. Jezgra korišćenih filtera



Slika 3. Slika pre procesiranja



Slika 4. Slika nakon procesiranja

## Metodologije klasifikacije

U sistemu je korišćena konvoluciona neuronska mreža, *ZFNet* (modifikacija arhitekture *AlexNet*), sa modifikacijom broja neurona u prvom i drugom potpuno povezanom sloju (sa 4096 na 784 neurona). Mreža je implementirana pomoću biblioteka *Keras* i *TensorFlow*. Korišćena je u cilju treniranja klasifikatora koji na osnovu ulazne vrednosti vrši predikciju klase.

Skup podataka koji se koristi za obučavanje klasifikatora je podeljen na trening skup i validacioni skup u odnosu 80% : 20%, pri čemu je izvršena stratifikovana podela nad svakim (broj instanci svake klase je jednak).



Slika 5. Arhitektura konvolucione mreže

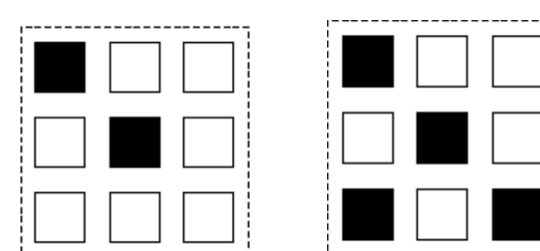
## Metodologije autentikacije

U cilju pripreme ulazne slike za izdvajanje ključnih tačaka otiska, neophodno je izvršiti skeletonizaciju slike nad kojom je prethodno urađeno opisano preprocesiranje. *Skeletonizacija* podrazumeva maksimalno stanjivanje grebena otiska, sve do linija debljine 1 pixel.

Nakon izvršene pripreme ulazne slike, prelazi se na algoritam izdvajanja ključnih tačaka otiska prsta - *Crossing number*. Ovaj algoritam se zasniva na upotrebi matrice susedstva veličine 3x3 u čijem je centru crni piksel. Nakon izračunavanja vrednosti CN, određuje se da li je centralni crni piksel ključna tačka, kao i kojoj od moguće dve kategorije pripada: bifurkacijama ili završecima grebena.

$$CN = 0.5 \sum_{i=1}^8 |P_i - P_{i+1}|, \quad P_9 = P_1$$

Slika 6. Jednačina određivanja CN vrednosti

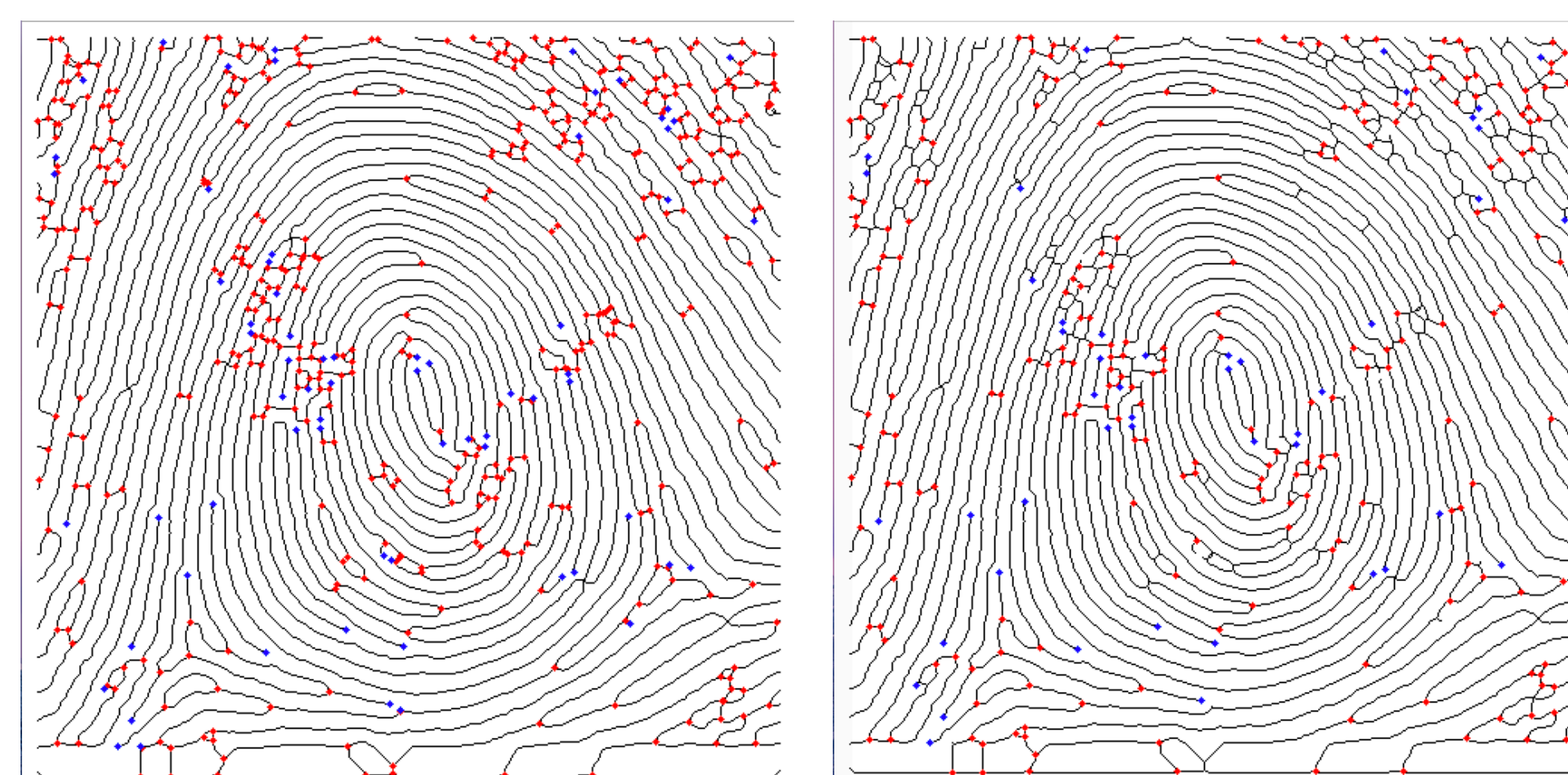


Slika 7. Matrica susedstva za završetak grebena (levo) i bifurkaciju (desno)

P <sub>4</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>2</sub>
P <sub>5</sub>	P	P <sub>1</sub>
P <sub>6</sub>	P <sub>7</sub>	P <sub>8</sub>

Slika 8. Matrica susedstva

Kada su izdvojene ključne tačke opisanim algoritmom, prelazi se na uklanjanje "lažnih ključnih tačaka". Pravilo za uklanjanje je da se izbacuju sve susedne bifurkacije i završeci grebena koji se nalaze na rastojanju manjem od 6 pixela, jer je empirijski utvrđeno da je prosečna debljina grebena na otisku 6 pixela, stoga su moguće samo bifurkacije i završeci grebena na većoj udaljenosti.



Slika 9. Skeletonizacija sa svim ključnim tačkama (levo) i nakon uklanjanja lažnih ključnih tačaka (desno)

Poslednji korak je pronalaženje zajedničkih tačaka, koristeći ORB (*oriented BRIEF*) detektor i deskriptor ključnih tačaka, na osnovu zadatih nizova ključnih tačaka dva otiska koja je neophodno autentifikovati.

## Rezultati

U procesu klasifikacije je postignuta tačnost od 40% nad testom od 100 slika (izvršena je stratifikovana podela testnog skupa). Procenat tačnosti će se u budućem radu poboljšati dodatnim fazama u preprocesiranju (primenom većeg broja filterskih jezgara - Gabor filter, kao i izračunavanjem orijentacije i frekvencije svakog od grebena), kao i u korišćenju konvolucione mreže VGG-19. U procesu autentikacije postignuta je tačnost od 78% nad originalom i 47% nad adekvatnim instancama otiska, kreiranih na dva različita načina. Narednim radom, upotrebom neuronske mreže ili evolutivnog algoritma, povećaće se tačnost.