

## PREPOZNAVANJE OTISKA PRSTA

# PREPOZNAVANJE OTISKA PRSTA

Otisak prsta – **SVAKI KONTAKT OSTAVLJA TRAG**

Jedna od najstarijih i najpoznatijih biometrijskih tehnologija.

Prvi identifikacioni sistemi ovog tipa razvijeni su još ranih šesdesetih godina prošlog vijeka.

Do nedavno, dominantno korišten u kriminalistici.

Razvoj računarske tehnologije omogućio je proširenje spektra aplikacija.

Čitači otiska prsta mogu biti veoma mali i relativno niske cijene.

Lako se integrišu u tradicionalne identifikacione sisteme.

Dobra alternativa tradicionalnim identifikacionim sistemima.

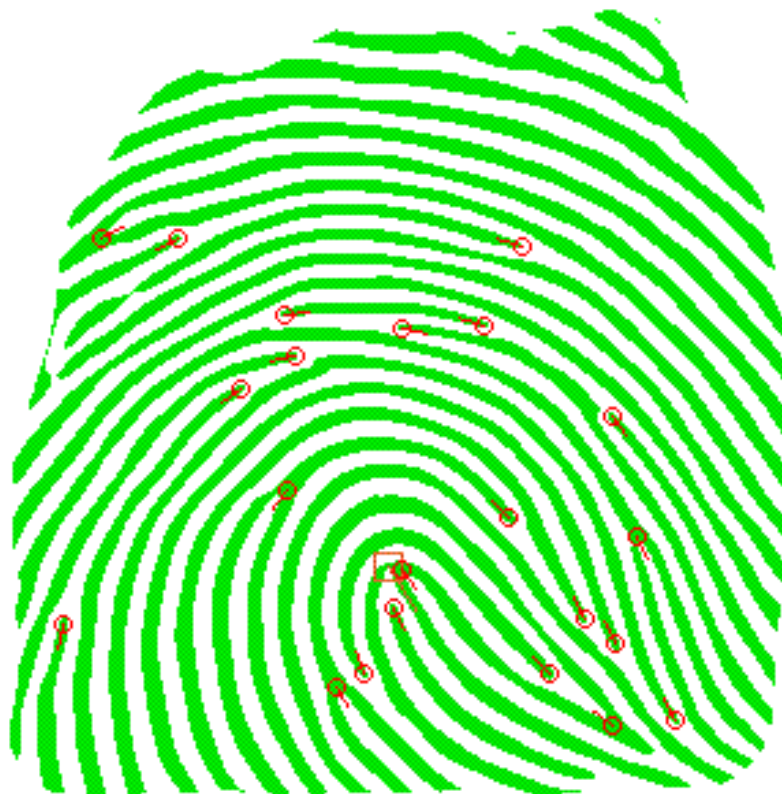


# PREPOZNAVANJE OTISKA PRSTA

Prepoznavanje otiska prsta se NE vrši prostim poređenjem sa slikom drugih, već poznatih otisaka.

Mnogo bolji način je izdvajanje detalja (karakterističnih tačaka), sa slike otiska prsta.

Karakteristične tačke su tačke gdje se linije otiska granaju ili završavaju.



# PREPOZNAVANJE OTISKA PRSTA

Prepoznavanje otiska se vrši upoređivanjem skupa karakterističnih detalja trenutno uzetog otiska sa skupovima karakterističnih detalja već poznatih otisaka.

Uopšte uzevši otisak prsta sadrži oko 100 karakterističnih detalja.

Dio otiska koji se obuhvata skenerom ima između 30 i 40 karakterističnih detalja.

U evropskim sudovima identifikacija se smatra vjerodostojnom ukoliko se najmanje 12 karakterističnih detalja identifikuje u otisku.

U uzorku od čak 10 miliona ljudi nije bilo dva čovjeka sa istih 12 karakterističnih detalja.

Najveći broj trenutno komercijalno raspoloživih skenera prepoznaje otisak prsta na osnovu 8 karakterističnih detalja.

Još od najranijih vremena čovjek je postao svjestan otiska prsta.

Neolitsko doba – predmeti sa otiscima prstiju.



Prva primjena u starom Vavilonu.

Otisak prsta na glinanim tablicama korišten je prilikom ugovaranja poslova.

# ISTORIJAT

Krajem XVIII vijeka - značajniji pomak u proučavanju otiska prsta.

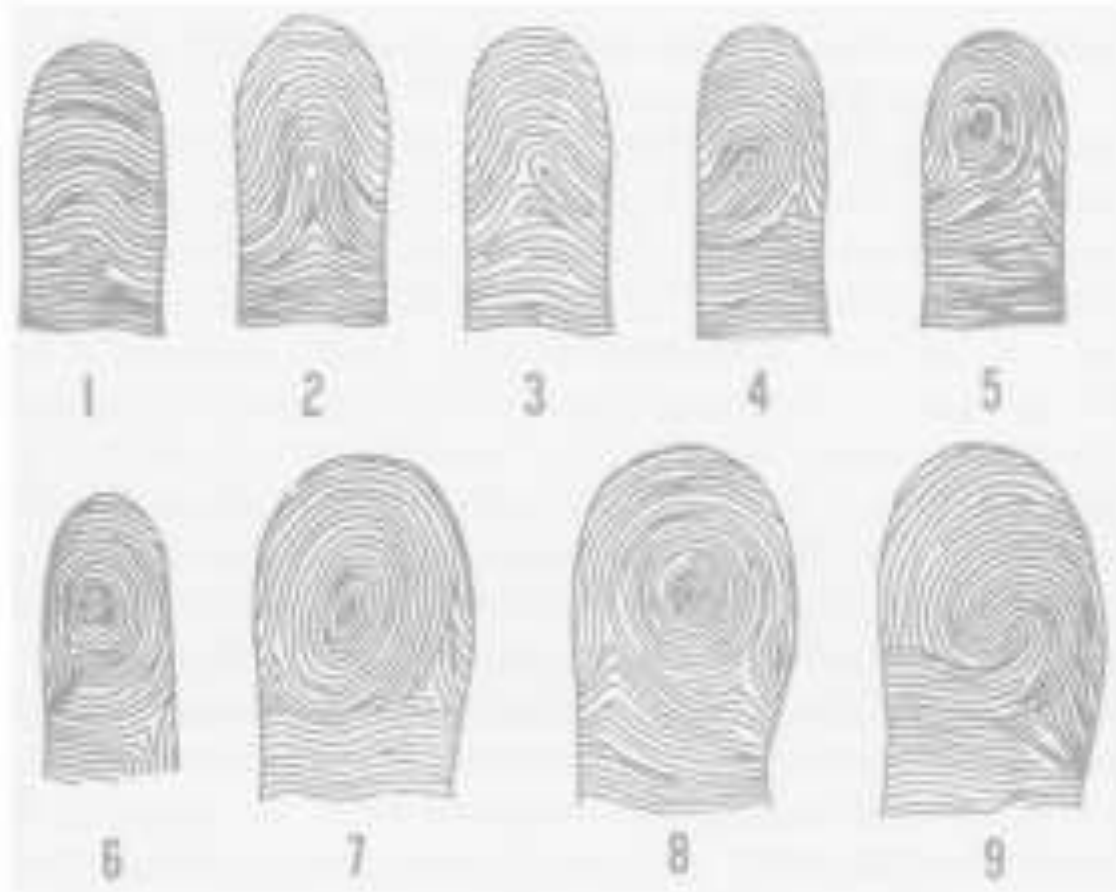
Njemački ljekar i anatom Mayer detaljno je opisao karakteristike papilarnih linija.



Na slici je prikazan crtež koji je napravio Mayer  
(vidi se detaljna struktura reljefa prsta)

# ISTORIJAT

Prvu klasifikaciju otisaka prstiju dao je Češki anatom Jan Purkinje 1823. godine.



Purkinjeova klasifikacija otisaka – 9 klasa, saglasno konfiguraciji.



# ISTORIJAT

1880. godine škotski naučnik *Henry Faulds* prvi je uočio mogućnost primjene otiska prsta pri identifikaciji osoba.

1888. godine, engleski naučnik *Sir Francis Galton* ustanovio je individualnost i stalnost otiska prsta. Uključio karakteristične tačke (minutiae) prilikom poređenja otisaka.

Argentinski antropolog i policijski inspektor *Juan Vucetich* (rođen na Hvaru) stvorio je prvu kartoteku otisaka prstiju 1891. godine.

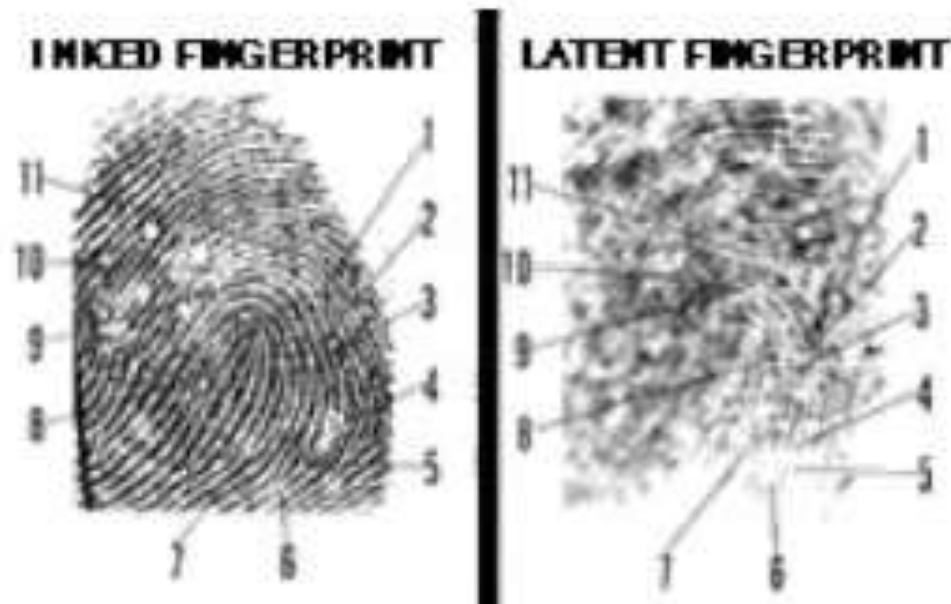




# ISTORIJAT

Početak XX vijeka (1901 godine) u okviru *Scotland Yard*-a formiran je prvi biro za otiske prstiju.

Francuski ljekar i pravnik, *Edmond Locard*, je 1918. godine utvrdio i predložio 12 identičnih tačaka na otisku prsta, kao dovoljan uslov za uspješnu identifikaciju.



1991. godine počinje praktična primjena računara u oblasti prepoznavanja otisaka prstiju.

U SAD-u uveden prvi sistem baziran na računarima – *Automatic Fingerprint Recognition System (AFIS)*.

# KARAKTERISTIKE OTISKA PRSTA

Sa fiziološkog aspekta otisak prsta predstavlja konfiguraciju ispupčenja i udubljenja.

Linije koje formiraju ispupčenja nazivaju se papilarne linije.

Nepromjenjivost i individualna varijantnost papilarnih linija.

Papilarne linije se čak i kod monozigotnih blizanaca razlikuju.



# OBRACI OTISKA PRSTA

## Obrasci - globalne karakteristike otiska prsta



LOOP



CENTRAL POCKET LOOP



PLAIN WHORL



TENTED ARCH



PLAIN ARCH



DOUBLE LOOP



ACCIDENTAL

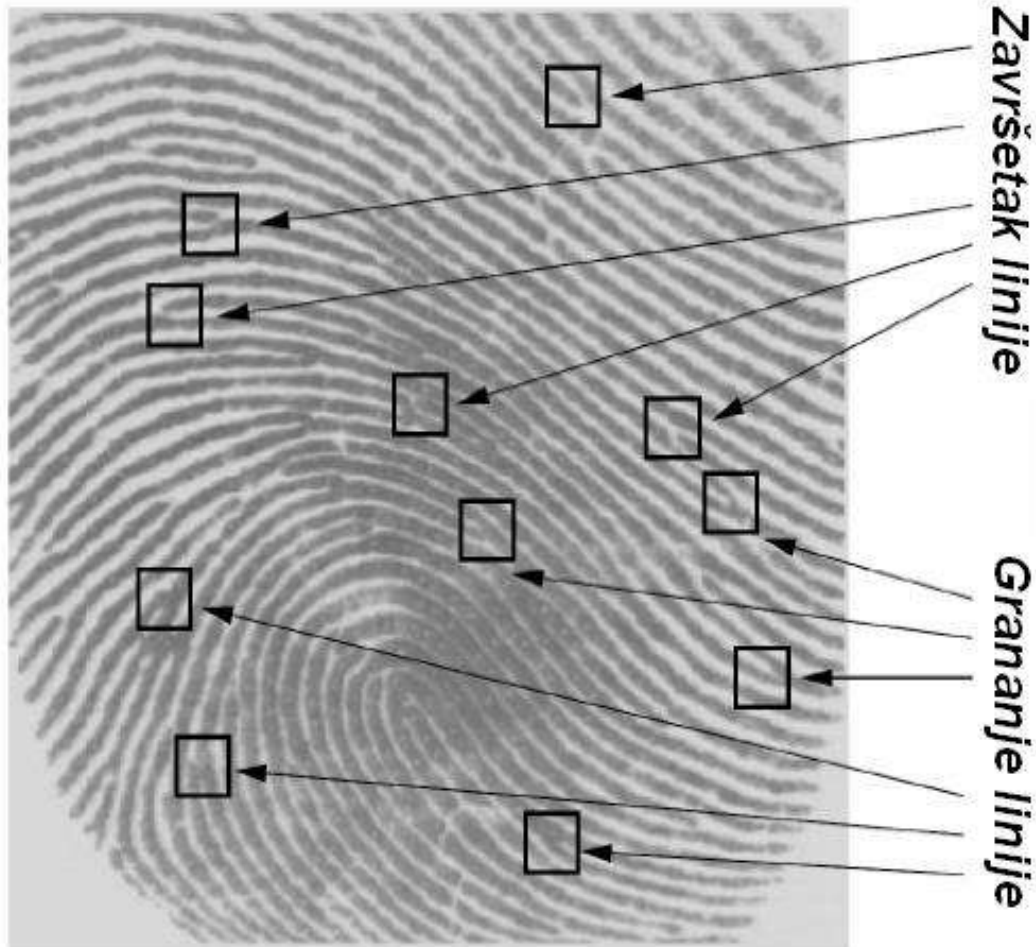
- Loop (petlja)
- Central pocket loop (jamičasta centralna petlja)
- Plain whorl (prosta spirala)
- Tented arch (jeloviti luk)
- Plain arch (prosti luk)
- Double loop (dvostruka petlja)
- Accidental (mješoviti, slučajan)

Zastupljenost:

- **60% - petljasti tipovi** (petlja, dvostruka petlja i jamičasta petlja )
- **30% - spiralni tipovi**
- **5%** - lučni tipovi (luk i jeloviti luk)
- **5%** - mješoviti

# KARAKTERISTIČNI DETALJI

## Karakteristični detalji – lokalne karakteristike



	Završetak
	Grananje
	Jezero
	Nezevisna brazda
	Tačka ili ostrvo
	Kljun
	Ukrštanje

**Postupak identifikacije:** svrstavanje u određeni tip otiska na osnovu obrasca, identifikacija na osnovu lokalnih karakteristika (detalja) .

# KARAKTERISTIKE OTISKA PRSTA

Osobine papilarnih linija koje ih čine veoma pogodnim za identifikaciji su:

- **Nepromenljivost broja i rasporeda minucija** - Niko ne može svojevolumno izmijeniti izgled papilarnih linija već ih samo trajno uništiti;
- **Neponovljivost** – Postoji veliki broj detalja (minucija). Ne postoji mogućnost da se dva otiska podudaraju. Francuski matematičar *Baltasar* je matematičkim putem dokazao da je takva vjerovatnoća praktično jednaka nuli;
- **Grupisanje** – Vrlo važna osobina otisaka prstiju koja omogućava njihovu klasifikaciju na osnovu opštih (globalnih) sličnosti. Ovo dovodi do znatnog smanjenja vremena potrebnog za identifikaciju.

# ■ POSTUPAK PREPOZNAVANJA OTISKA PRSTA

## Faze postupka prepoznavanja otiska prsta:

- **Skeniranje otiska.**
- **Obrada rezultata skeniranje** – poboljšanje kvaliteta snimka (redukcija šuma), binarizacija, istanjivanje.
- **Izdvajanje karakteristika** (obrazac, karakteristični detalji, uklanjanje lažnih detalja).
- **Upoređivanje.**



# ZAŠTO OBRADA REZULTATA SKENIRANJA?



High contrast print



Typical dry print



Faint print



Low contrast print



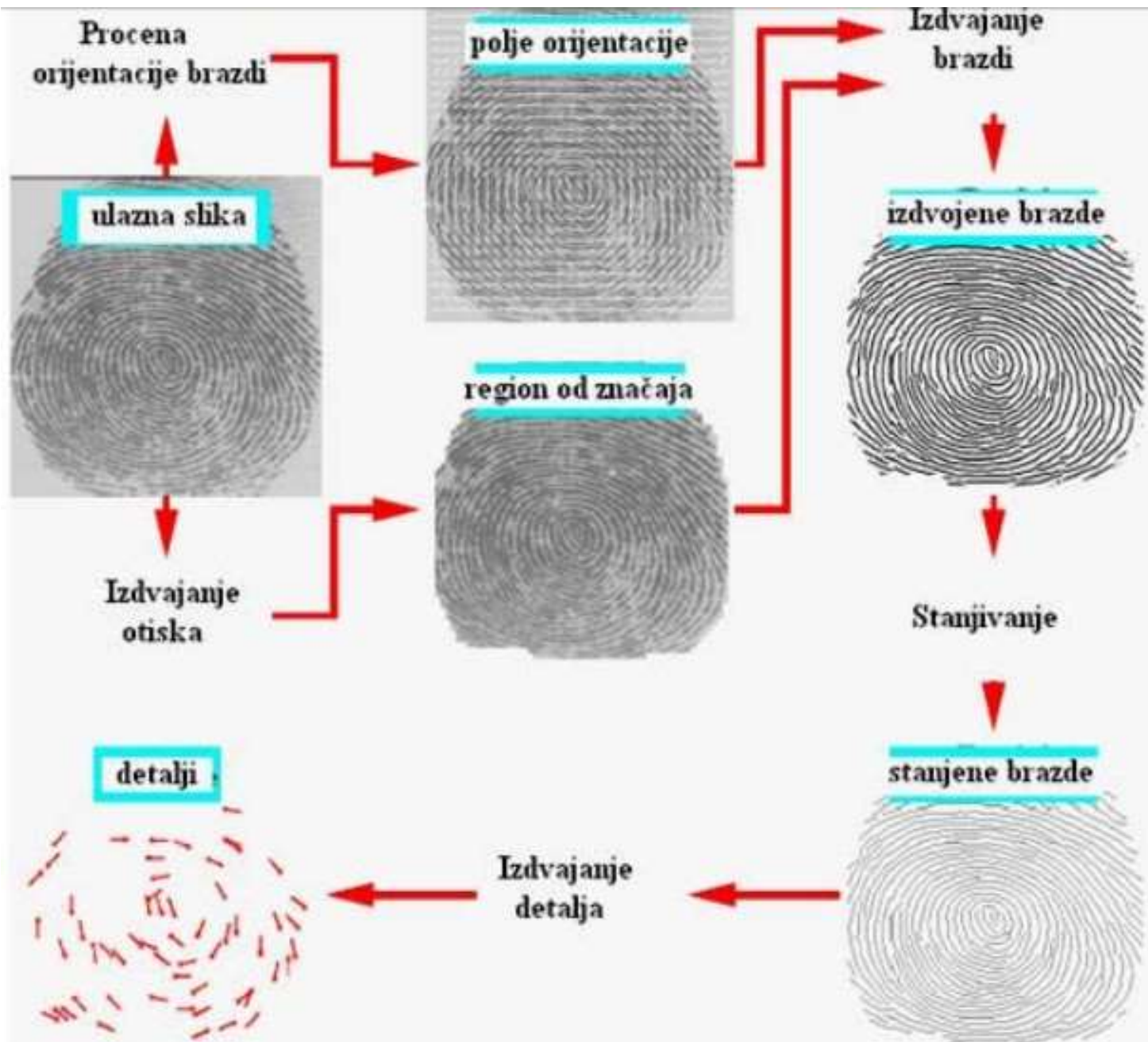
Typical Wet Print



Creases



# OBRADA REZULTATA SKENIRANJA

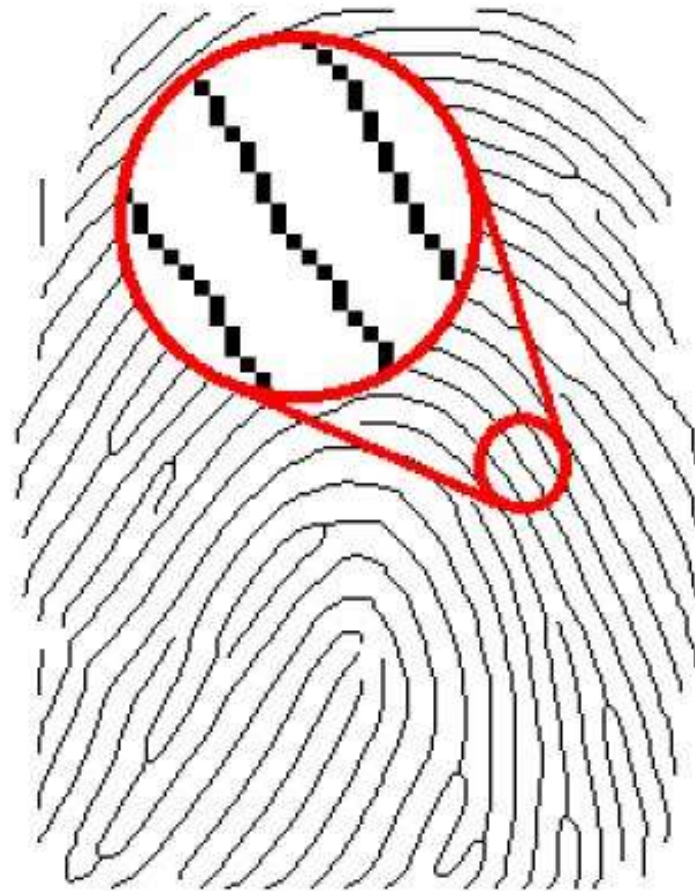
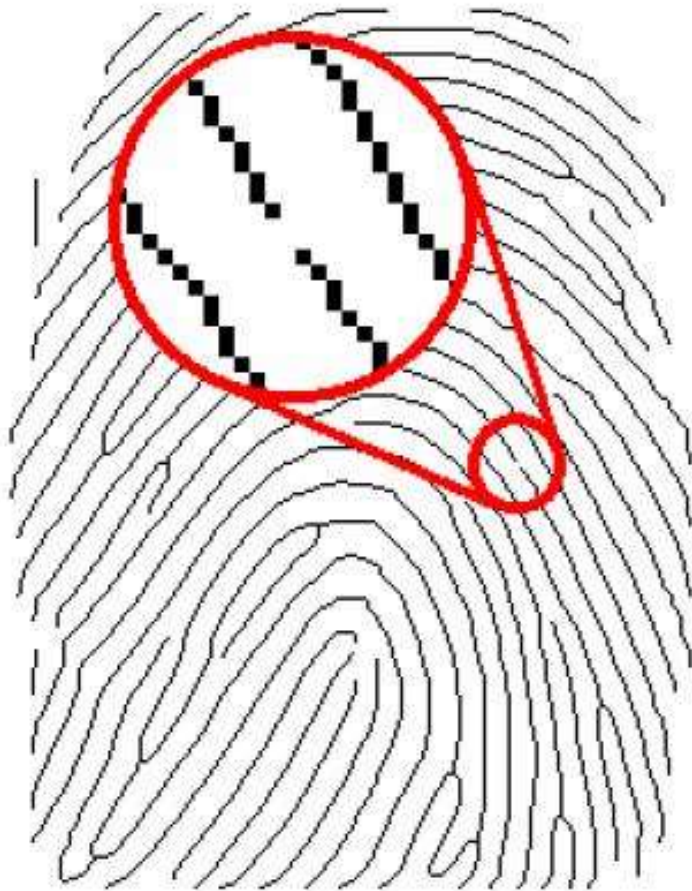




**Razlog: pojednostavljenje detekcije karakterističnih tačaka**

**Kada su papilarni linije široke svega 1 pixel operacije detekcije karakterističnih tačaka se vrši na malom broju pixela.**

# OBRADA ISTANJENIH LINIJA



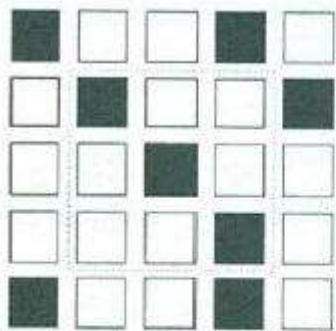
Detekcija i popunjavanje praznina u istanjenim papilarnim linijama.



# IZDVAJANJE KARAKTERISTIČNIH DETALJA

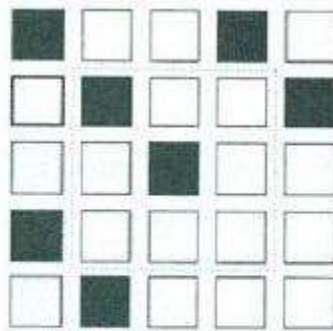
$cn(p)$  – presječni broj (crossing number) za pixel  $p$  u binarnoj slici definisan je kao polovina sume razlika između vrijednosti 8 njemu susjednih (graničnih) piksela.

$$cn(p) = \frac{1}{2} \sum_{i=1..8} |val(p_{i \bmod 8}) - val(p_{i-1})|$$



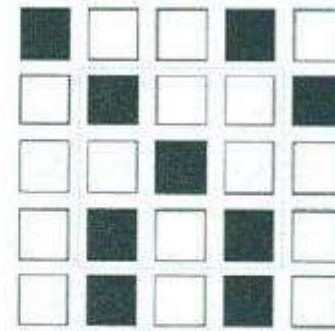
a)  $cn(p) = 2$

a) pixel unutar papilarne linije



b)  $cn(p) = 1$

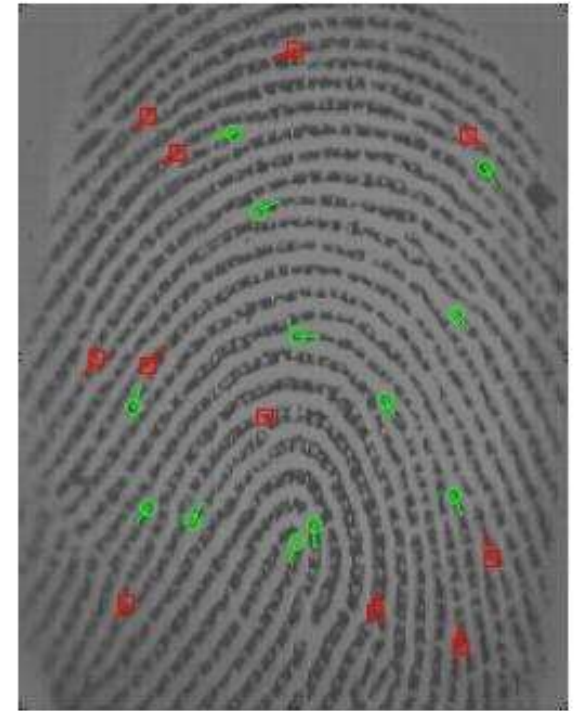
b) pixel na kraju papilarne linije



c)  $cn(p) = 3$

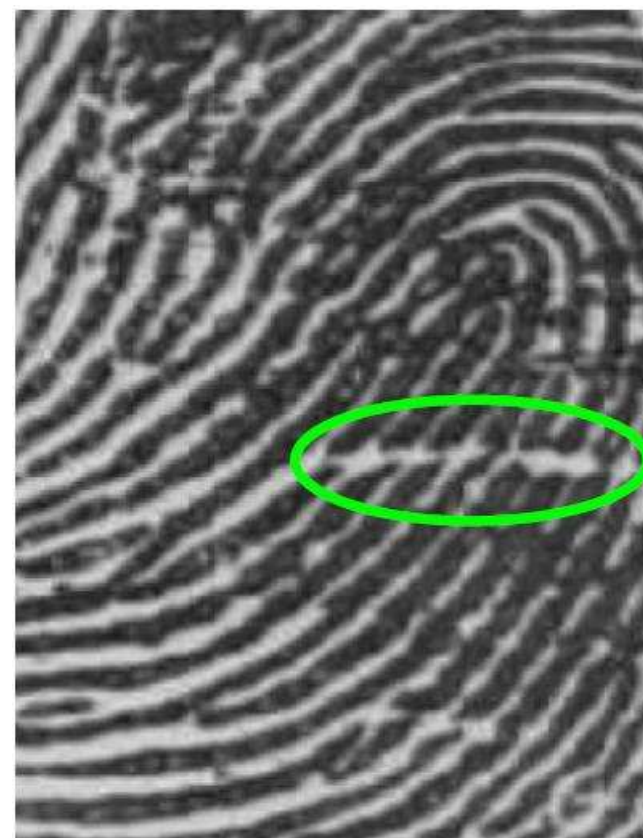
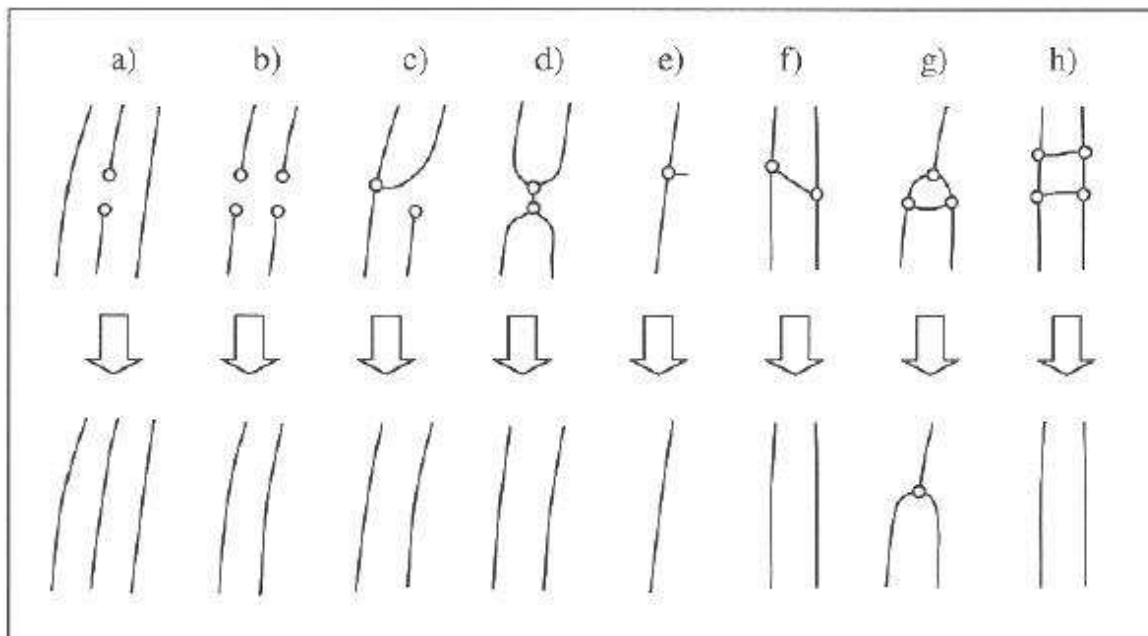
c) pixel na grananju papilarnih linija

# IZDVAJANJE KARAKTERISTIČNIH DETALJA

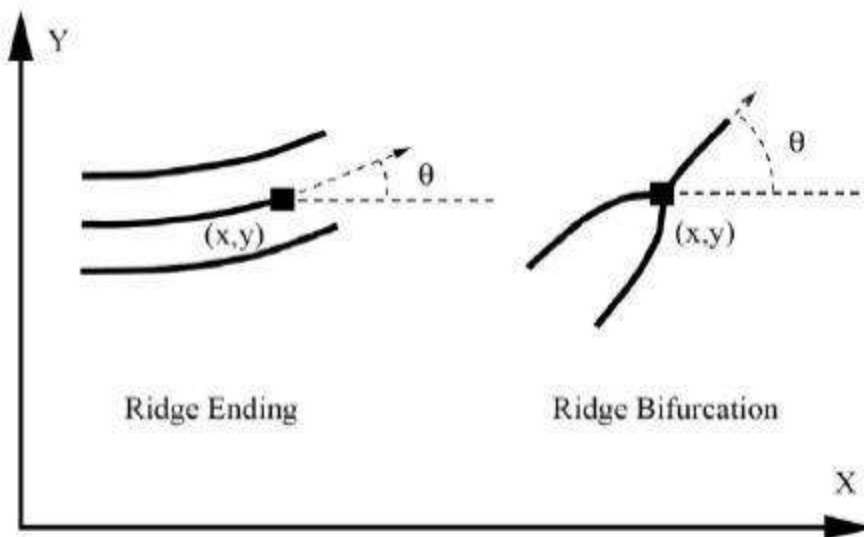
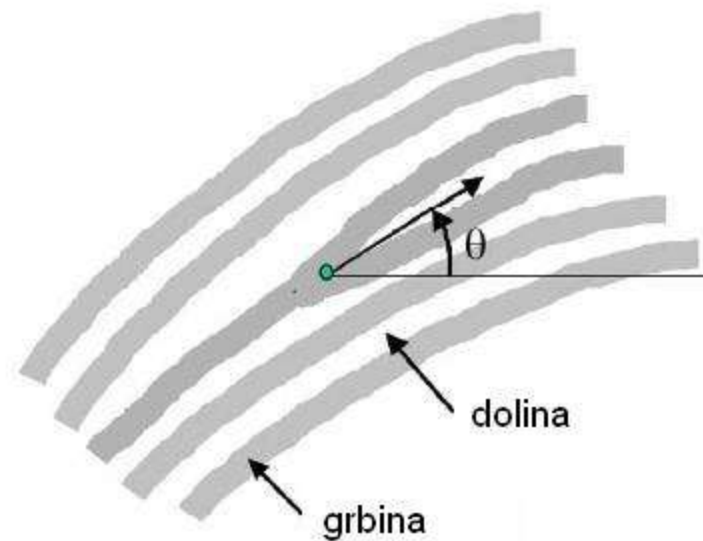
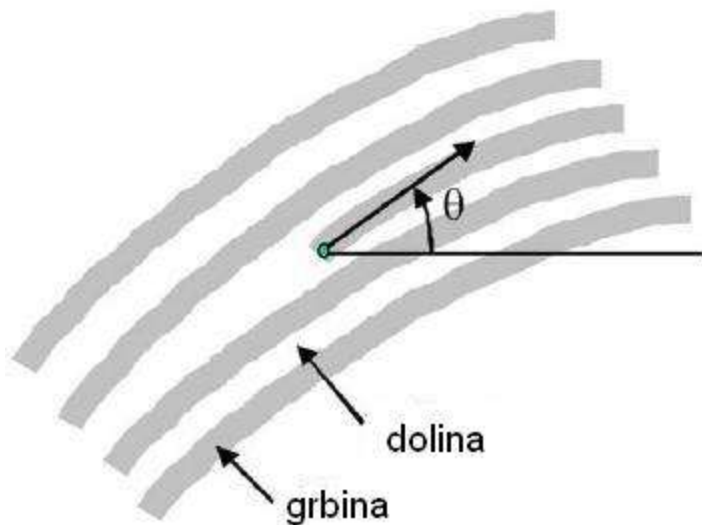


# FILTRIRANJE KARAKTERISTIČNIH DETALJA

## Uklanjanje lažnih karakterističnih detalja



# MJERENJE KARAKTERISTIČNIH DETALJA





# UPOREĐIVANJE KARAKTERISTIČNIH DETALJA

- Svaki otisak prsta se može predstaviti setom karakterističnih detalja.
- Svaki karakteristični detalj je definisan tipom, pozicijom i uglom.
- Prilikom upoređivanja dva otiska poredе se njihovi setovi karakterističnih detalja

## Problemi:

- Različita pozicija prsta na senzorskoj površini.
- Različito usmjerenje prsta na senzorskoj površini.
- Nelinearna distorzija kože kao rezultat različitog pritiska na senzorsku površinu.
- Lažni karakteristični detalji.
- Odsustvo nekih karakterističnih detalja kao rezultat oštećenja, prljavštine znojenja ili lošeg prislanjanja prsta na senzorsku površinu.

# UPOREĐIVANJE KARAKTERISTIČNIH DETALJA

- **Mustra**  $T = \{m_1, m_2, \dots, m_m\}$   $m_i = \{x_i, y_i, \theta_i\}$   $i = 1..m$
- **Podaci za provjeru**  $I = \{m'_1, m'_2, \dots, m'_n\}$   $m'_j = \{x'_j, y'_j, \theta'_j\}$   $j = 1..n$
- **Prostorna distanca**  $sd(m'_j, m_i) = \sqrt{(x'_j - x_i)^2 + (y'_j - y_i)^2}$
- **Razlika smjera**  $dd(m'_j, m_i) = \min(|\theta'_j - \theta_i|, 360^\circ - |\theta'_j - \theta_i|)$
- $sd$  i  $dd$  moraju biti manji od praga odlučivanja
- Mora se pronaći **povezanost** između  $m_i$  u  $T$  i  $m'_j$  u  $I$
- Ukoliko veza postoji, transformacijama **skaliranja** i **rotacije** mogu se minimizirati  $sd$  i  $dd$ .

## Procjena podudarnosti:

- **1. pristup:** brojanje parova karakterističnih detalja za u  $l$  i  $T$  sa  $sd$  i  $dd$  manjim od praga.
- **2. pristup:** suma dobijenih kvadratnih ditanci.

## Postoje:

- Optički čitači,
- Kapacitivni čitači,
- Ultrasonični čitači,
- Termički čitači,
- Senzori električnog polja
- ...

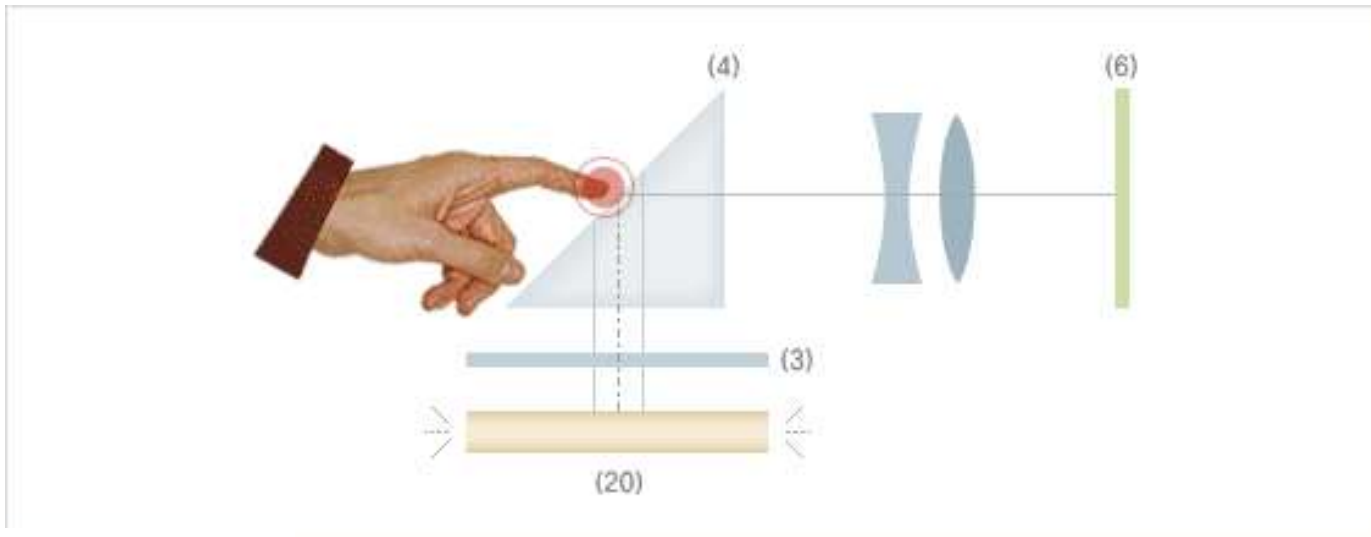
# OPTIČKI SKENERI OTISKA PRSTA

Kada se koristi optički senzor, prst se pristisne na, za to predviđenu, pločicu.

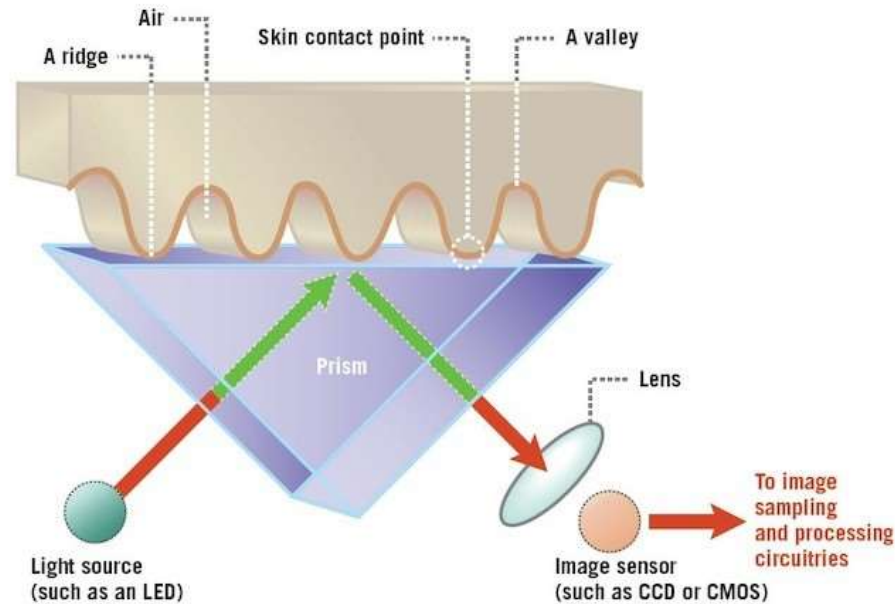
Nakon toga prst se osvjetli sa LED izvorom svjetlosti.

Kroz prizmu i sistem sočiva slika se projektuje na kameru.

Kamera može biti CCD ili modernija CMOS.



# OPTIČKI SKENERI OTISKA PRSTA



U suštini, skener radi tako što pravi digitalnu fotografiju otiska prsta i korištenjem odgovarajućeg algoritma pronalazi jedinstvene obrasce, raspoređene kroz različita svjetlija i tamnija područja slike.

Digitalna fotografija je 2D prikaz različitih obrazaca grebena i dolina koji postoje na prstu.

Prst se osvjetljava upotrebom odgovarajućeg izvora svjetlosti. Najčešće su to LED.

Kvalitet slike dominantno zavisi od kvaliteta senzora slike. Senzor slike igra ključnu ulogu u dobijanju slike visoke rezolucije, iz koje će biti jednostavnije izdvojiti više detalja.



# OPTIČKI SKENERI OTISKA PRSTA

Optički senzori otiska prsta su bili dominantni u ranim danima tehnologije prepoznavanja otiska prsta.

Danas se prilično rijetko koriste u mobilnim telefonima, osim na nekoliko jeftinijih modela.

Mogući razlog za to je glomazan dizajn koji je proizvođačima teško uklopiti u fabričke dizajne manjih gabarita.

Drugi razlog može biti nizak nivo sigurnosti koji pruža 2D slika otiska prsta, te može biti lako prevaren slikom visoke rezolucije.



# OPTIČKI SKENERI OTISKA PRSTA

Optički senzor je moguće postaviti ispod displeja telefona samo u slučaju OLED displeja.

OLED displeji imaju prostor između piksela.

Kada korisnik dotakne displej OLED ekrani emituju svjetlost i osvjetljavaju područje prsta. Reflektovana svjetlost prolazi kroz prostor između piksela i vraća se ka senzoru ispod ekrana. Tako se formira slika otiska.

LCD ekrani ne mogu emitovati sopstvenu svjetlost, već se mora kositi pozadinsko osvjetljenje, te nijesu pogodni da se ispod njih umetne optički senzor otiska prsta.



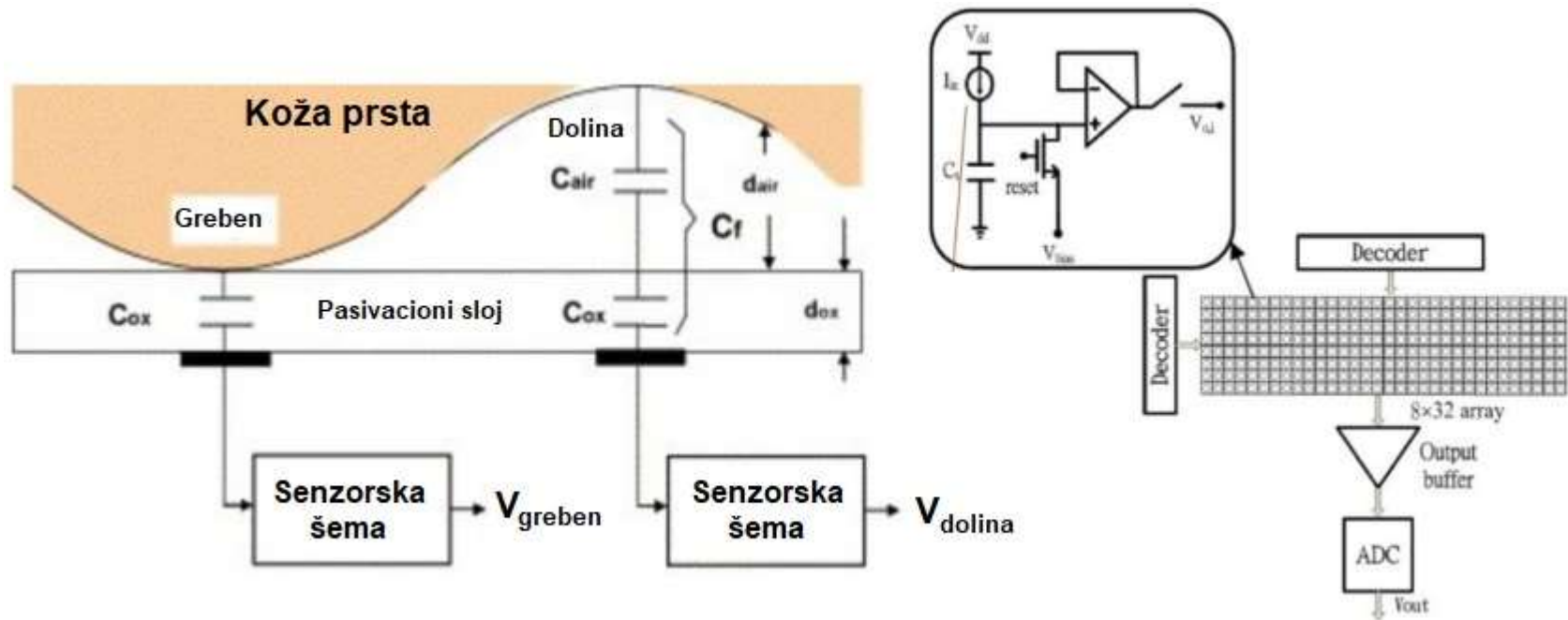
# KAPACITIVNI SKENERI OTISKA PRSTA

Kapacitivni senzori su veličine pečata.

Kada se prst postavi na senzor, niz piksela mjeri varijacije u kapacitivnosti između senzora i prsta.

Varijacije su posljedica postojanja brazdi na koži prsta.

Za razliku od optičkih skenera, koji generišu 2D sliku otiska prsta, kapacitivni skeneri hvataju različite detalje otiska prsta korištenjem samo električnog signala.



# KAPACITIVNI SKENERI OTISKA PRSTA

Kako nema generisanja 2D slike, podaci otiska prsta su daleko sigurniji nego podaci dobijeni korištenjem optičkog senzora.

Usljed toga, kapacitivni skener ne može biti lako prevaren uporebom fotografije otiska prsta.

To je razlog zašto su kapacitivni senzori popularniji i široko zastupljeni u pamatnim mobilnim telefonima.



# KAPACITIVNI SKENERI OTISKA PRSTA

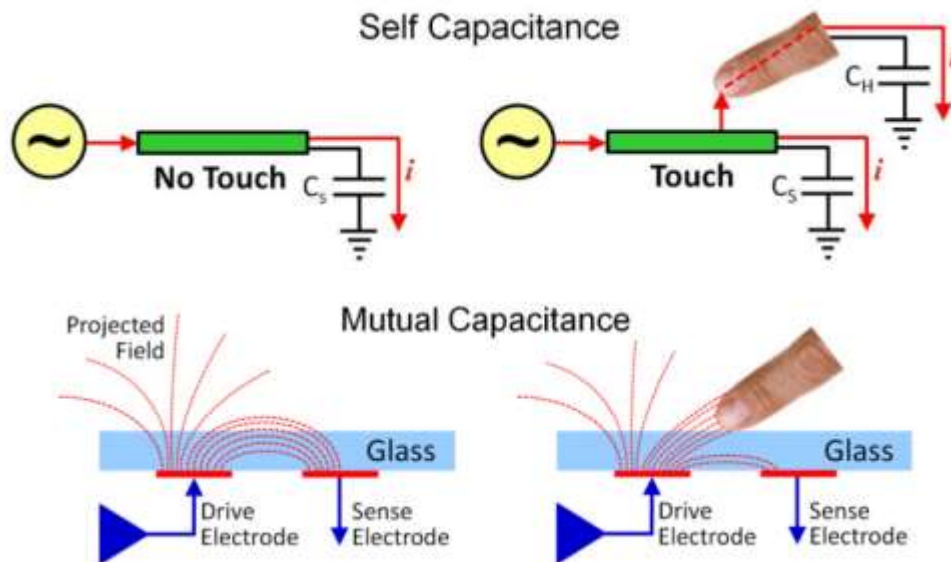
U principu, moguće je kapacitivni skener otiska prsta postaviti ispod displeja.

Obzirom da kod se kapacivnog senzora otiska prsta ne zahtijeva emitovanje svjetla, može podržati LCD displeje.

Najvažnije je zamijeniti tradicionalni šablon kapacitivnog senzora otiska prozirnim staklom.

U cilju povećanja osjetljivosti, takođe je važno redukovati debljinu LCD panela.

Međutim kako displej pametnog telefona sadrži panel za dodir (touch panel), može doći do interferencije signala panela za dodir i signala kapacitivnog skenara otiska prsta. Ovaj problem još treba riješiti.



# ULTRAZVUČNI SKENERI OTISKA PRSTA

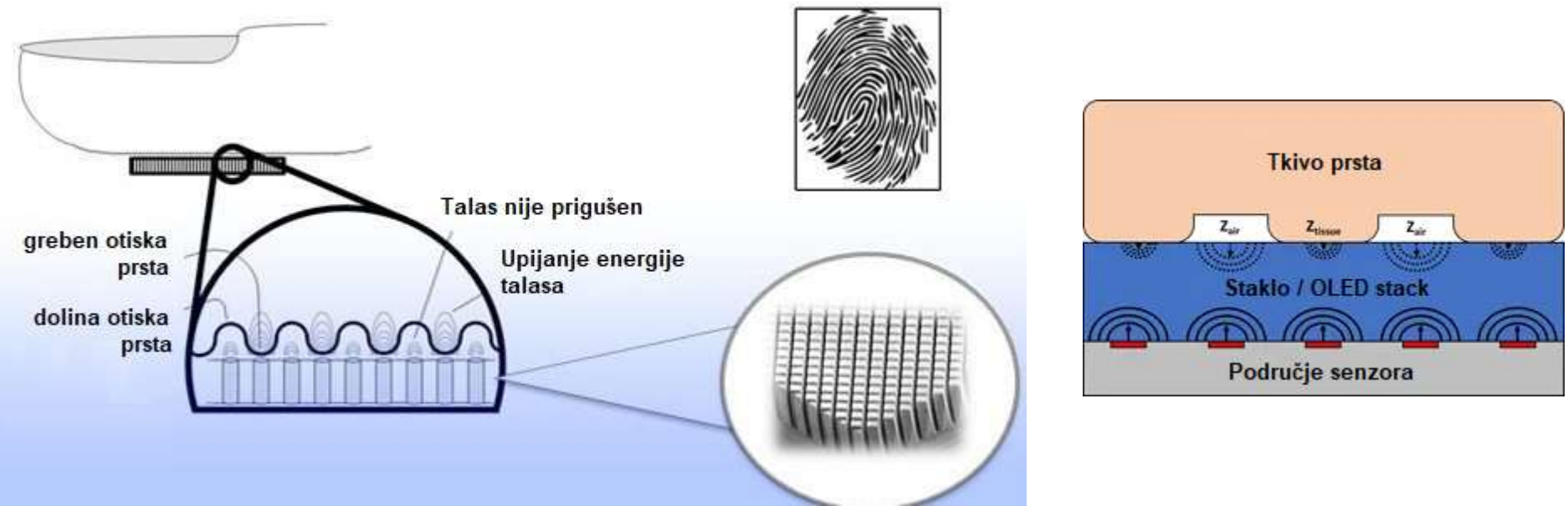
Ultrazvučna tehnika je zasnovana na postojanju razlike u akustičnoj impedansi na koži prsta.

Senzori koji se koriste u ovoj tehnici nijesu novi. Već se dugi niz godina koriste u medicini za pravljenje eho-snimka.

Frekventni opseg koji ovi senzori upotrebljavaju je od 20KHz pa do nekoliko GHz.

Vršne frekvencije moraju biti u mogućnosti da skeniraju kožu prsta sa rezolucijom od oko 500dpi (oko 200 tačaka po cm).

Ova rezolucija je neophodna da bi se mogle prepoznavati karakteristične tačke na koži prsta.



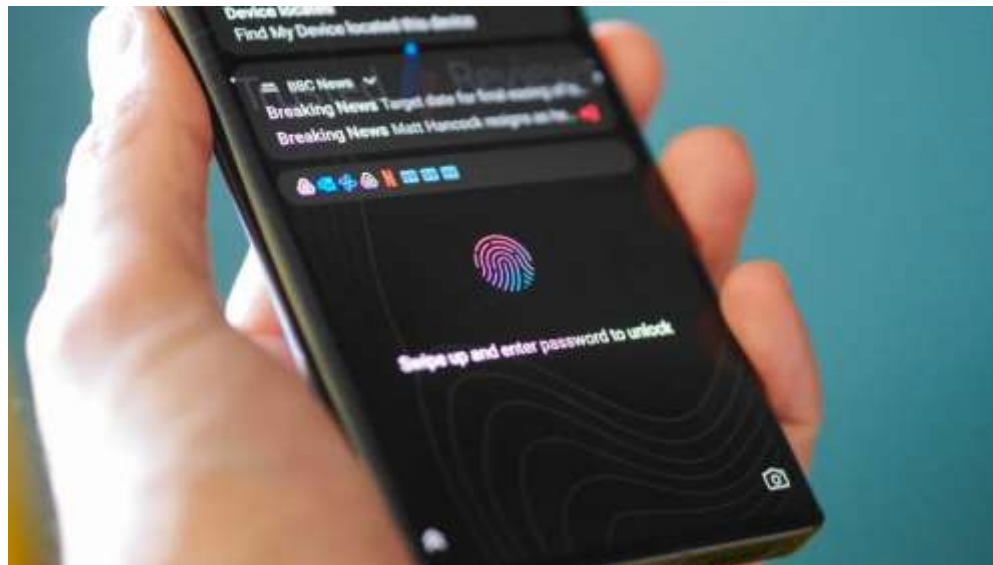
# ULTRAZVUČNI SKENERI OTISKA PRSTA

Ultrazvučni skeneri otiska prsta rade tako da odašilju ultrazvučni puls nečujnih zvučnih talasa na vaš prst, kada ga pritisnete na skener.

Informacija se vraća natrag u prijemnik.

Na taj način može mapirati izbočine na vašem prstu za tačan trodimenzionalni prikaz.

Ova vrsta tehnologije može se sakriti ispod displeja (nema probleme kapacitivnog senzora u tom pogledu) i ne mora svijetliti kada se koristi (poput optičkog skenera).





# ULTRAZVUČNI ČITAČI OTISKA PRSTA

## Prednosti:

Zahvaljujući trodimenzionalnom skeniranju, jedna velika prednost je ta što možete koristiti ultrazvučni skener otiska prsta, čak i ako vam je vrh prsta u tom trenutku mokar ili masan.

Dakle, ako vas je uhvatila kiša ili ste se upravo vratili s vježbanja, i dalje biste trebali moći otključati svoj telefon kao i obično.

Ultrazvučni senzori su tačniji od kapacitivnih i optičkih senzora, tako da je manja vjerovatnoća da će vaš telefon otvoriti netko ko niste vi.





# ULTRAZVUČNI SKENERI OTISKA PRSTA

## Nedostaci:

Jedan je nedostatak to što tehnologija još nije toliko raširena u cijelom cjenovnom rasponu.

Uglavnom su koncentrisani među vrhunskim Samsung uređajima, kao što je Galaxy S22 Ultra, pa je ova visoka cijena glavna stvar koja im se računa protiv.



**Senzori koji mjere temperaturu prsta mogu biti manji od samog prsta.**

**Podaci o temperaturi mogu se dobiti prelaskom prsta preko senzora.**

**Senzori sadrže niz tačaka kojima se može detektovati razlika temperature kože (bore na koži prsta) i vazduha (udubljenja na koži prsta).**

**Senzori električnog polja su poluprovodnički senzori veličine pečata.**

**Ovi senzori stvaraju električno polje i pomoću niza piksela mjere varijacije u polju.**

**Varijacije su posljedica naboranosti kože prsta.**

**Zavisno od proizvođača, varijacije električnog polja se detektuju u provodnom sloju kože, ispod površine kože ili u epidermu.**

## Problemi:

- **Velika izloženost prstiju dejstvu spolješnje sredine.**

Posjekotine ili prljavština često otežavaju proces prepoznavanja.

- **Mogućnost relativno jednostavnog falsifikovanja otiska.**

Mogućnost dobijanja kopije otiska bez znanja vlasnika



**Tanka silikonska oblada kao kopija otiska prsta**

**Rade se mnoga istraživanja sa ciljem da se obezbijedi da samo prst bez ikakvih dodatnih vještačkih dijelova može biti identifikovan.**

**Pažnja se usredsređuje na osobine kao što su:**

- temperatura,**
- provodljivost,**
- puls,**
- dielektrične konstante,**
- krvni pritisak, itd..**

## Primjene

- Kriminalistika
- Uređaji za kontrolu pristupa na vratima zgrada.
- Kontrola pristupa kompjuterskim mrežama.
- Banke upotrebljavaju fingerprint čitače za autorizaciju
- Point-Of-Sale (POS) za komercijalne i vladine aplikacije



# PREPOZNAVANJE OTISKA PRSTA



Čitač otiska



Kod



Identifikator



Mehanički ključ



Baterija od 9V za reset brave

## Fingerprint Door Lock 6600-92.

Čitač može sadržati do 78 profila otiska prsta, visokog kvaliteta.  
FAR čitača je manji od 0.0001% dok je FRR manji od 1%.

# PREPOZNAVANJE OTISKA PRSTA



**Uređaj za evidenciju prisustva i kontrolu pristupa REXECU-5100.**

**Uređaj može sadržati do 6000 profila, veličine 256 okteta. FRR mu je manji od 0.01% a FAR manji od 0.00001%.**

# PREPOZNAVANJE OTISKA PRSTA



**Još neke primjene tehnologije identifikacije otiska prsta.**

# FINGERPRINT SENZOR



## Optički sensor

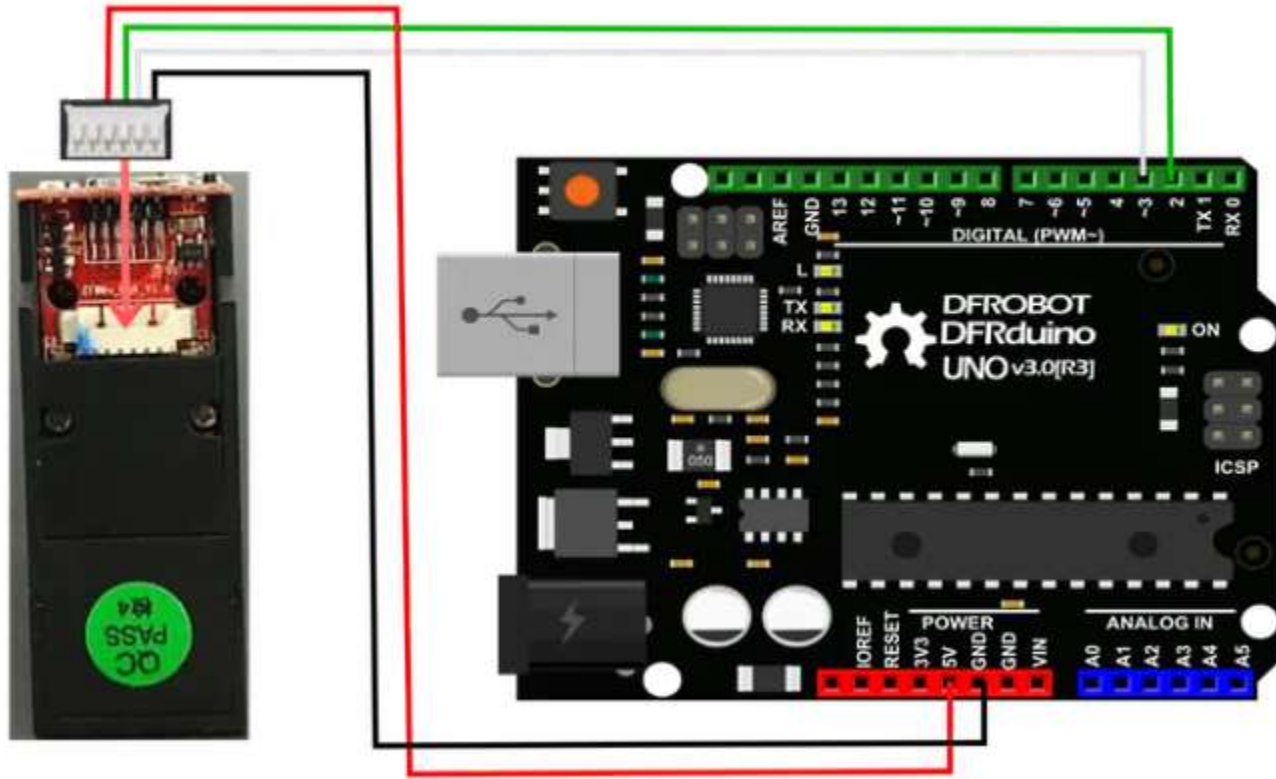
Obezbjeđuje sliku linija otiska prsta

Upotrebom odgovarajućeg algoritma poredi karakteristike dobijenog otiska sa postojećim podacima.

- Napajanje: DC 3.8V-7.0V
- Radna struja: 65mA (tipično)
- Interfejs: UART (TTL logical level)
- Srednje vrijeme pretraživanja: <1s (1:500, prosječno)
- Bezbjedosnosnih nivoa: 5 (1, 2, 3, 4, 5(najviši))
- Radna sredina: Temp: -20°C to +60°
- Dimenzije senzorske površine: 14.5\*19.4 mm
- Spoljašnje dimenzije: 54\*20\*20.5 mm



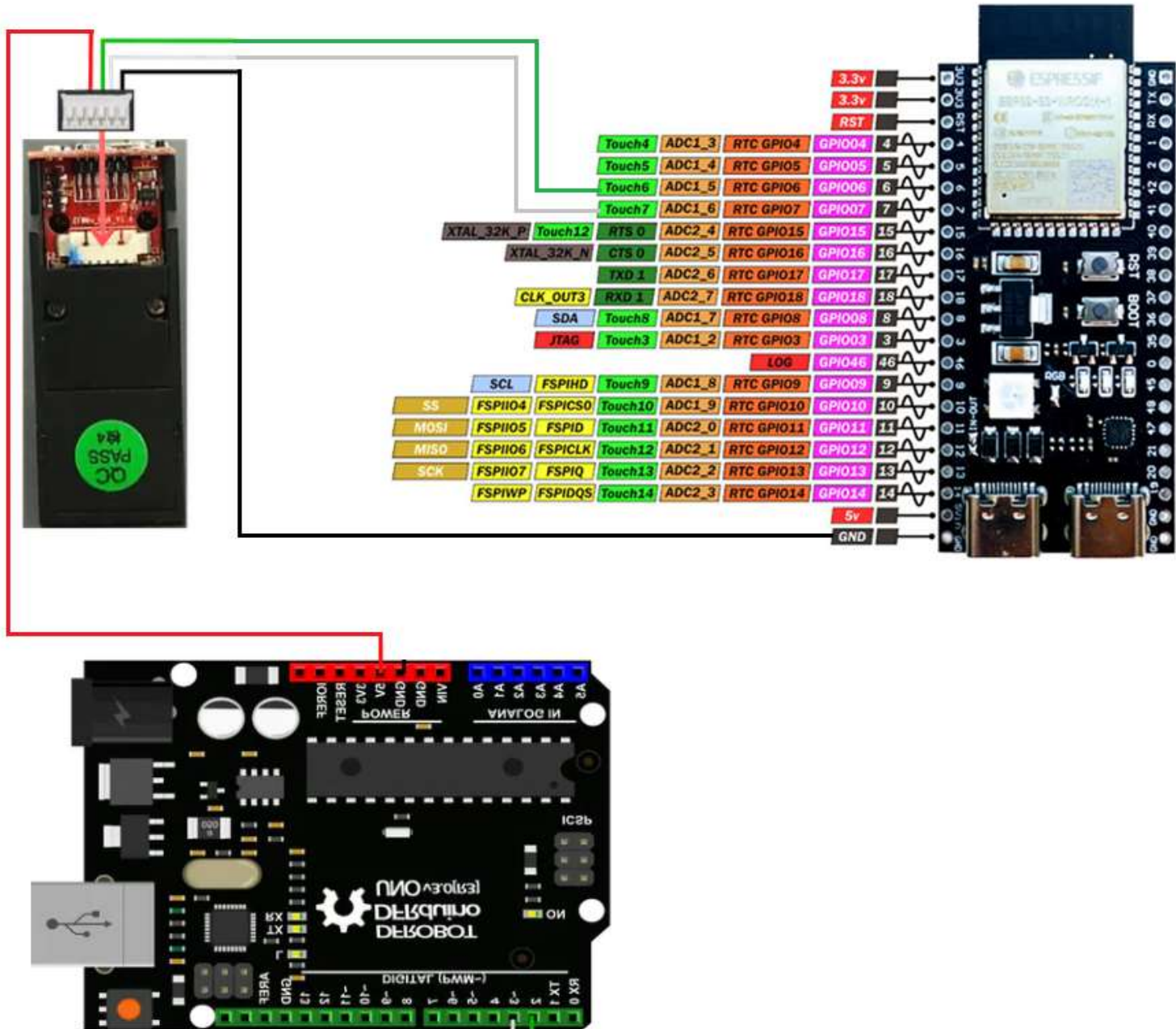
# POVEZIVANJE SENZORA SA ARDUINOM



- Crvena na 5v,
- Crna na GND,
- Zelena na pin 2 (D2)
- Bijela na pin 3 (D3)



# POVEZIVANJE SENZORA SA ESP32S3



# INSTALIRANJE BIBLIOTEKE

**Za rad sa senzorom iz Arduino razvojnog okruženja potrebno je instalirati biblioteku, koja se može preuzeti sa linka:**

<https://github.com/adafruit/Adafruit-Fingerprint-Sensor-Library>

Za instaliranje biblioteke potrebno je odraditi sljedeća tri koraka:

Dodajte biblioteku selektovanjem Add ZIP u SKETCH meniju, INCLUDE Library opcija.

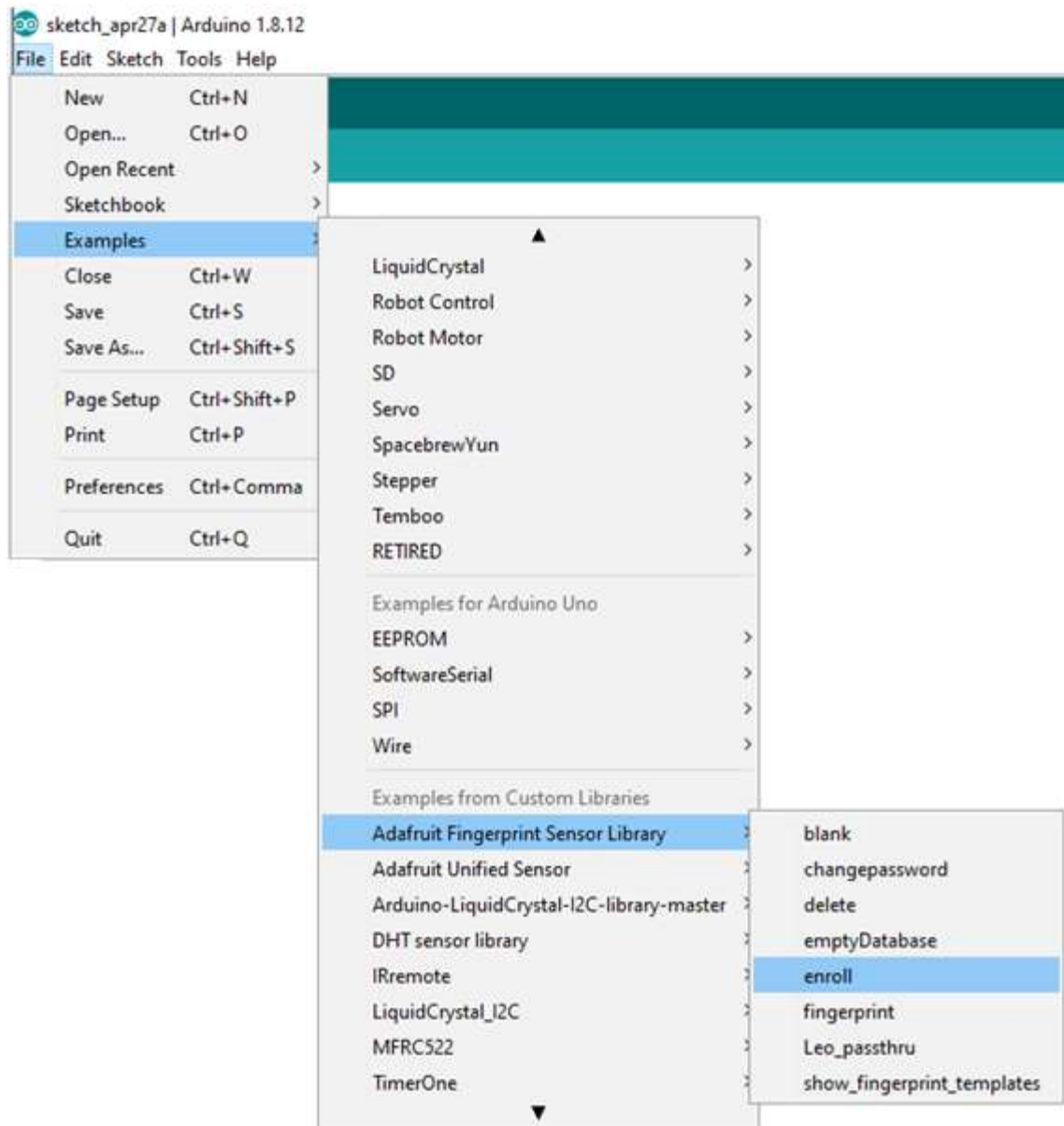
Otvoriti arduino IDE

Zatim, selektovati .zip fajl sa lokacije na kojoj je fajl sačuvan.

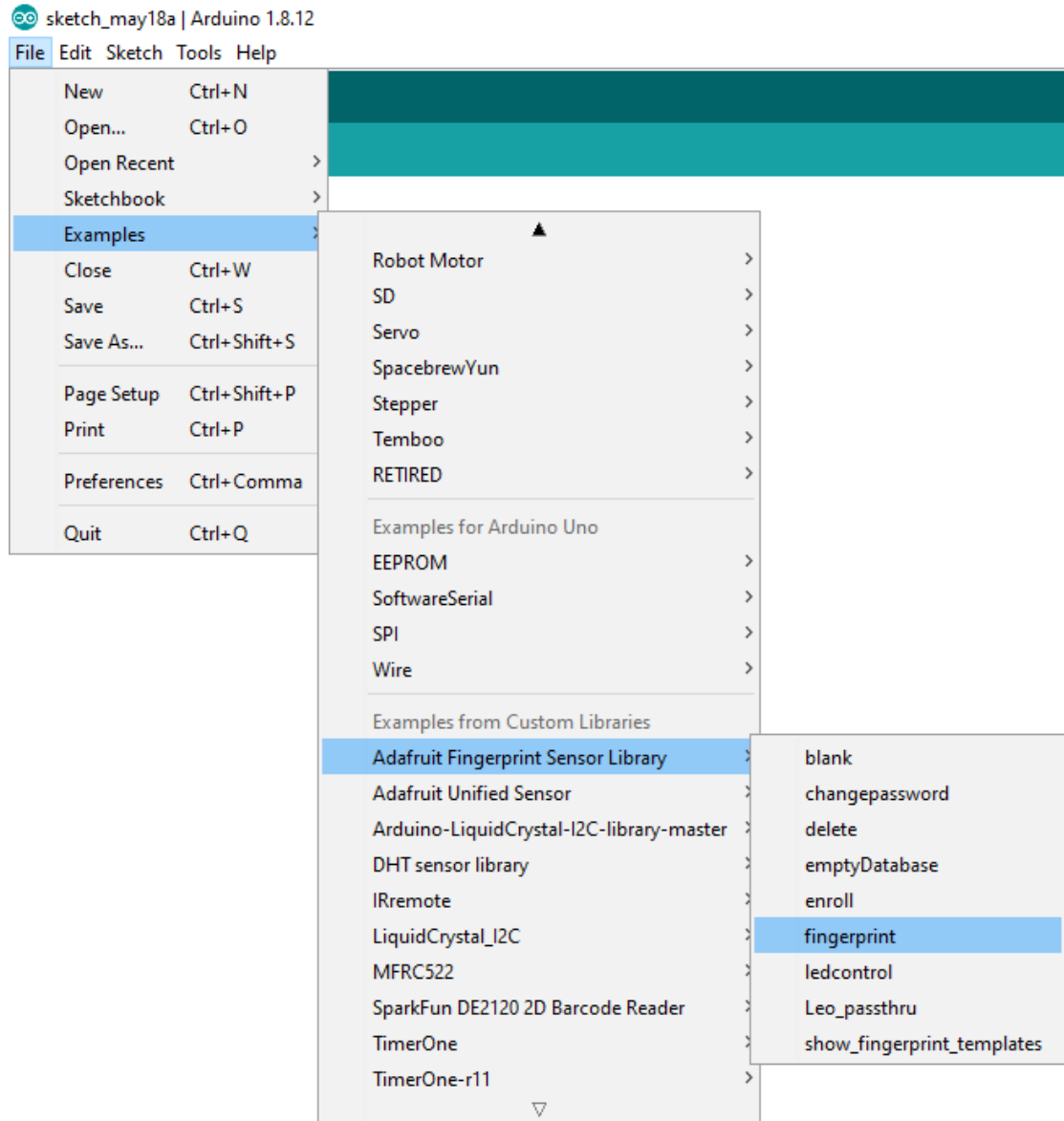
Detaljnije informacije o biblioteci mogu se vidijeti na adresi:

[https://adafruit.github.io/Adafruit-Fingerprint-Sensor-Library/html/class\\_adafruit\\_fingerprint.html](https://adafruit.github.io/Adafruit-Fingerprint-Sensor-Library/html/class_adafruit_fingerprint.html)

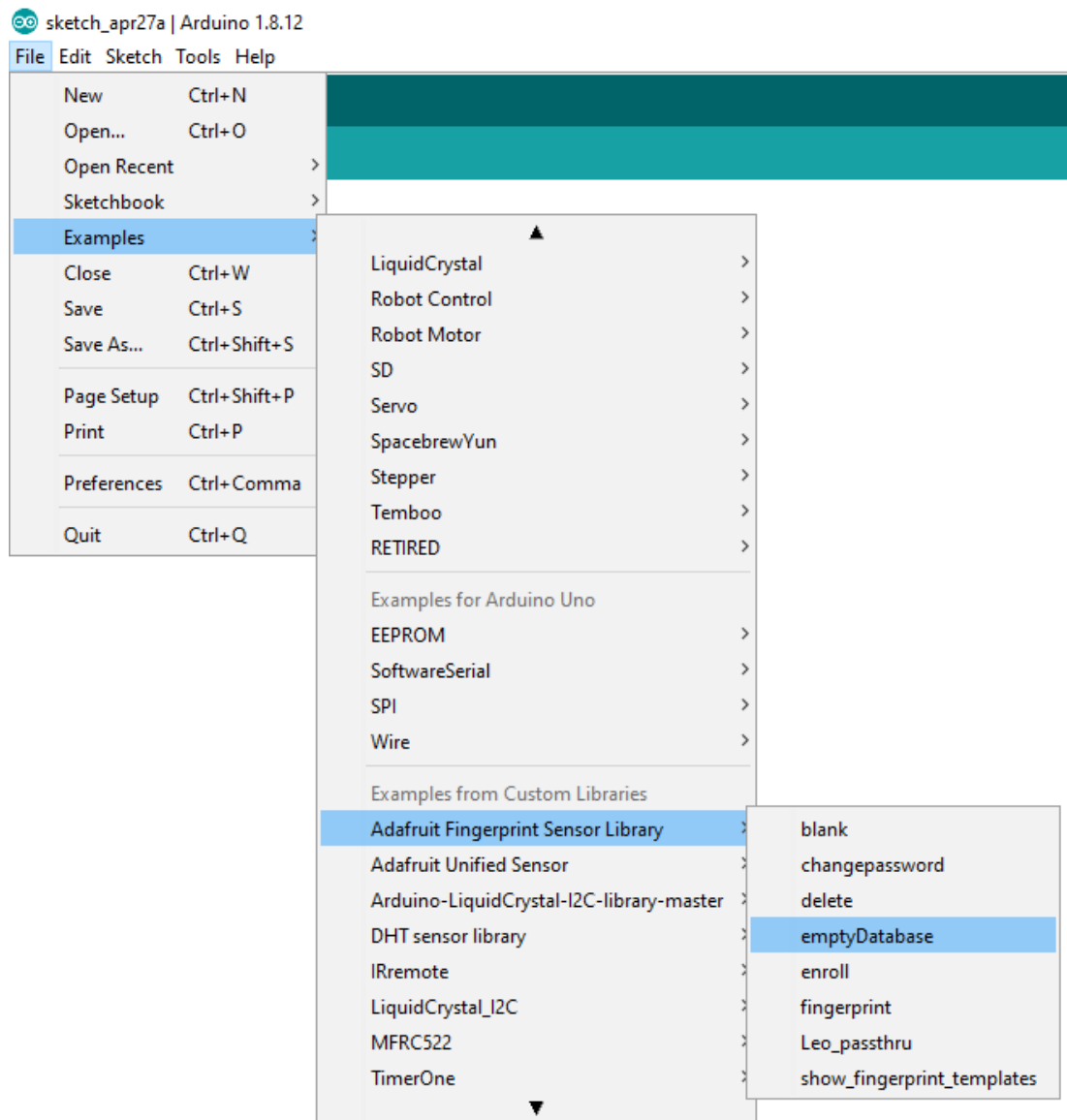
# UPISIVANJE OTISKA



# PREPOZNAVANJE OTISKA



# BRISANJE PODATAKA IZ ČITAČA



1. Po resetovanju i startovanju, kao i po parnom prepoznavanju MASTER otiska, uređaj se prevodi u mod upisivanja otiska.

Dok je uređaj u modu upisivanja na LCD-u u gornjem redu piše „UPISIVANJE #BrojUpisanihOtisaka.

Po pokušaju upisivanja otiska u donjem redu ispisuje se rezultat.

Ukoliko je otisak upisan ispisuje se: „Upisan: #ID“, u trajanju 5 sekundi, i ažurira se broj upisanih otisaka u gornjem redu displeja.

Ukoliko nije upisan, a bio je pokušaj, ispisuje se: „Nije uspjelo“, u trajanju 1 sekunda.

Ukoliko je otisak očitano prsta već upisan, ispisuje se „Već upisan #podBrojem“, u trajanju 5 sekundi.

Ukoliko je prepoznat MASTER otisak u donjem redu se ispisuje: „MASTER s:ukuanBrojPrepozn u:uzastopanBrojPrepoznavanja“, u trajanju jedna sekunda, i uređaj se prevodi u mod prepoznavanja.

Nakon isteka vremena za ispis poruke ispis u donjem redu displeja se briše. Novo očitavanje treba biti moguće i tokom trajanja ispisa u donjem redu.

Prvi upisani otisak proglašava se MASTER otiskom i dodjeljuje mu se broj 1. Svakom sljedećem upisanom otisku dodjeljuje se broj uvećan za 1.

**2.** Neparni broj očitavanja MASTER otiska prevodi uređaj u mod prepoznavanja, otiska prsta.

Dok je uređaj u modu prepoznavanja na LCD-u, u gonjem redu, piše „PREPOZN # BrojUpisanihOtisaka“.

Po očitavanju otiska i pokušaju identifikacije u donjem redu se ispisuje rezultat.

Ukoliko je otisak prepoznat ispisuje se: „Prepoznat: #ID“ (pri čemu je ID broj pod kojim je otisak upisan), u trajanju 5 sekundi.

Ukoliko nije prepoznat ispisuje se: „Nepoznat otisak“, u trajanju jedne sekunde.

Ukoliko je prepoznat MASTER otisak u donjem redu se ispisuje: „MASTER s:ukuanBrojPrepozn u:uzastopanBrojPrepoznavanja“, u trajanju 1 sekunda i uređaj se prevodi u mod upisivanja.

Nakon isteka vremena za ispis poruke ispis u donjem redu displeja se briše. Novo očitavanje treba biti moguće i tokom trajanja ispisa u donjem redu.

(2-1)



**3.** Ukoliko je broj uzastopnih očitavanja MASTER otiska 5, brišu se svi upisani otisci i broj uzastopnih očitavanja MASTER otiska, kao i ukupna broj očitavanja MASTER otiska, vraća se na nulu, i uređaj se prevodi u mod upisivanja otisaka.

Po brisanju memorisanih otisaka, u gornjem redu ispisati: „OTISCI“, u donjem redu „OBRISANI“, u trajanju 5 sekundi, nakon čega se vraća osnovni ispis.

(2-1)