



UNIVERZA  
V LJUBLJANI

**FRI**

Fakulteta za računalništvo  
in informatiko

# Slikovna forenzika

dr. Borut Batagelj  
sodni izvedenec

FORENZIČNO-KRIMINALISTIČNO TEHNIČNE PREISKAVE preiskave fotografij ter  
posnetkov video kamer (video nadzor)

Laboratorij za računalniški vid, UL-FRI

raziskovalno področje: slikovna biometrija

23.03.2026



## **Zakon o sodnih izvedencih, sodnih cenilcih in sodnih tolmačih (ZSICT)**

### 2. člen (status)

(1) Sodni izvedenci so osebe, imenovane za neomejen čas s pravico in dolžnostjo, da sodišču na njegovo zahtevo podajo izvid in mnenje glede strokovnih vprašanj, za katera tako določa zakon ali glede katerih sodišče oceni, da mu je pri njihovi presoji potrebna pomoč strokovnjaka.

# Strokovna vprašanja

Ali se na posnetkih pojavljajo iste osebe?

Ali se na posnetku nahaja obdolženi?

- obrazne karakteristike
- poškodbe
- višina
- dolžina obuvala

Analiza gibanja sumljive osebe.

Izboljšava zaseženega videoposnetka.

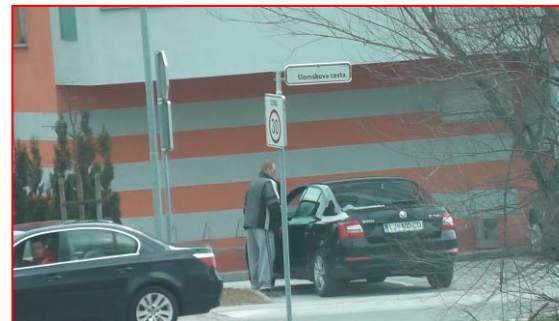
Ali so posnetki/fotografije pristne?  
določiti, potrditi snamalno napravo  
določiti čas nastanka

# Vsebina

## Avtentičnost slikovnega/video materiala



## Prepoznava oseb





## Pristnost posnetkov

Obdani z vizualnimi podobami

Zaupanje: nekoč in danes

- Rumeni tisk, modna industrija, mediji
- Znanstvene revije
- Politična propaganda
- Ponarejanje dokazov na sodišču
- Različne slikovne potegavščine (email)

Ponarejanje je dandanes enostavno

- Razširjenost digitalnih kamer
- Dostopnost do programske opreme za manipulacijo

Naloga digitalne forenzike: **Povrniti zaupanje**





## Globoki ponaredki



You Won't Believe What Obama Says In This Video!

# Metode za odkrivanje ponaredkov

## Aktivne metode

Vodni žig

Digitalni podpis

CAI in C2PA

## Pasivne metode

Ni vidnih sprememb

Spremeni se notranja statistika podatkov

Klasične metode

Metode na osnovi globokega učenje



## Pasivne metode

- Na nivoju slikovnega elementa
- Na nivoju formata (izgubno stiskanje)
- Lastnosti kamere: leče, senzor, obdelava na čipu
- Fizikalne lastnosti (objekt-osvetlitev-kamera)
- Geometrijske lastnosti (fotogrametrija)



# Na nivoju slikovnega elementa

- Druge analize
  - identifikacija : DNK, prstni odtis, obraz
  - odontologija : zobovje
  - entomologija = nauk o žuželkah : insekti
  - geologija : prst, zemlja
- Digitalna računalniška forenzika: bit
- Forenzična analiza slik: **slikovni element**



# Na nivoju slikovnega elementa

- Kloniranje
- Ponovno vzorčenje
- Spajanje
- Statistika (pomen)

Objavljena slika



Originalna slika



Oprah



v telesu Ann Margret



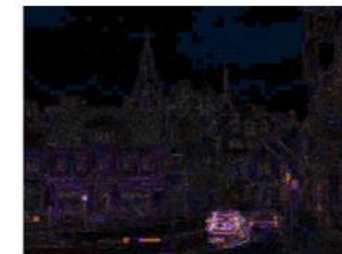
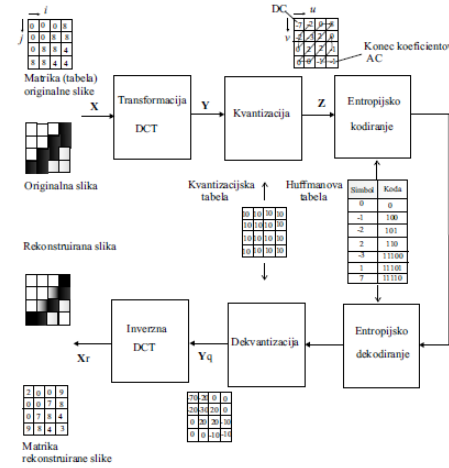
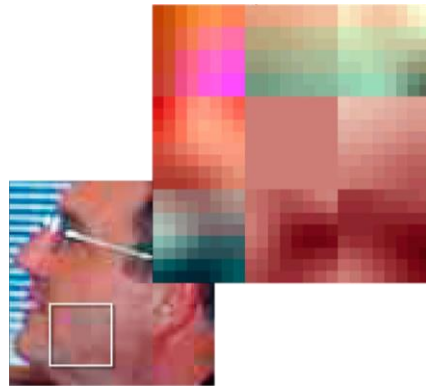
# Na osnovi formata

- Prvo pravilo forenzične analize
  - Ohraniti dokaze
- Ali je izgubni format JPEG težava?
  
- Lastnosti JPEG se lahko uporabi za forenzično analizo:
  - Kvantizacija
  - Dvojna kompresija
  - Nivojska analiza napake
  - JPEG bloki



# Na osnovi formata

- JPEG Kvantizacija
- Dvojni JPEG
- Nivojska analiza napake
- JPEG bloki



Dvojna kompresija na delu slike!



Error level analysis - ELA



# Na osnovi kamere

- Utori na izstrelku
  - povezava z orožjem
  
- Lastnosti kamere se odražajo na slikah
  - Kromatična aberacija
  - Barvna matrika
  - Odziv kamere
  - Šum sensorja



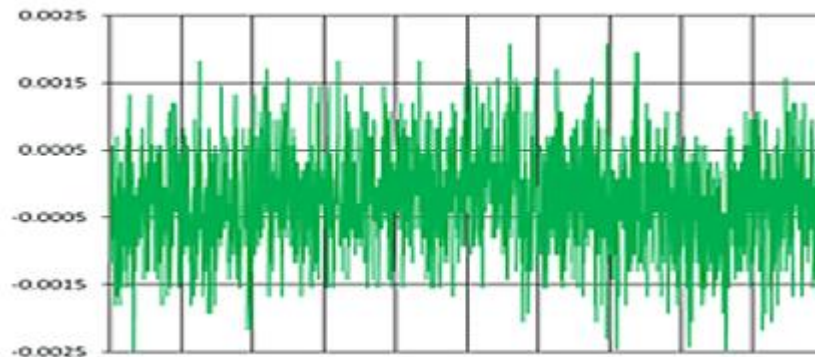


# Na osnovi kamere

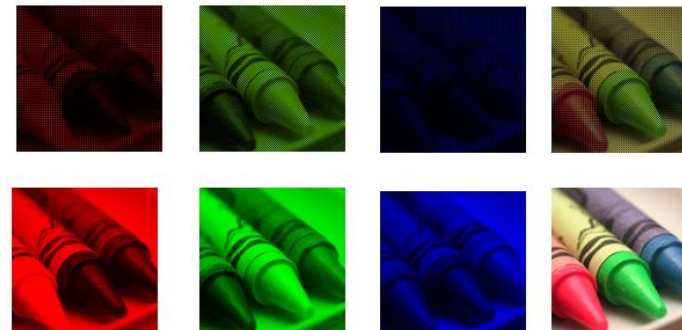
- Kromatična aberacija



- Odziv kamere
- Šum sensorja



- Barvna matrika

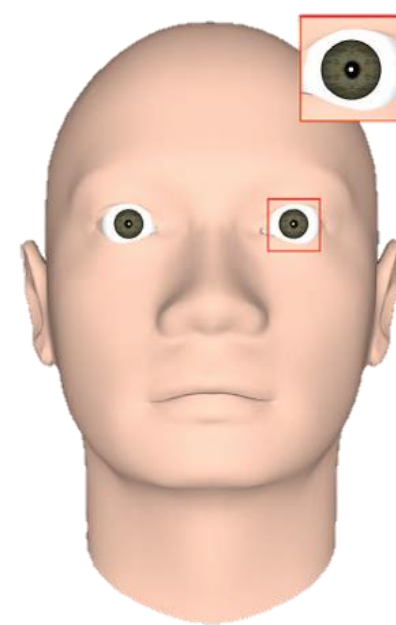




Fizika

# Usmerjenost svetlobe (3D)

- Pomagamo si z odbojem v očeh
  - Primerjamo za različne ljudi





# Fotogrametrija

– Transformacija slike

- Meritve



- Razberemo oznako/besedilo



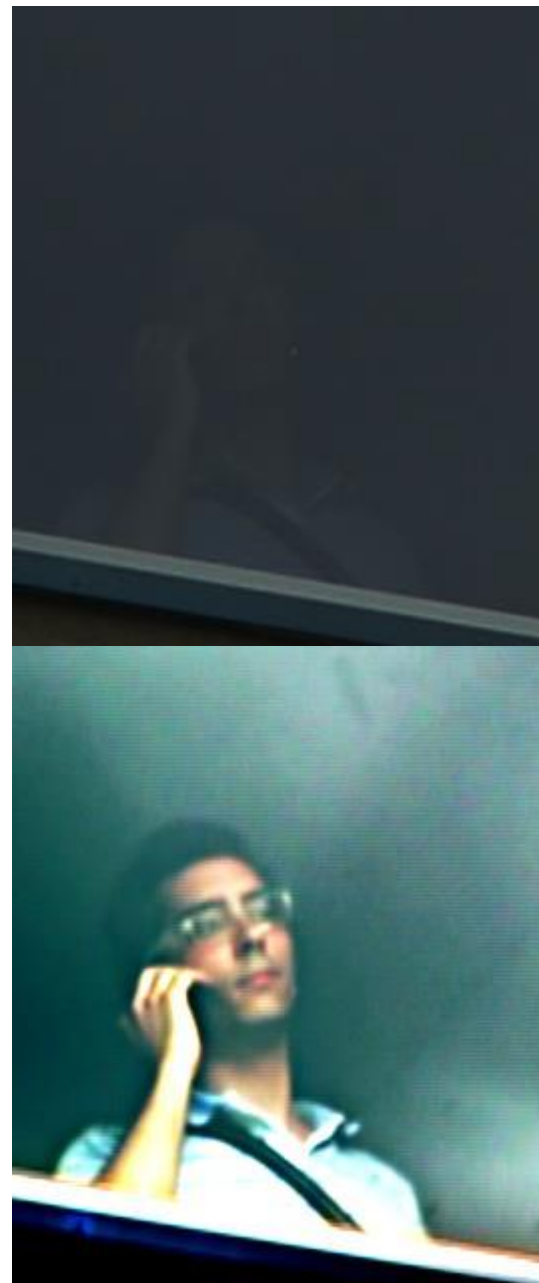
Ocena višine  
(SVM)





## Druge tehnike

1. Posvetlitev (nočni posnetki)
2. Povečava kontrasta
3. Odstranitev šuma
4. Stabilizacija videa
5. Popravek premika
6. Razvijanje 360 posnetka
7. Korekcija napak leč





# Metode za manipulacijo obraza

- Generiranje novega obraza
- Zamenjava identitete
- Manipulacija določenih atributov
- Zamenjava izraza (ustnice)
- Druge manipulacije





# Generiranje novega obraza

- <https://thispersondoesnotexist.com/>
- <https://generated.photos/face-generator>

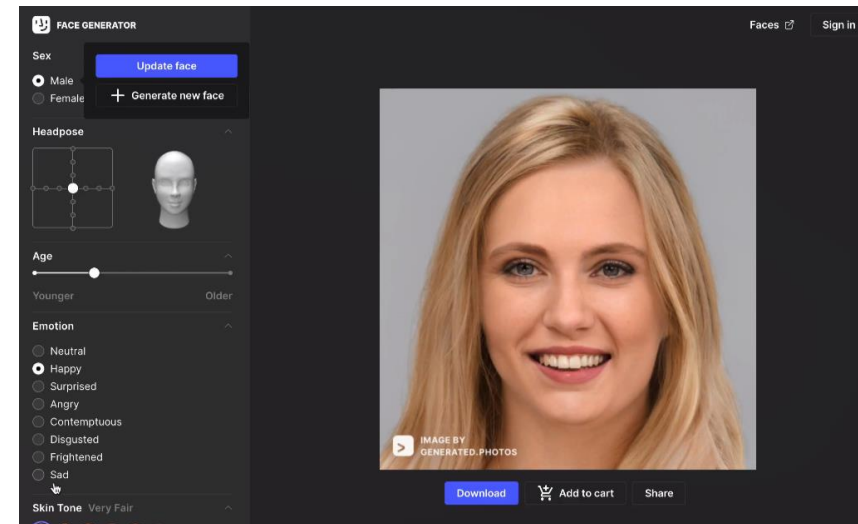
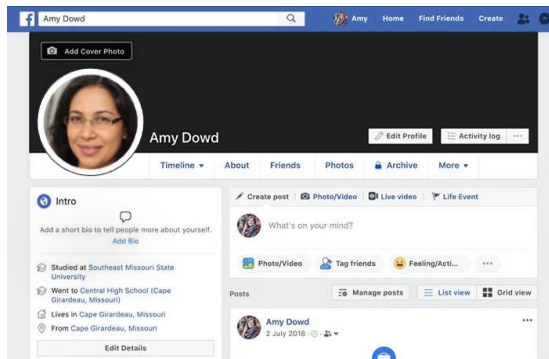


## Uporabnost:

- 3D modeliranje (igre)
- Filmska industrija

## Nevarnosti:

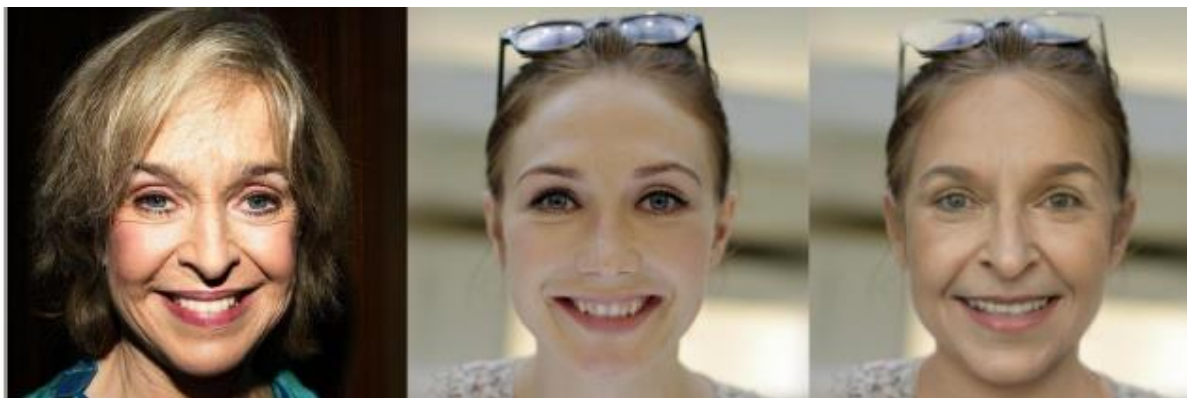
- lažni profil na soc. omrežjih
  - Letno odkrijejo več tisoč lažnih računov.





# Zamanjava identitete

- S pomočjo rač. grafike
- S pomočjo globokih nevronskega modelov



Izvorna slika: identiteta

ponorna slika: atributi

Generirana slika

## Uporabnost:

- Zabavna industrija
- Filmska industrija

## Nevarnosti:

- Lažni pornografski posnetki
- goljufije





# For fun



Nicolas Cage DeepFake



Tom Cruise Deepfake



AGT 2022 by [Metaphysic](https://www.youtube.com/watch?v=mPU0WNUzsBo)

(<https://www.youtube.com/watch?v=mPU0WNUzsBo>)



America's Got Talent Semi-Finals

<https://www.youtube.com/watch?v=mJeE9BNEa-o>





# My attempt



Replacing the face of Nataša Ivanuš Čuček [left] with that of the presenter Renata Dacinger.



**Let's bite the science**



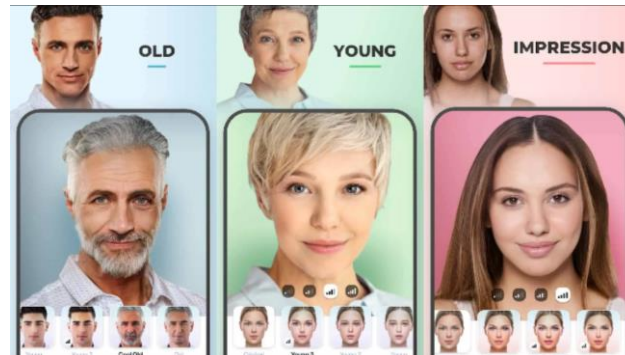


# Manipulacija določenih atributov

- Sprememba frizure, barva kože, spola, starosti



Mobilna aplikacija:  
FaceApp



Uporabnost:

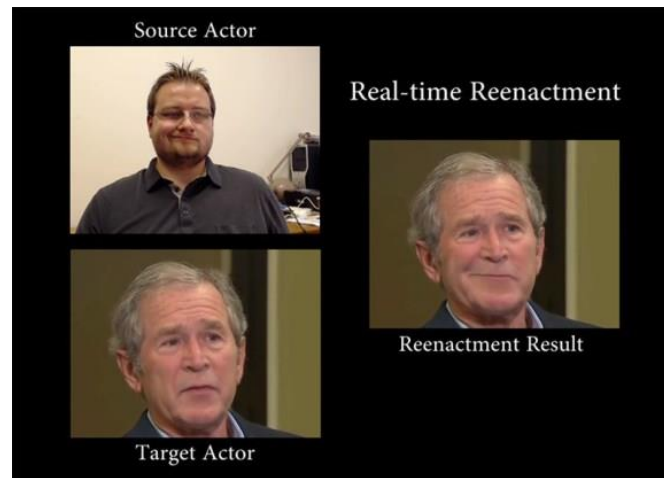
- Virtualno okolje
  - Preizkus modnih dodatkov
  - Ličila
  - Kozmetika
  - Pričeska





# Zamenjava izraza (ustnice)

- Rekonstrukcija obraza
- Tehnike:
  - Face2Face
  - Neural Textures



<https://www.youtube.com/watch?v=ohmajJTcpNk>

Goljufija

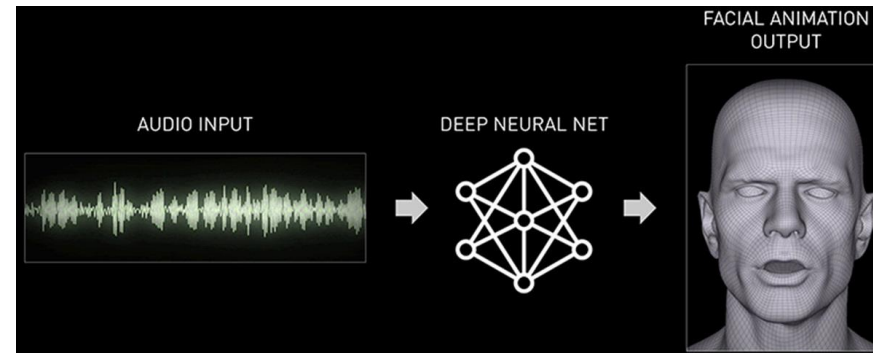
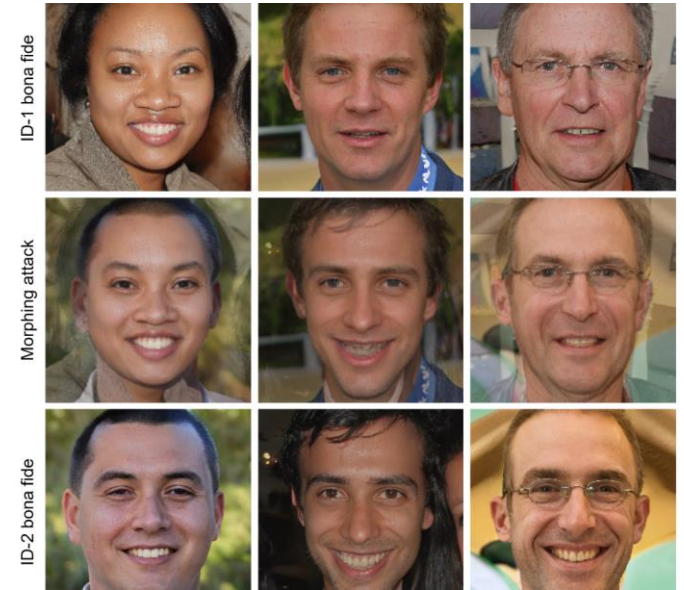
- Nekdo reče kar ni rekel





# Druge manipulacije

- Preoblikovanje obraza (morphing)
  - Ustvarjanje umetnih biometričnih vzorcev obraza
- Anonimizacija (deidentifikacija) obraza
  - Odstranitev identitete (ali določne značilnosti) iz obraza
- Zamenjava izraza
  - Iz zvoka v video
  - Iz besedila v video





# Pornoindustrija

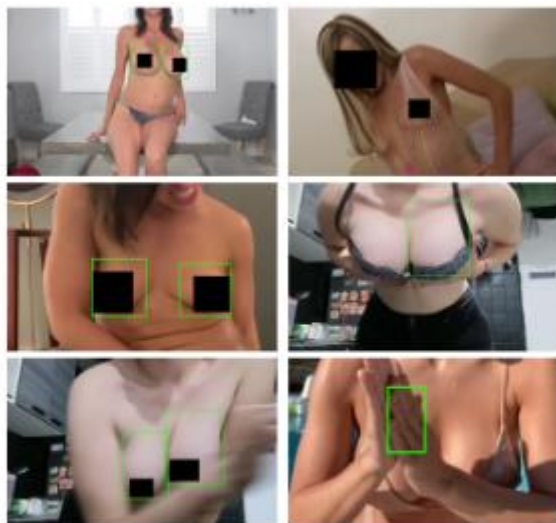


Fig. 5: Examples of accurately detected breast regions on the left and poorly detected breast regions on the right. Some images are cropped to better fit the figure and censored with black boxes here in the paper, whereas the dataset contains original images.



Avtomatska detekcija in prepoznavna oseb (žensk) na podlagi prsi.

Preliminary Study on Detection of Breasts,  
Pristavnik Vrešnjak Matic, Perušič Ani, Emeršič Žiga, Peer Peter, Batagelj, Borut



## Large-Scale Video Generative Models



oštro: Poljub poslanca stranke SDS:  
Žan Mahnič in Andrej Poglajen?

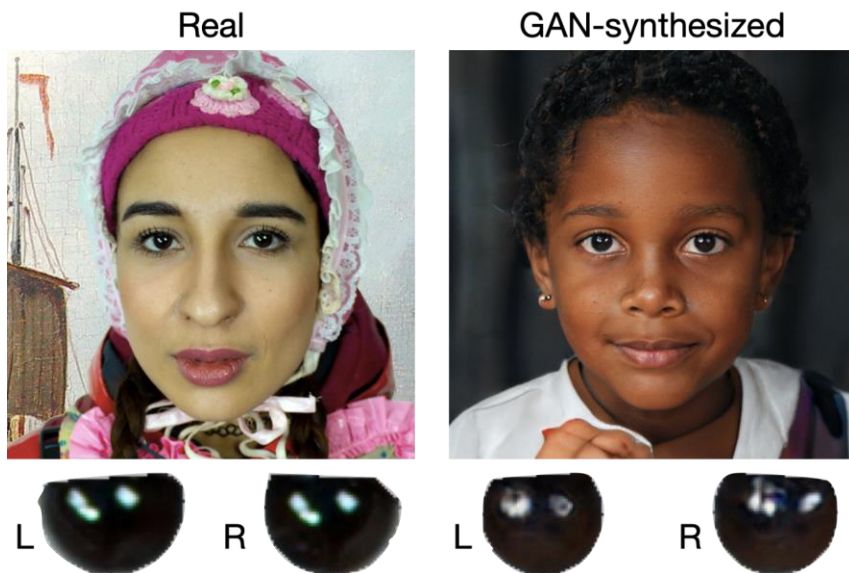
# Detekcija globokih ponaredkov (slike)

- Vidne napake na generiranih oz. spremenjenih slikah
  - **Artefakti na sliki (ozadje)**
  - **Zobje pri nefrontalnih obrazih**



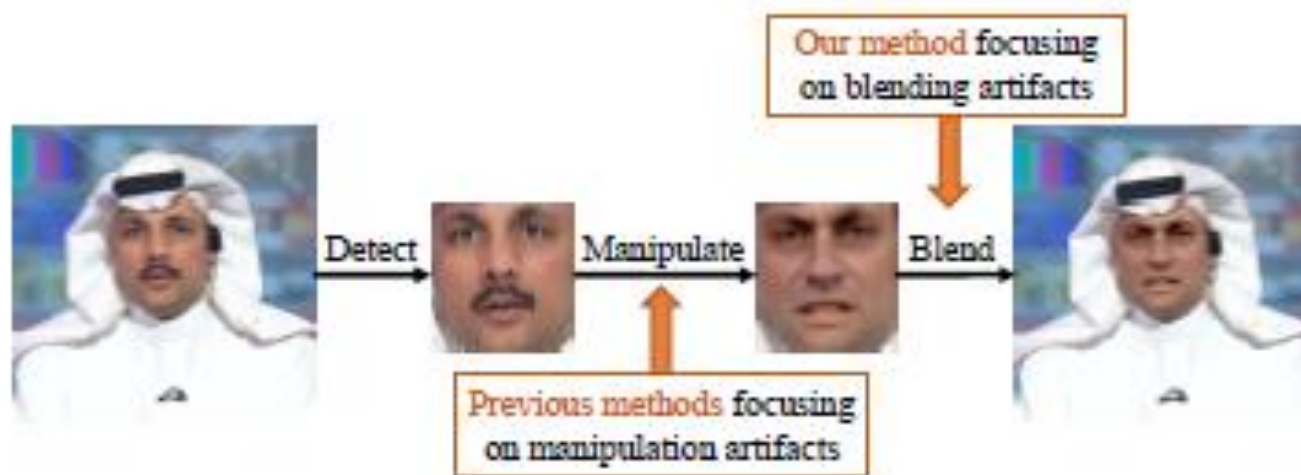
# Detekcija globokih ponaredkov (slike)

- Vidne napake na generiranih oz. spremenjenih slikah
  - Artefakti na sliki (ozadje)
  - Zobje pri nefrontalnih obrazih
  - **Simetrija (uhlji, oči, uhani)**
  - **Nepravilne zenice in odsev**



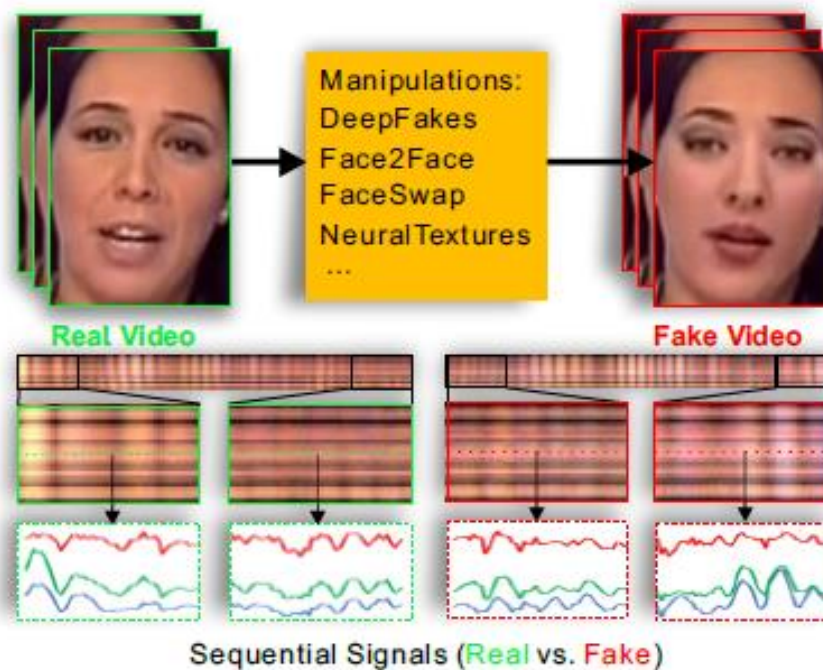
# Detekcija globokih ponaredkov (slike)

- Vidne napake na generiranih oz. spremenjenih slikah
  - Artefakti na sliki (ozadje)
  - Zobje pri nefrontalnih obrazih
  - Simetrija (uhlji, oči, uhani)
  - Nepravilne zenice in odsev
  - **Iskanje zameglitev na robovih**



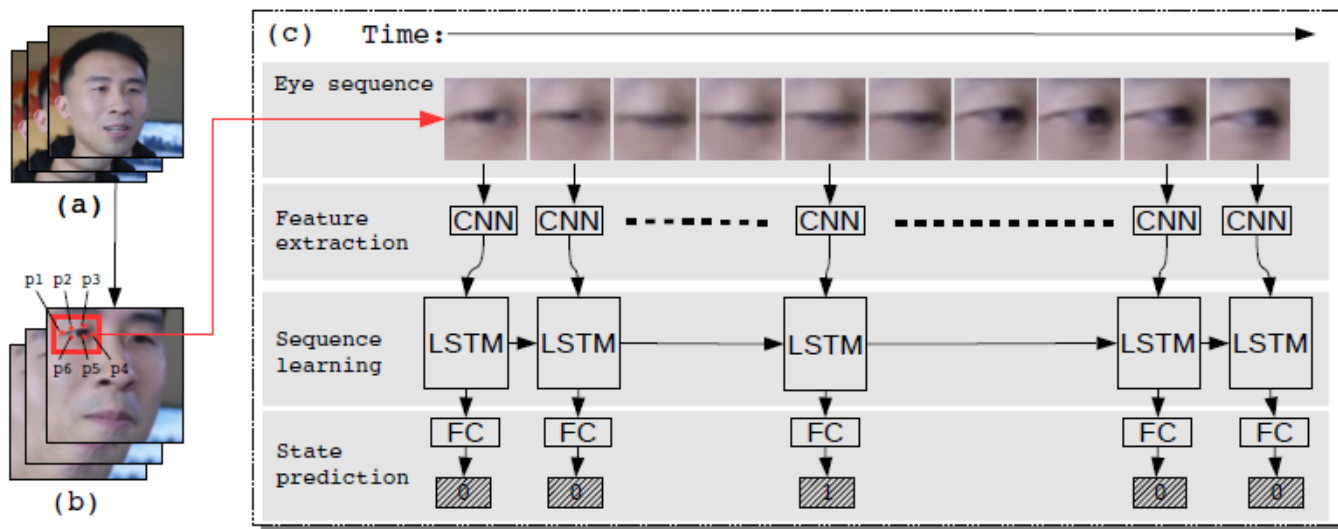
# Detekcija globokih ponaredkov (**video**)

- Nepravilnosti med okvirji
  - **Ritem utripanje srca**  
(fotopletizmografija)



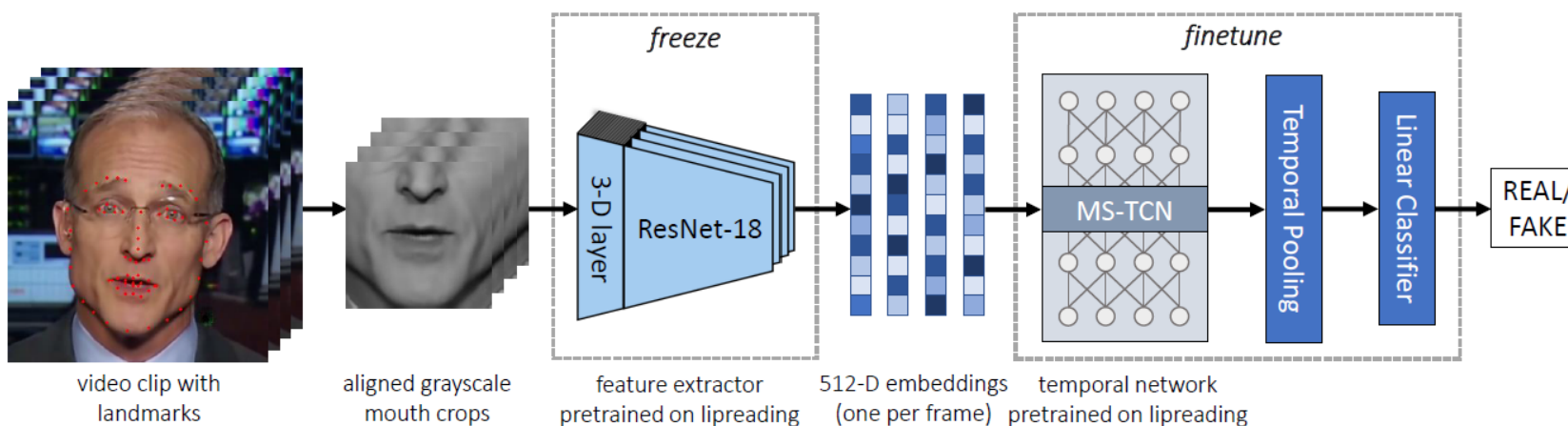
# Detekcija globokih ponaredkov (video)

- Nepravilnosti med okvirji
  - Ritem utripanje srca (fotopletizmografija)
  - **Neenakomerno mežikanje**



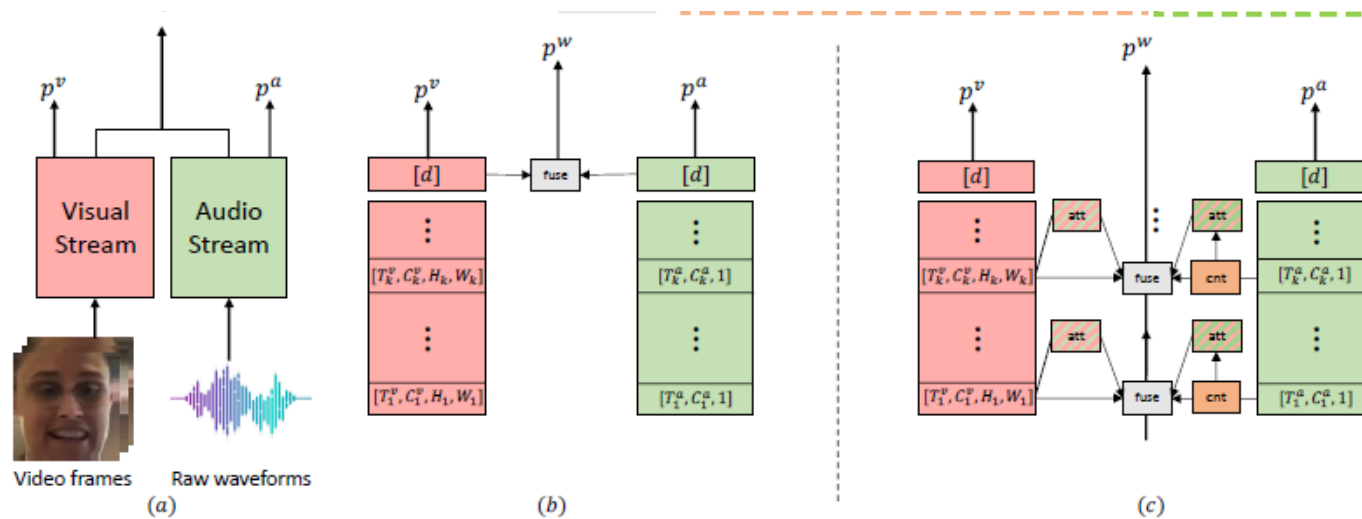
# Detekcija globokih ponaredkov (video)

- Nepravilnosti med okvirji
  - Ritem utripanje srca (fotopletizmografija)
  - Neenakomerno mežikanje
  - **Neskladnost v premikanju ustnic**



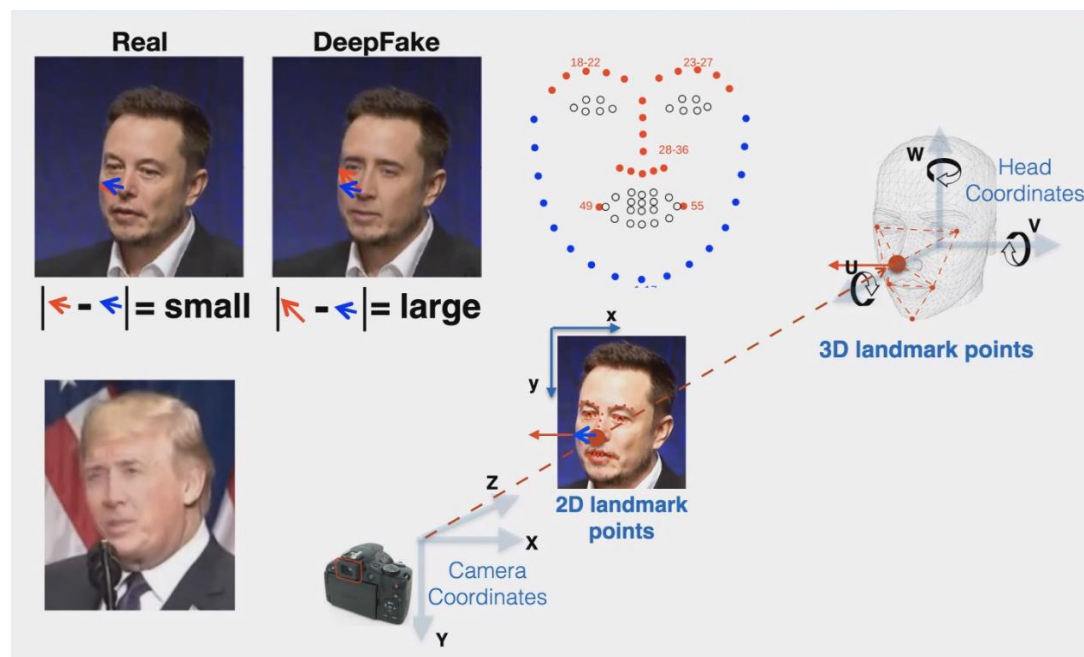
# Detekcija globokih ponaredkov (video)

- Nepravilnosti med okvirji
  - **Neskladnost med avdio in video**

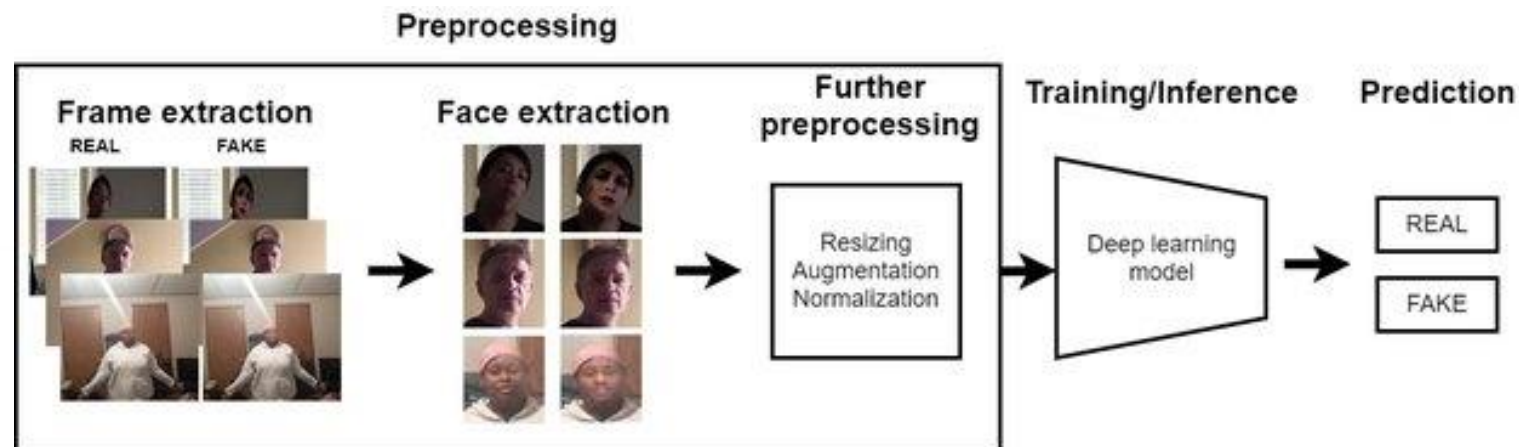


# Detekcija globokih ponaredkov (video)

- Nepravilnosti med okvirji
  - Neskladni premiki
  - **Nekonsistentnosti pri različnih položajih glave**

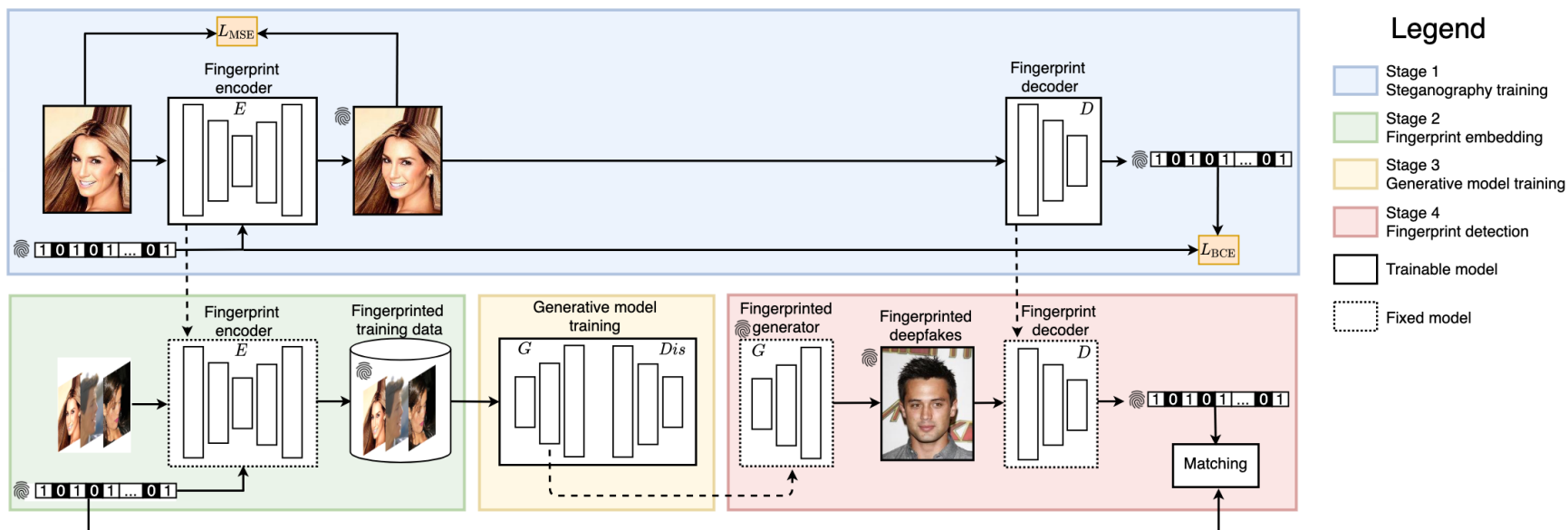


# CNN: Na podlagi podatkov

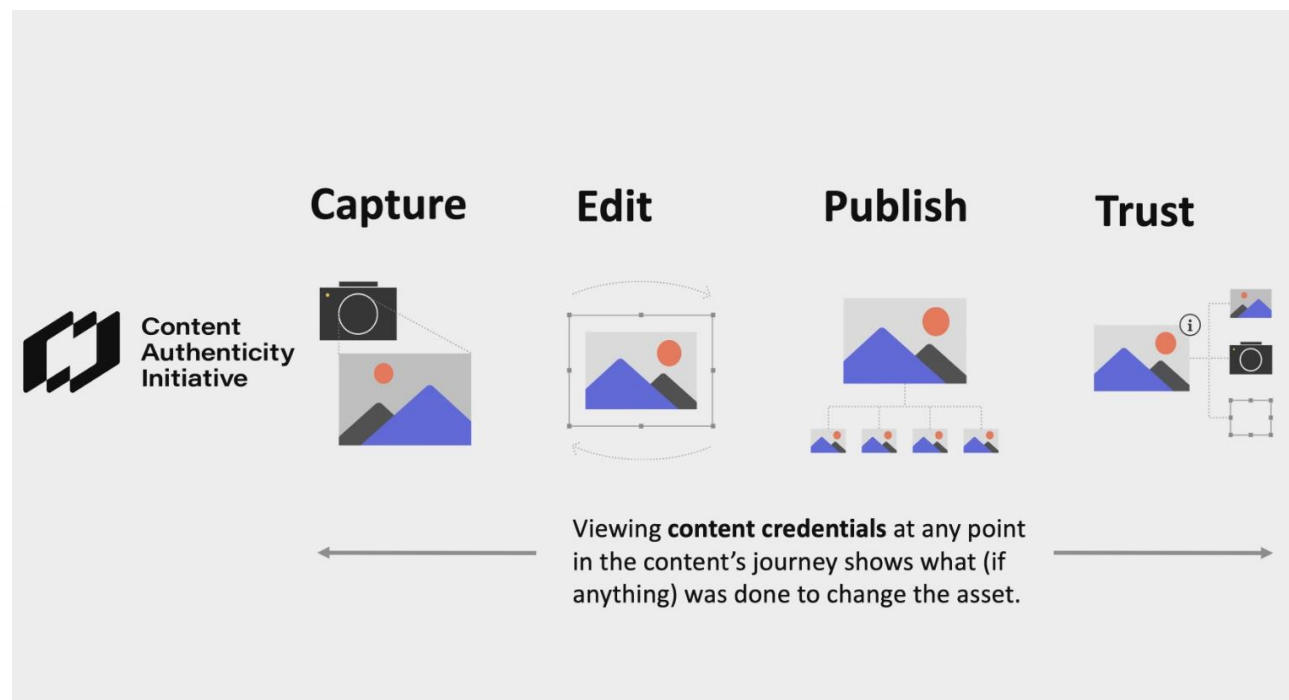


- Iskanje značilik
- Učenje na podlagi podslik (patch)
- Iskanje vzorca (Fingerprint) ki ga generira GAN

# Digitalni žig

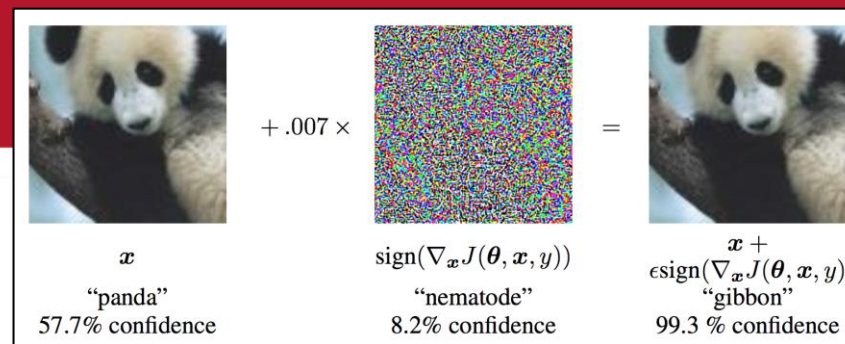


# Pobuda: pristnost vsebine

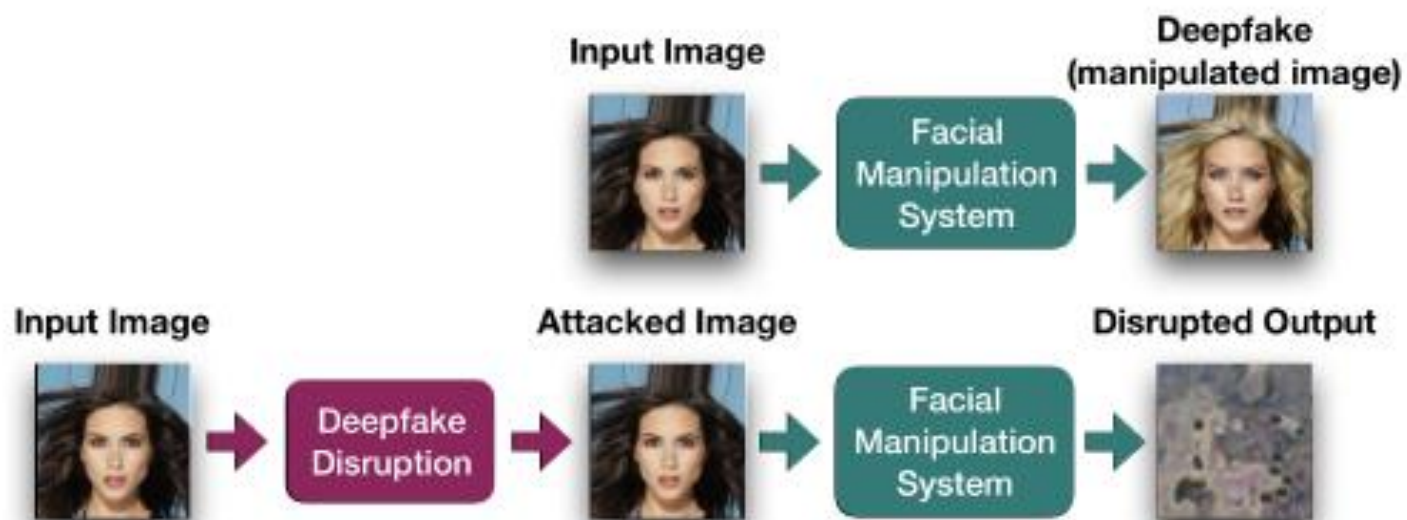


The Coalition for Content  
Provenance and Authenticity (C2PA)

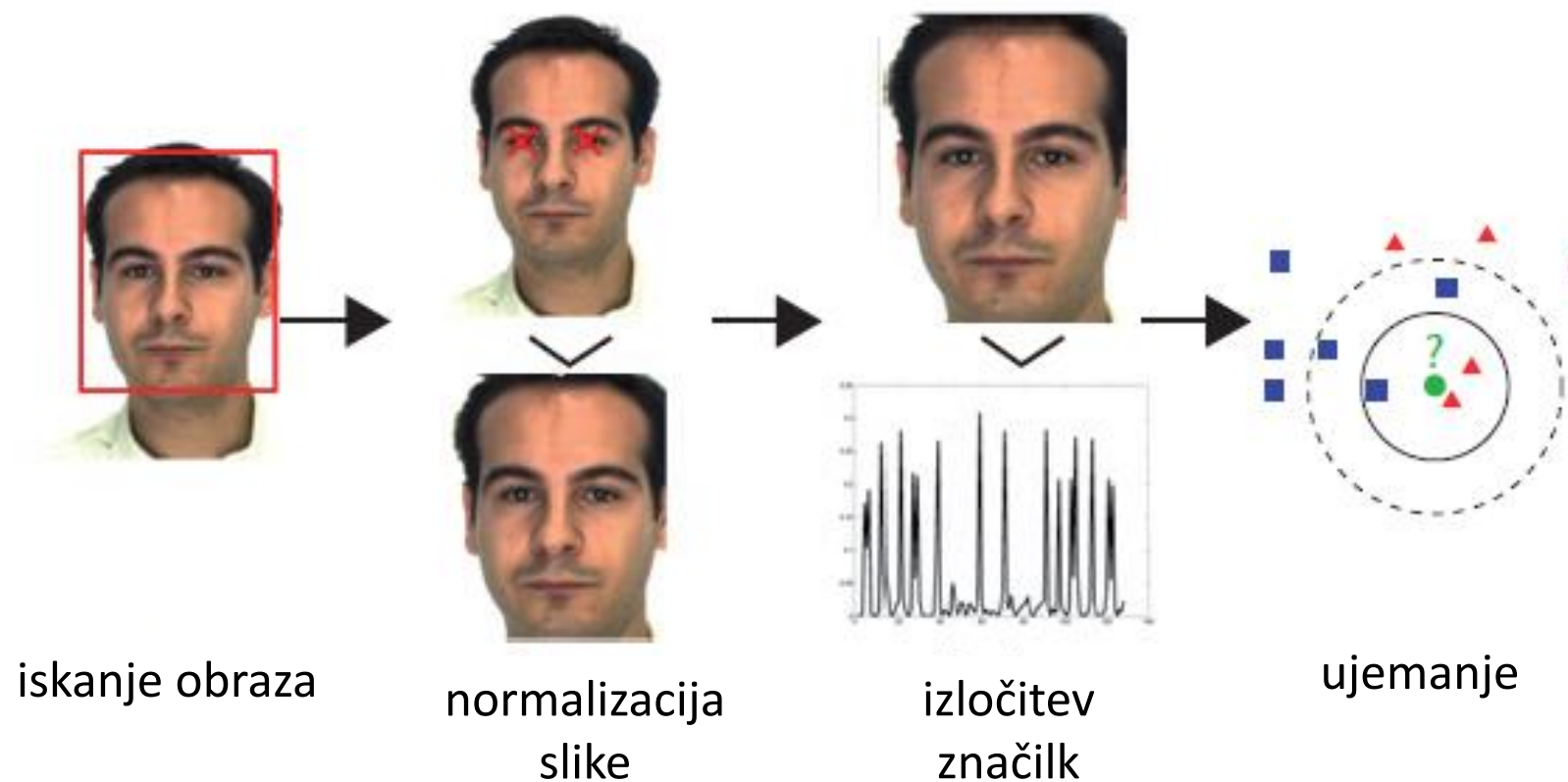
# Nasprotniški napad



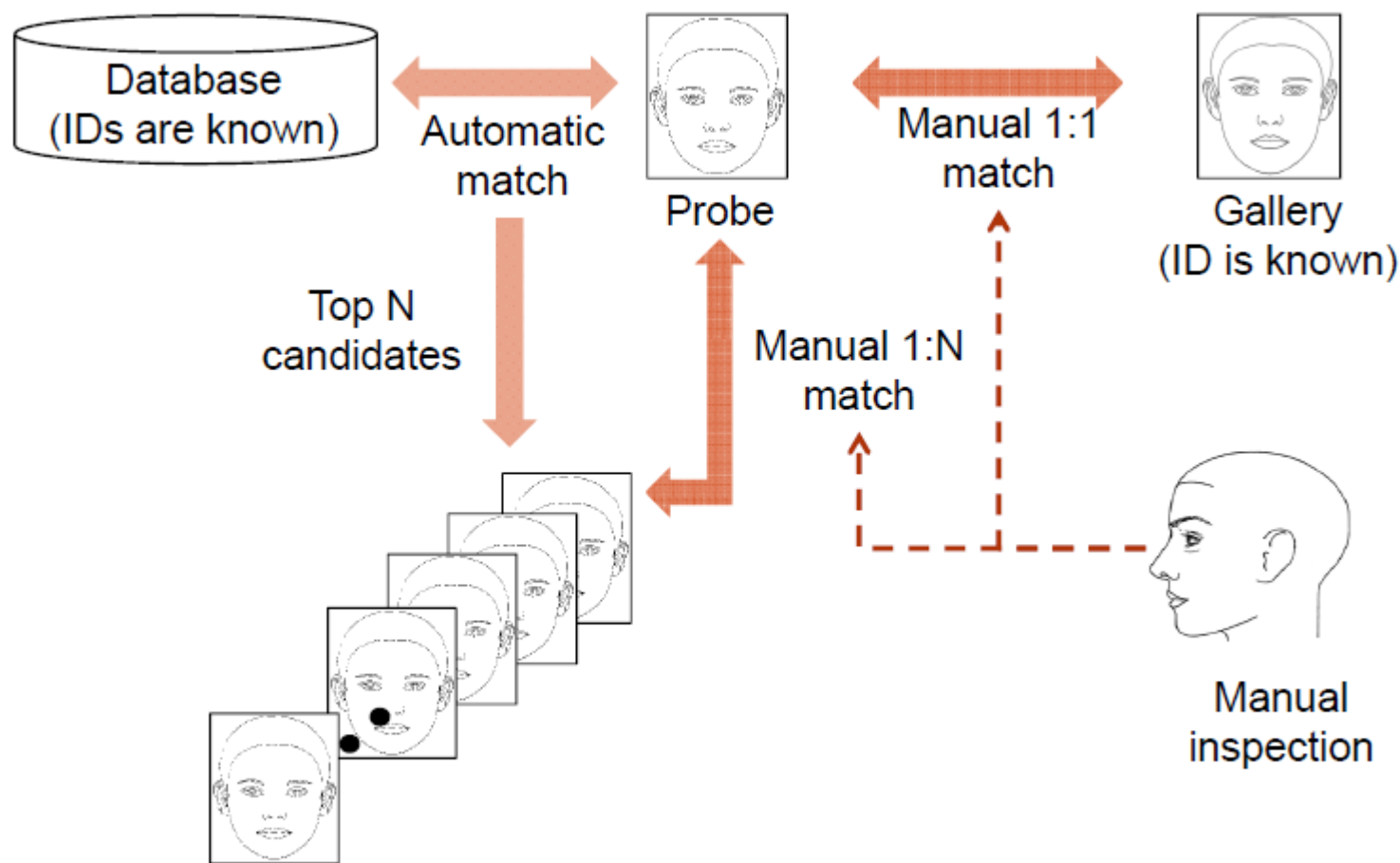
Goodfellow et al. 2015



# Klasični sistem za prepoznavo obrazov

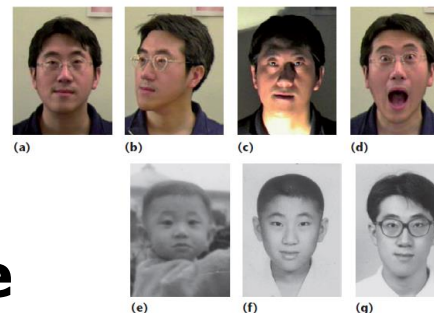
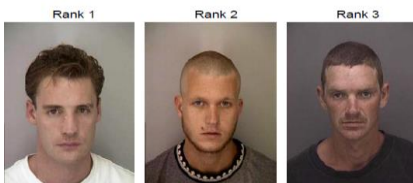


# Delovanje forenzičnih aplikacij



# Prepoznava obrazov v forenzičnih aplikacijah

- Identifikacija
  - Prstni odtisi, kri (DNK), odtis stopala
  - Veliko kamer -> prepoznava iz obraza
- Trenutni sistemi za prepoznavanje obrazov
  - V pomoč
  - Še veliko izzivov

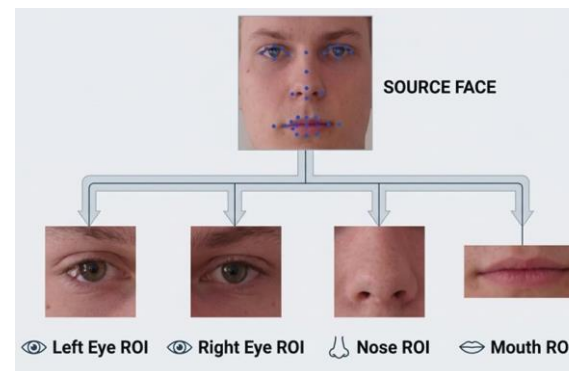


- Slike **slabše kvalitete**
- Robustnost na **staranje**
- Uporaba **znamenj** na obrazu
- Primerjava (sestavljene) obraznih skic s sliko
  - » Zorni kot kamere

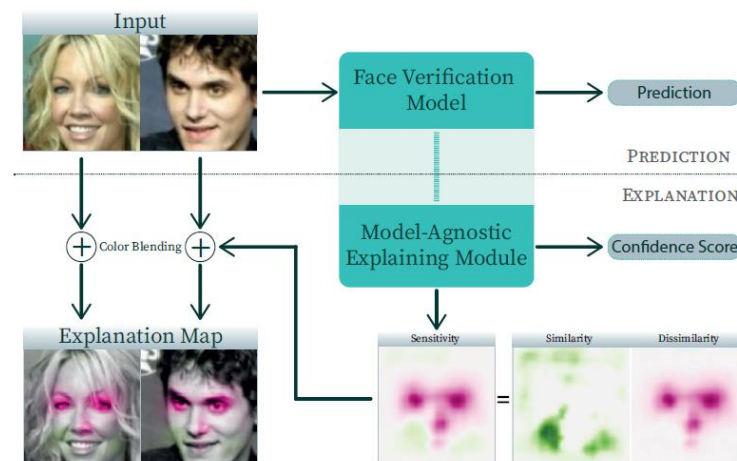




## Razložljiva UI



- Multipart-Based Face Recognition
- Razgradnja kompleksnih biometričnih modelov v človeku razumljive koncepte
- X-Maps in C-Score

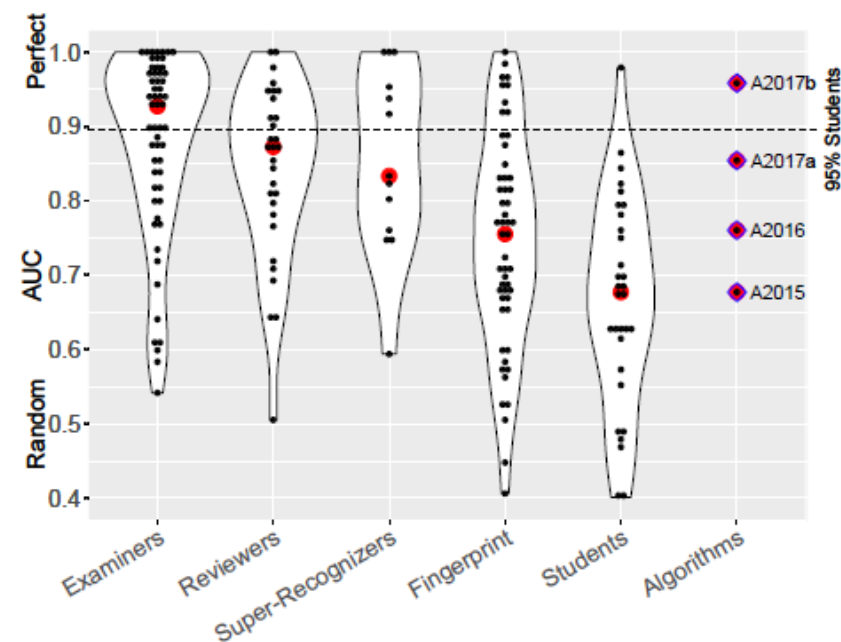


# Raziskave<sub>1</sub>

- Različne skupine
  - Forenzični preiskovalci za obrazno prepoznavo
  - Prepoznavalci obrazov
  - Superpoznavalci
  - Preiskovalci za prstne odtise
  - Študentje

Proti

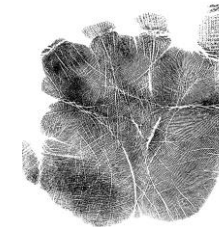
- Računalniški sistemi (CNN)
  - A2015 – A2017<sub>2</sub>



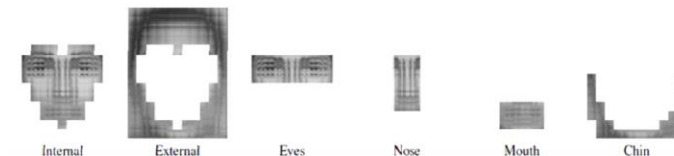


# Izzivi

- Video posnetki (različni pogledi, kvaliteta)
- Prepoznavna blizu infrardeče osvetlitve
- Tetovaže
- Identifikacija:
  - Odtisi dlani, uhlji, beločnica, prstne sledi



- Prihodnost
  - Večja veljava obrazne prepoznavne na sodišču
  - Prepoznavna obraznih delov in verjetnost ujemanja
    - oči, nos, usta, obrvi, ličnice



University of Ljubljana  
Faculty of Computer and  
Information Science



Hvala za  
pozornost

23. marca  
2026