

# SISTEM ZA VERIFIKACIJO OSEBE NA PODLAGI ŠARENICE

Gorazd Vrčec, Peter Peer

Laboratorij za računalniški vid,  
Fakulteta za računalništvo in informatiko, Univerza v Ljubljani,  
Tržaška 25, 1000 Ljubljana

---

**POVZETEK:** *Biometrično prepoznavanje osebe na podlagi šarenice človeškega očesa je dobro preučena tehnika in primerna za uporabo v sistemih potrebnih zaščite visoke stopnje. V članku je predstavljen razvit sistem verifikacije osebe na podlagi šarenice. Predstavljena je problematika biometričnih sistemov, potreben del poznavanja anatomije človeškega očesa in načela algoritma prepoznavanja. V osrednjem delu je predstavljen algoritem verifikacije, ki je sestavljen iz procesiranja vhodne slike z namenom pridobitve informacije o šarenici, normalizacije šarenice in izbora značilnic ter same verifikacije osebe. Za izbor značilnic je bil uporabljen Gaborjev filter, na osnovi katerega je bila nato ustvarjena bitna predloga šarenice. Nad to predlogo je bila v končnem postopku izračunana Hammingova razdalja, ki s testom ujemanja verificira osebo. Predstavljeni rezultati so bili dobljeni nad slikovno podatkovno zbirko CASIA, pri kateri je bil odločitveni prag neodvisnosti predloge postavljen na Hammingovo vrednost 0,427, ki zagotavlja 0% napačno odobritev ter 11,584% napačno zavrnitev nad testno množico.*

---

## 1. UVOD

Tradicionalne metode za verifikacijo osebe so osnovane na tem, kaj ima ta oseba v lasti (osebno izkaznico, fizični ključ itd) oziroma kaj si je oseba zapomnila (gesla in podobno). Vendar ima vsaka od teh metod tudi svojo slabost. Ključni se lahko izgubijo, osebne izkaznice ponaredijo, gesla se pozabijo [4].

Prednosti v sodobni informacijski tehnologiji nam danes omogočajo dostop do različnih zasebnih podatkov, bančnih storitev in varovanih informacij, a hkrati prinesejo veliko večjo ranljivost v varnosti teh podatkov in sistemov pred vdori vsiljivcev. Tako je povečan pritisk po zasebnosti in varnosti podatkov pripeljal do hitrega razvoja inteligentnih osebnih identifikacijskih sistemov na področju biometrije [5].

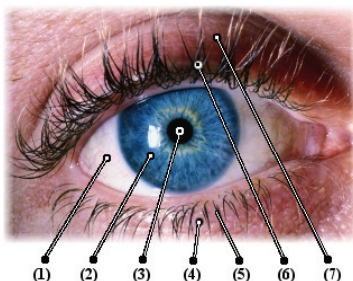
### 1.1 Biometrični sistemi

Biometrični sistemi zagotavljajo samodejno razpoznavanje posameznika na podlagi njegovih unikatnih fizioloških ali vedenjskih značilnosti, ki jih ima le-ta v posesti. Navadno uporabljene biometrične značilnosti vsebujejo lastnosti obraza, prstnega odtisa, zvoka, obrazne termograme, šarenice (angl. iris), drže (hoje), odtisa dlani, geometrije

roke itd. [5]. Vzorec teh lastnosti je nato transformiran z različnimi matematičnimi metodami in funkcijam v biometrično predlogo (angl. template). Ta predloga vsebuje bistvene značilnosti, ki so nato lahko objektivno primerjane z drugimi predlogami z namenom identifikacije (Kdo je ta oseba?) ali verifikacije (Ali je to res ta oseba?). Izmed vseh teh značilnosti biometričnih sistemov je bila verifikacija na podlagi prstnega odtisa deležna posebne pozornosti in je uspešno uporabljena v pravno uveljavljenih aplikacijah. Prav tako sta bila v zadnjih 30 letih široko preučena sistema razpoznavanja obraza ter zvoka, medtem ko je razpoznavanje šarenice novejši pristop za identifikacijo osebe [5]. Znano je, da je razpoznavanje šarenice ena najbolj zanesljivih identifikacij na področju biometričnih sistemov, saj naj bi bila verjetnost dveh oseb z identično šarenico skoraj nič [5,6]. Prav zaradi tega je prepoznavanje na osnovi šarenice postalo pomembna biometrična rešitev verifikacije. V primerjavi z ostalimi biometričnimi verifikacijami je prav šarenica najbolj stabilna in s tem tudi najbolj zanesljiva biometrična verifikacija skozi življenjsko dobo človeka.

## 1.2 Anatomija očesa

Človeško oko je organ vida, ki sliko zunanjega sveta s pomočjo vidne poti prenaša v možganske centre. Sestava tega organa je kompleksna. Nas na tem mestu zanima samo sestava zunanjega, vidnega dela očesa, kar prikazuje slika 1. Šarenica je okrogle oblike različnih barv, obdana z beločnico (angl. sclera), ki je načeloma bele barve. Šarenica je zelo verjetno delno prekrita tudi z zgornjo in spodnjo veko (angl. eyelid) očesa ter trepalnicami (angl. eyelashes). Na sredini šarenice se nahaja krog povsem črne barve imenovan zenica (angl. pupil), ki prepušča svetlobo v notranjost očesa in nato v procesni center, možgane.



Slika 1. Človeško oko, kjer so (1) beločnica, (2) šarenica, (3) zenica, (5,6) trepalnice, (4,7) vekli.

Iz raziskav so bile pridobljene informacije, da se premer šarenice giblje nekje med 10 mm in 12 mm, širino zenice je težje določiti, saj se spreminja tako s starostjo kot tudi s trenutnim psihičnim stanjem osebe, običajno pa je med 2 mm in 5 mm [2].

Dobra značilnost šarenice je, da je notranji organ, čigar kompleksna struktura je vidna navzven in zaščitena z prozorno plastjo roženice (angl. cornea) pred poškodbami. Prav tako je pozitivno to, da šarenica od prvega leta starosti dalje ohranja svojo kompleksno strukturo nespremenjeno skozi vso svojo življenjsko dobo [6,7].

### 1.3 Načela algoritma prepoznavanja

Algoritem prepoznavanja šarenice mora sprva zaznati približno koncentrični krožnici in sicer zunanjo mejo šarenice, ki meji na beločnico, in notranjo mejo šarenice, ki meji na zenico očesa (slika 1). Množica slikovnih točk, ki pokriva predel šarenice, je nato pretvorjena v bitni vzorec, ki vsebuje podatek za statistično primerjanje med dvema slikovnima predlogama šarenice. Tu so nato uporabljene matematične metode za prepoznavanje. V Dougmanovem algoritmu [7,8] je uporabljena transformacija z Gaborjevimi valčki (angl. Gabor wavelet) [9] z namenom izveleči prostorsko frekvenčno območje, ki vsebuje enega od najboljših koeficientov odstranjevanja šuma, upoštevajoč kvaliteto izostritve kamere na razpolago. Rezultat je množica kompleksnih števil, ki nosijo lokalno amplitudo in delno informacijo šarenice s slike. V Dougmanovem algoritmu so vse amplitudne informacije zavržene in končnih 2048 bitov, ki predstavlja šarenico, vsebuje samo dele kompleksne predstave slike šarenice v Gaborjevem domenskem prostoru. Odstranitev amplitudne informacije zagotavlja, da predloga večinoma ostane neprizadeta kljub spremembam v osvetlitvi okolja, poleg tega pa dejansko zanemarimo barvo šarenice, kar pa pomembno prispeva k dolgi življenjski stabilnosti biometrične predloge. Za verifikacijo je ustvarjena predloga iz posnetka šarenice, ki je nato primerjana s shranjeno vrednostjo predloge v podatkovni zbirki. Če je Hammingova razdalja (angl. Hamming distance) pod določeno mejo, potem je bila verifikacija osebe uspešna.

Praktični problem verifikacije šarenice je običajno delna pokritost le-te z očesnimi vekami in trepalnicami. Da bi se izognili oziroma zmanjšali neuspeh verifikacije, so v teh primerih potrebni dodatni algoritmi za identifikacijo očesnih vek in trepalnic ter odstranitve tega dela v predlogi pred operacijo primerjanja [3].

### 1.4 Uporaba algoritmov prepoznavanja šarenice

Algoritmi za prepoznavanje šarenice se danes uporabljajo v mnogih napravah za različne namene. Podjetja Sandia Labs, Oki, EyeTicket, IBM, Simens, IriTech, LG, Iridian Technologies, Sagem idr. uporabljajo tehnologijo prepoznavanja šarenice za vladne organe, v medicini dela, letalskem prometu, emigracijskih postopkih in tudi komercialno ter testno. Vsi testi teh podjetij dajejo enako povratno informacijo o stopnji napačne potrditve (False Acceptance Rate = 0), nekateri od teh so bili izvedeni nad milijon primerjanji med subjekti [1,7].

### 1.5 Danes najboljše rešitve

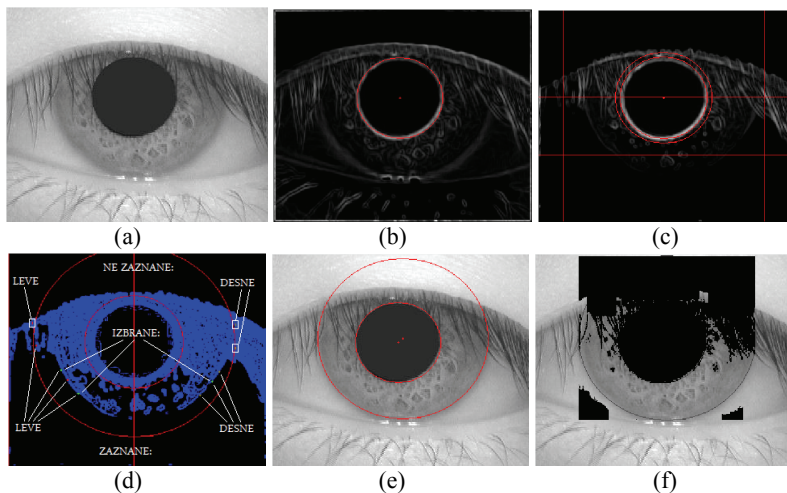
Vsekakor gre tu omeniti Dougmanov algoritem [7], ki je široko uporabljen predvsem pri mejnih prehodih držav, kjer so kritične točke in robustnost tehnologije močno pod pritiskom pred napačno potrditvijo, odkar je veliko število množičnih primerjanj postalo mogoče z velikimi podatkovnimi zbirkami. Omeniti gre tudi podjetje Iridian Technologies [10], ki se prav tako uvršča med podjetja z zavidljivim razvojem identifikacije na podlagi šarenice, čigar tehnologija je razpršena na različna področja.

## 2. UPORABLJEN PRISTOP

Uporabljen pristop temelji na Dougmanovem algoritmu za verifikacijo osebe na osnovi šarenice [7], uporabljene slike šarenic pa so iz podatkovne zbirke CASIA V1.0 (756 slik, 108 očes) [11].

### 2.1 Segmentacija

Prvi korak biometrične verifikacije šarenice je segmentacija ali razčlenitev slike očesa. Na njej so tako potrebne kot tudi nepotrebne značilnosti za nadaljnje korake in končno verifikacijo. Cilj segmentacije slike je izločitev predela šarenice iz digitalne slike očesa. Predel šarenice prikazane na sliki 1 lahko opišemo z dvema krožnicama. Prva meji na beločnico in šarenico, druga pa meji na šarenico in zenico. Tu moramo tudi poudariti, da ti dve krožnici nista koncentrični. Prav tako so tu prisotne zgornja in spodnja veka ter trepalnice, ki lahko prekrivajo manjši ali večji del šarenice in s tem vplivajo na količino in kakovost pridobljene informacije. Za iskanje robov na sliki smo implementirali algoritem s Sobelovim operatorjem [3], ki je zelo učinkovit in množično uporabljan. Po iskanju vseh robov pričnemo z iskanjem roba zenice. Tega lažje zaznamo, saj je prehod v kontrastu barve med šarenico in zenico zelo visok in lepo viden. Zunanja krožnica predstavlja nekoliko težjo nalogo predvsem zaradi manjšega kontrasta med beločnico in šarenico. Za zunanji rob je potrebno izvesti še dodatne operacije osvetljevanja in glajenja slike [3], ki nam v nadaljevanju pripomorejo do boljšega zaznavanja zunanjega roba s Sobelovim operatorjem.



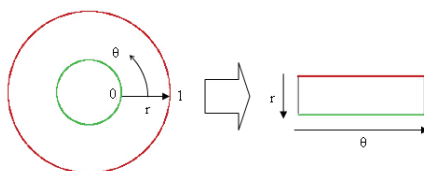
Slika 2. Vhodna slika (a), zaznan rob zenice (b), osvetljevanje (z mejnimi vrednostmi zunanjega roba šarenice po značilnostih CASIA [11]) (c), iskanje točk zunanjega roba šarenice po principu iskanja treh točk, ki definirajo krožnico (nahajajo se na obeh straneh navpičnice) (d), izhodna slika segmentacije (e) in maska šarenice, ki izloči veke in trepalnice na osnovi barvne informacije (f).

Celoten postopek segmentacije je orisan na sliki 2 in ni opisan v [7], pač pa predstavlja samostojno delo avtorjev. Izhodna informacija iz poglavja segmentacije je tako

informacija o notranjem in zunanjem robu šarenice (slika 2e) ter pripadajoča maska šarenice, ki definira uporabne, torej neprikrite predele šarenice (slika 2f).

## 2.2 Normalizacija

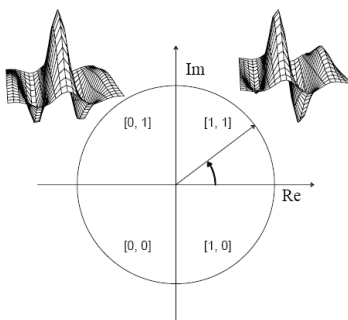
Velikost zenice je spremenljiva z odvisnostjo od količine svetlobe, ki prihaja v njo, kar pa posledično vpliva tudi na krčenje in raztezanje elastične površine šarenice. To lahko drastično vpliva na primerjanje dveh šarenic istega očesa. V ta namen površino šarenice pretvorimo v fiksni dvodimenzionalni prostor na osnovi Dougmanovega homogenega gumijastega lista [7], kar pa nam v nadaljevanju sploh omogoča primerjanje dveh šarenic posnetih v različnih pogojih osvetlitve (slika 3).



Slika 3. Dougmanov model preslikave šarenice v pravokotno obliko (polarne koordinate) z označenimi robovi.

## 2.3 Izbor značilnic

Pri vsaki normalizirani šarenici sledi izbor značilnk. Izbor značilnic iz polarne normalizirane šarenice izvedemo s transformacijo slike z enim 2D Gaborjevimi valčkom, kateri daje optimalne rezultate prostorske frekvence signala v 2D prostoru [9]. Rezultat transformacije je množica kompleksnih vrednosti, ki jih lahko razdelimo na realni in pa imaginarni del. V vsaki točki slike lahko iz teh dveh vrednosti izračunamo fazni kot, na osnovi katerega nato z osnovo faznega pretvarjanja (slika 4) ustvarimo bitno predlogo, pri čemer pa se za vsako točko slike ustvarita dva bita predloge.



Slika 4. Osnova faznega pretvarjanja uporabljena za generiranje predloge šarenice [8].

Bitna predloga (slika 5) je tako dvakrat večja od dimenzij polarne normalizirane šarenice.

```

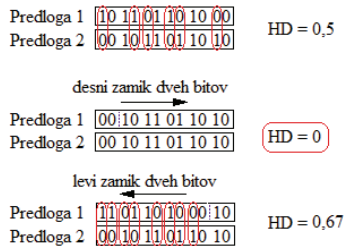
1001101011101001101011100010100
11001001010000110111011100010
01010101000010111101001010001
1101000111101010101011111101
10100010111010100101101101011
0100001101010000111110110110

```

Slika 5. Vzorec predloge šarenice.

## 2.4 Primerjanje šarenic

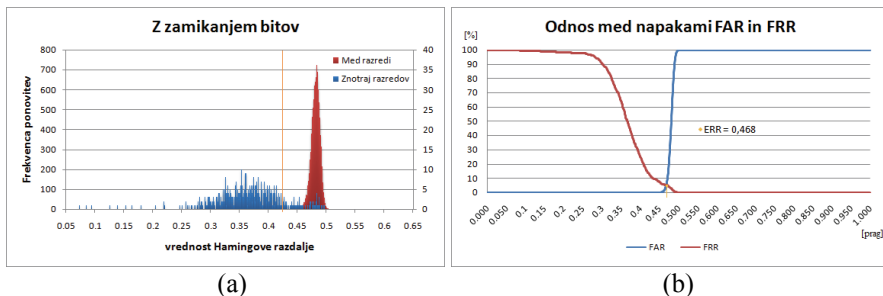
Primerjanje šarenic izvedemo s Hammingovo razdaljo (HD) [7], ki vsebuje logični operator XOR (ekskluzivni ali). Primerjanje šarenic in izračun HD ponovimo v nekaj primerih (slika 6) zaradi možnega zasuka očesa pri zajetem posnetku. Uporabljena je HD z najmanjšo vrednostjo, ki nam poda določeno stopnjo ujemanja dveh šarenic. V praksi je pričakovati gibanje HD dveh različnih šarenic okoli vrednosti 0,5 [12].



Slika 6. Primer izračuna Hammingove razdalje (HD) z enim korakom zamika bitov predloge.

## 3. REZULTATI

Rezultati so bili izvedeni nad množico 108 oseb (razredov), pri čemer je vsaka oseba prispevala 7 različnih posnetkov [11]. Primerjava znotraj razreda podaja primerjavo sedmih posnetkov ene osebe med seboj. Primerjava med razredi pa podaja primerjavo enega posnetka neke osebe z enim posnetkom vseh preostalih oseb.



Slika 7. Histogram primerjav znotraj razredov in razredov med seboj (a) ter pripadajoči graf odvisnosti FAR in FRR napak (b).

Rezultati (slika 7) so pokazali in privedli do odločitvenega praga neodvisnosti predloge  $HD=0,427$ , kjer je stopnja napačne odobritve (FAR – False Acceptance Rate) še enaka 0%, kar pa na drugi strani daje 11,584% stopnjo napačne zavrnitve (FRR – False Rejection Rate).

#### 4. ZAKLJUČEK

Predlagan sistem za verifikacijo osebe na podlagi šarenice je osnovan na fazni osnovi. Sistem vsebuje obdelavo slike v korakih segmentacije, normalizacije in izbora značilnik ter samo primerjanje. Ključni del je predvsem segmentacija, kateri smo pri razvoju namenili posebno pozornost, saj je temelj vseh naslednjih korakov. V dveh primerih smo sicer tudi pri segmentaciji naleteli na napako in s tem na nezmožnost apliciranja nadaljnjih korakov. To pomeni, da bomo na izboljšavah še delali, saj so rezultati že sedaj spodbudni.

#### LITERATURA

1. [http://en.wikipedia.org/wiki/Iris\\_recognition](http://en.wikipedia.org/wiki/Iris_recognition)  
Prepoznavna šarenice na spletni enciklopediji Wikipedija (13.12.2008).
2. [http://www.zdravstvena.info/plugins/p13\\_download\\_manager/fipfiles/Anatomija\\_ocesa.pdf](http://www.zdravstvena.info/plugins/p13_download_manager/fipfiles/Anatomija_ocesa.pdf)  
Anatomija očesa (13.12.2008).
3. L. G. Shapiro, G. C. Stockman (2001). *Computer Vision*, Prentice-Hall.
4. Y. Zhu, T. Tan, Y. Wang (2000). Biometric Personal Identification Based on Iris Patterns, *ICPR*, stran 805-808.
5. L. Ma, T. Tan, Y. Wang, D. Zhang (2003). Personal Identification Based on Iris Texture Analysis, *IEEE Patt. Anal. Mach. Intell.*, številka 25, stran 1519-1533.
6. C. Tisse, L. Martin, L. Torres, M. Robert (2002). Person Identification Technique Using Human Iris Recognition, *Proc. Vision Interface*, stran 294-299.
7. J. Dougman (2004). How Iris Recognition Works, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, številka 14, stran 21-30.
8. J. Dougman (2000). Wavelet Demodulant Codes, Statistical Independence, and Pattern Recognition, *Proc. 2 IMA-IP*, stran 244-260.
9. [http://en.wikipedia.org/wiki/Gabor\\_filter](http://en.wikipedia.org/wiki/Gabor_filter)  
Gaborjev filter na spletni enciklopediji Wikipediji (13.12.2008).
10. <http://www.iridiantech.com/how/index.php>  
Podjetje Iridian Technologies in njihova verifikacija na podlagi šarenice (13.12.2008).
11. <http://www.cbsr.ia.ac.cn/IrisDatabase.htm>  
CASIA V1.0 – uporabljena zbirka šarenic (13.12.2008).
12. J. Dougman (2003). The importance of being random: statistical principles of iris recognition, *Pattern recognition*, številka 36, stran 279-291.