

SEGMENTACIJA DUŽICE OKA IRIS SEGMENTATION

Jasmina Smailović, *Hermes SoftLab, Banja Luka*
Zdenka Babić, Vladimir Risojević, *Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Banjoj Luci*

Sadržaj - Segmentacija slike oka je ključan korak pri biometrijskom prepoznavanju osoba na osnovu slike dužice oka. Za pronalaženje kontura zjenice i dužice se najčešće koristi iterativni detektor kružnih ivica zasnovan na Daugmanovom integro-diferencijalnom operatoru. Na tačnost segmentacije utiče mnogo faktora, kao što su kapci i trepavice koje se nalaze u području dužice, kontrast između dužice i zjenice posebno kod osoba s tamnijim pigmentom, refleksija svjetla od opne iznad dužice i mnogi drugi, zavisno od načina akvizicije slike. U literaturi je predloženo da se za detekciju i uklanjanje očnih kapaka iskoristi Houghova transformacija. Na osnovu ispitivanja na manjoj bazi slika, u ovom radu je pokazano da uklanjanje očnih kapaka pomoću Houghove transformacije ne donosi poboljšanja tačnosti prepoznavanja osoba na osnovu slike dužice oka.

Abstract – Iris segmentation is a key step in biometric identification based on iris analysis. To find the pupil and iris contours iterative circular edge detector based on Daugman's integro-differential operator is commonly used. The success of segmentation depends on the presence of eyelids and eyelashes, as well as the imaging quality of eye images. Also, persons with darkly pigmented irises will present low contrast between the pupil and iris region if they are imaged under natural light, and this will make segmentation more difficult. In the literature Hough transform has been proposed for detection and removal of eyelids. In this paper we show, on a small collection of images, that eyelid removal using Hough transform does not yield increased accuracy in person recognition based on iris analysis.

1. UVOD

Biometrija predstavlja automatizovan metod utvrđivanja identiteta osobe na osnovu fizioloških karakteristika kao što su lice, otisak prsta, geometrija ruke, dužica ili mrežnjača oka, raspored vena ili glas. U današnje vrijeme sve veća potreba za pamćenjem lozinki i brojeva tjera nas na upotrebu istih šifara ili onih lakih za pamćenje. Biometrija eliminiše potrebu za pamćenjem lozinki jer smo lozinka mi sami.

Ideja da se dužica oka koristi kao optički otisak prsta za identifikaciju osobe je prvi put predložena od strane oftalmologa koji su iz iskustva primijetili da svaka dužica ima jedinstvenu teksturu i visok nivo detalja koji ostaju nepromijenjeni decenijama. Tačnije, ideju da se koriste obilježja dužice za prepoznavanje osoba prvi puta je predložio oftalmolog Frank Burch 1936. Ideja se 1980-ih godina pojavljivala samo u filmovima o Jamesu Bondu, no i dalje se radilo o naučnoj fantastici. 1986. dva su druga oftalmologa Aran Safir i Leonard Flom patentirali tu ideju, a 1989. obratili su se Johnu Daugmanu sa Cambridge univerziteta da razvije algoritme koji će omogućiti prepoznavanje putem dužice. Ti algoritmi, koje je Daugman publikovao [1] i patentirao 1993. godine, su prvi i dosad najučinkovitiji algoritmi na ovom području. Većina istraživanja na području biometrijske identifikacije skeniranjem dužice oka temelje se na njegovim postavkama. Takođe, na njima se temelje svi komercijalni proizvodi do sada proizvedeni.

Sljedeće karakteristike dužice naglašavaju njenu pogodnost za korištenje u automatskoj identifikaciji:

- Inherentna izolacija i zaštita od okoline jer je interni organ oka, iza rožnjače i vodene tečnosti,
- Dužica se tijekom ljudskog života ne mijenja kao ostale biometrijske karakteristike,
- Nemogućnost promjene operacijom bez rizika da se ošteti vid,
- Fiziološka osjetljivost na svjetlost koja omogućava prirodni test protiv varke (postavljanje lažnog oka umjesto pravog),
- Svako ima različite strukture dužice, pa čak i dvije dužice identičnih blizanaca ili dvije dužice jedne osobe imaju međusobno nepovezane detalje,
- Lakoća registrovanja slike dužice na distanci od osobe bez fizičkog kontakta, nenametljivo i moguće neupadljivo,
- Polarna geometrija koja dozvoljava prirodni koordinatni sistem i originalne koordinate,
- Za dobro raspoznavanje dovoljno je 30 - 40 % slike dužice,
- Mala je vjerovatnoća lažnog prihvatanja,
- Algoritam koji obrađuje sliku je vrlo brz.

Prvi korak pri prepoznavanju pomoću dužice je izolovati područje dužice u slici oka, odnosno izvršiti njenu segmentaciju. Uspješnost segmentacije zavisi od kvalitete slike oka. Segmentacija je ključan korak pri prepoznavanju, jer u slučaju greške daljnji postupci u procesu prepoznavanja daju pogrešne rezultate, što uzrokuje lošiji postotak

prepoznavanja. Prisustvo očnih kapaka i trepavica može smanjiti tačnost prepoznavanja.

U literaturi [2,3,4] je predloženo da se za detekciju i uklanjanje očnih kapaka iskoristi Houghova transformacija. Na osnovu ispitivanja na manjoj bazi slika, u ovom radu je pokazano da uklanjanje očnih kapaka pomoću Houghove transformacije ne donosi poboljšanja tačnosti prepoznavanja osoba na osnovu slike dužice oka.

2. SEGMENTACIJA DUŽICE OKA

Lokalizacija dužice oka se smatra najtežim dijelom algoritma za biometrijsko prepoznavanje na osnovu slike oka jer definiše unutrašnju i vanjsku granicu dužice oka koja se koristi za dalju analizu. To je prva faza u biometrijskom prepoznavanju skeniranjem dužice oka i služi za izolovanje dužice u digitalnoj slici oka. Region dužice može biti aproksimirana sa dvije kružnice, jedna za dužica/beonjača granicu i druga za dužica/zjenica granicu. Kapci i trepavice obično narušavaju gornje i donje dijelove dužice oka. Zbog njih, potrebna je tehnika koja će pored lokalizacije dužice odstraniti i ova neželjena područja, Slika 1.

Daugman predlaže integro-diferencijalni operator za pronalaženje kontura zjenice i dužice, kao i za gornje i donje kapke:

$$\max_{(r, x_0, y_0)} \left| G_{\sigma}(r) = \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r, x_0, y_0} \frac{I(x,y)}{2\pi r} ds \right|, \quad (1)$$

gdje su x_0, y_0 i r koordinate centra i poluprečnik kružnice koja je kandidat za granicu između beonjače i dužice ili između dužice i zjenice. $G_{\sigma}(r)$ je Gausova funkcija, a $I(x,y)$ originalna ulazna slika.

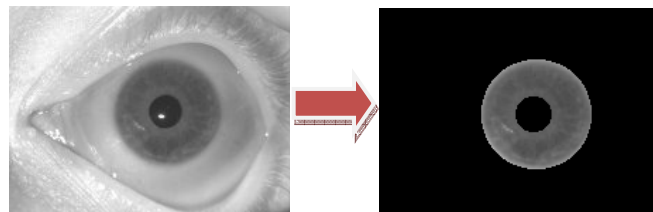
Zahvaljujući kružnom obliku dužice, lokalizacija njenih granica se radi na osnovu ulazne slike $I(x,y)$ pomoću integro-diferencijalnog operatora koji traži maksimum zamućene parcijalne derivacije normalizovanog integrala određenog centralnim koordinatama (x_0, y_0) i poluprečnikom r . Simbol * označava konvoluciju, a Gausova funkcija je funkcija zamućenja sa skalom σ . Cijeli operator se ponaša kao detektor kružnih ivica, koji iterativno traži maksimum definisane konvolucije gdje se poluprečniku povećava vrijednost, a tri parametra (koordinate centra (x_0, y_0) i poluprečnik r) definišu putanju integracije [1].

Navedeni algoritam se radi dva puta, prvi put da se detektuje vanjska ivica dužice, a drugi put da se detektuje ivica zjenice.

Pored pronalaženja kontura zjenice i dužice, integro-diferencijalni operator obezbjeđuje i dobru procjenu kvaliteta slike, odnosno provjeru da li je dužica oka narušena kopcima i trepavicama, kao i da li je slika defokusirana. Ukoliko je vrijednost integro-diferencijalni operatora (1) veća od određenog kriterijuma, može se utvrditi da oko nije prisutno na slici, veoma narušeno kopcima i trepavicama, lošeg fokusa ili rezolucije. U praksi, sistem za identifikaciju prikuplja više slika oka uzastopno dok nekoliko frejmova u sekvenci ne potvrdi, na osnovu vrijednosti integro-diferencijalni

operatora (1), da je oko prisutno i dobro fokusirano. Preveliko narušavanje slika kopcima i trepavicama se može ublažiti saradnjom subjekta pri akviziciji slike.

Jedan od testova za dokazivanje da je pravo oko prisutno, iskorištava činjenicu da se poluprečnik zjenice konstantno mijenja, pa čak i pod konstantnim osvjetljenjem. To nas vodi do zaključka da bi vrijednost integro-diferencijalnog operatora (1) za niz frejmova slike oka trebalo da se mijenja i na taj način da se dokaže da se radi o pravom oku, a ne o lažnom ili slici oka.



Slika 1 – Segmentacija slike dužice oka [5] Daugmanovim integro-diferencijalnim operatorom

Ukoliko oko nije dovoljno otvoreno, dužicu oka mogu narušavati kapci i trepavice, Slika 2. U ovom radu, za odstranjivanje kapaka i trepavica korištena je linearna Houghova transformacija.

Nakon primjene Daugmanovog integro-diferencijalnog operatora, pristupa se uklanjanju trepavica i kapaka sa slike. U [2] se kapci detektuju korištenjem parametrizovanih paraboličnih lukova, dok se u [3] i [4] koristi linearna Houghova transformacija. Mi smo koristili jednostavniji pristup uklanjajući gornji i donji kapak korištenjem linearne Houghove transformacije, postavljajući horizontalne linije, koje presijecaju prvobitno postavljene linije na rubu dužice koji je najbliži zjenici. Na osnovu ovih linija formira se maska kojom se uklanjaju trepavice i kapci. Horizontalne linije osiguravaju maksimalno uklanjanje neželjenih regiona. Područje iznad i ispod dobijenog para horizontalnih linija ne uzima se u obzir pri daljnjoj implementaciji algoritma za identifikaciju.

Na Slikama 2 i 3, prikazani su koraci segmentacije slike oka čija je dužica narušena kopcima i trepavicama.



Slika 2 - Originalna slika [5] gdje je dužica narušena kopcima i trepavicama i slika nakon segmentacije primjenom integro-diferencijalnog operatora



Slika 3 - Maska koja se dobija Houghovom transformacijom i primjena maske na sliku segmentiranu integro-diferencijalnim operatorom

Postoji dosta problema sa Houghovom transformacijom. Potrebno je definisati prag za detekciju rubova, kojeg je teško odrediti zbog raznolikosti slika (svaka slika može imati različit prag). Houghova transformacija je zahtijevna za izvođenje i zato nije pogodna za aplikacije u stvarnom vremenu.

Zbog ovih problema, urađena je analiza uticaja Houghove linearne transformacije na uspješnost prepoznavanja. Ukoliko je uspješnost prepoznavanja bez primjene Houghove transformacije zadovoljavajuća, algoritam za prepoznavanje bi bio dosta brži i manje kompleksan.

3. POREĐENJE POTPISA DUŽICA

Da bi se izvršila identifikacija određene osobe potrebno je provjeriti da li snimljena dužica odgovara nekoj od pohranjenih u bazi podataka. Segmentirana dužica se mora svesti na oblik koji je pogodan za poređenje. Da bi se to postiglo, potrebno je proći kroz sljedeće faze nakon segmentacije:

- Normalizacija dužice oka
- Kodovanje
- Poređenje kodovanih potpisa

Nakon uspješne segmentacije dužice iz slike oka, pristupa se fazi u kojoj se transformiše region dužice tako da ima fiksne dimenzije da bi se omogućilo poređenje sa drugim slikama dužica. Nekonzistentnosti u dimenzijama između slika oka su proizvedene prvenstveno rastezanjem dužice zbog dilatacije zjenice usljed različitih razina osvjetljenja. Ostali razlozi nekonzistentnosti uključuju variranje udaljenosti oka od kamere, rotaciju kamere ili oka, kao i pomjeranje glave. Proces normalizacije će proizvesti potpis dužice koji ima iste konstantne dimenzije, tako da će dvije slike iste dužice pod različitim uslovima imati iste karakteristike na istoj prostornoj lokaciji.

Pri normalizaciji, potrebno je uzeti u obzir da u većini slučajeva zjenica nije koncentrična sa dužicom (centar zjenice može biti pomjeren u odnosu na centar dužice i do 15%).

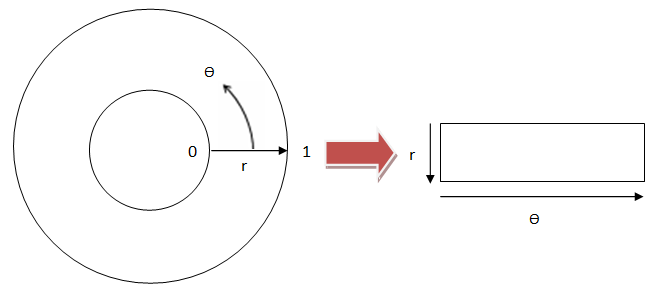
The homogeneous rubber sheet model, kojeg je predložio Daugman, pridružuje svakoj tački dužice, bez obzira na njenu veličinu i dilataciju zjenice, par bezdimenzionalnih realnih koordinata (r, \square) . Parametar r ima vrijednost iz intervala $[0,1]$ dok je \square ugaona veličina na intervalu $[0, 2\pi]$. Remapiranje slike dužice $I(x,y)$ iz originalnih koordinata (x,y) u polarni koordinatni sistem (r, \square) može biti predstavljeno sa

$$I(x(r, \square), y(r, \square)) \rightarrow I(r, \square), \quad (2)$$

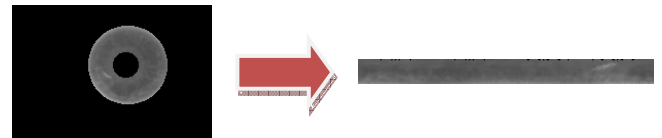
gdje su $x(r, \square)$ i $y(r, \square)$ definisani kao lineane kombinacije koordinata centra zjenice $(x_p(r, \square), y_p(r, \square))$ i koordinata centra dužice $(x_s(r, \square), y_s(r, \square))$ koji su dobijeni korištenjem Daugmanovog integro-diferencijalnog operatora (1), Slika 4 i 5.

$$x(r, \square) = (1-r) x_p(\square) + r x_s(\square) \quad (3)$$

$$y(r, \square) = (1-r) y_p(\square) + r y_s(\square) \quad (4)$$



Slika 4 - Proces normalizacije



Slika 5 - Normalizacija segmentirane dužice

Nakon što je izvršena normalizacija dužice oka potrebno je dobijeni potpis kodovati u oblik pogodan za poređenje koji će sadržavati najvažnije informacije o potpisu.

Daugman predlaže upotrebu 2D Gaborovih filtara, odnosno računanje 2D Gaborovih faznih koeficijenata, kao efikasnu strategiju za izlučivanje koherentnih i nekoherentnih informacija iz slike, kao što je detaljna struktura dužice.

2D Gaborov filter na domenu slike (x,y) je predstavljen sa:

$$G(x,y) = e^{-\pi[(x-x_0)^2/\alpha^2 + (y-y_0)^2/\beta^2]} e^{-2\pi i[u_0(x-x_0) + v_0(y-y_0)]} \quad (5)$$

gdje (x_0, y_0) predstavljaju položaj na slici, (α, β) efektivnu širinu i dužinu, a (u_0, v_0) prostornu frekvenciju

$$\omega_0 = \sqrt{u_0^2 + v_0^2}. \quad (6)$$

Daugman vrši kvantizaciju izlaza iz Gaborovih filtara u četiri vrijednosti, za svaki kvadrant u kompleksnoj ravni. Te četiri vrijednosti su prikazane korištenjem dva bita, tako da svakoj tački u normalizovanom potpisu dužice oka odgovaraju dva bita [1].

Budući da Daugmanov sistem koristi polarne koordinate za normalizaciju, polarni oblik filtra je definisan sa:

$$H(r, \square) = e^{-i\alpha(\theta-\theta_0)} e^{-r-r_0^2/\alpha^2} e^{-i(\theta-r\theta_0)^2/\beta^2}, \quad (7)$$

gdje (α, β) predstavlja isto kao i u izrazu (6), a (r_0, \square_0) definišu centralnu frekvenciju. (3.4)

Svaki bit u kodovanom potpisu dužice dobija se po sljedećim formulama.

$$h_{Re} = 1 \text{ ako } \text{Re} \int_0^1 \int_0^{2\pi} I(r, \theta) e^{-i\alpha(\theta-\theta_0)} e^{-r-r_0^2/\alpha^2} e^{-i(\theta-r\theta_0)^2/\beta^2} r d\theta dr > 0. \quad (8)$$

$$h_{Re} = 0 \text{ ako } \text{Re} \int_0^1 \int_0^{2\pi} I(r, \theta) e^{-i\alpha(\theta-\theta_0)} e^{-r-r_0^2/\alpha^2} e^{-i(\theta-r\theta_0)^2/\beta^2} r d\theta dr \leq 0. \quad (9)$$

$$h_{im} = 1 \text{ ako } \text{Im} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} I(r, \theta) e^{-i(u \cos \theta + v \sin \theta)} e^{-\frac{u^2 + v^2}{2\sigma^2}} e^{-i2\pi f_0 r} \rho(r, \theta) dr d\theta \neq 0 \quad (10)$$

$$h_{im} = 0 \text{ ako } \text{Im} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} I(r, \theta) e^{-i(u \cos \theta + v \sin \theta)} e^{-\frac{u^2 + v^2}{2\sigma^2}} e^{-i2\pi f_0 r} \rho(r, \theta) dr d\theta \leq 0 \quad (11)$$

gdje $I(r, \theta)$ predstavlja originalnu sliku dužice oka u polarnom koordinatnom sistemu.

Mana Gaborovog filtra je u tome što parni filter ima jednosmjernu komponentu kada god je propusni opseg veći od jedne oktave. Međutim, jednosmjerna komponenta se može izbjeći koristeći Gaborov filter koji je Gauss na logaritamskoj skali, a koji je poznat kao Log-Gabor filter. Frekvencijski odziv Log-Gaborovog filtra je dat sa:

$$G(f) = \exp\left(\frac{-\left(\log\left(\frac{f}{f_0}\right)\right)^2}{2\left(\log\left(\frac{\sigma}{f_0}\right)\right)^2}\right) \quad (12)$$

gdje f_0 predstavlja centralnu frekvenciju, a σ je propusni opseg filtra.

Za poređenje potpisa, izabrana je Hammingova distanca. Ovaj algoritam uključuje i upotrebu maski, koje Daugman uvodi u svojim kasnijim radovima [6], tako da se jedino značajni biti koriste u izračunavanju Hammingove distance između dva potpisa dužice dok se ostali biti odbacuju (na primjer biti koji pripadaju kopcima ili trepavicama). Formula po kojoj se računa Hammingova distanca je data sa

$$HD = \frac{1}{\text{IM}(AND)N} \sum_{i=1}^N A_i XOR B_i (AND) M_i (AND) N_i \quad (13)$$

gdje su M i N su odgovarajuće maske za potpise A i B , a N je broj bita u svakom potpisu. $\text{IM}(AND)N$ predstavlja broj bita u maskama M i N koji imaju vrijednost 1 u obje maske. U svojim istraživanjima, Daugman je pokazao da se, ako je vrijednost Hammingove distance u poređenju dvije dužice manja od 0,32, radi o istoj osobi. Ukoliko je vrijednost veća od 0,32 dužice ne pripadaju istoj osobi.

Da bi se izbjegli problemi pri rotaciji dužice, prilikom računanja Hammingove distance između dva potpisa dužice, jedan potpis se šiftuje lijevo i desno za određen broj bita. Hammingova distanca se računa između fiksnog potpisa i šiftovanog i uzima se najmanja vrijednost Hammingove distance jer ona predstavlja najbolje poklapanje između potpisa.

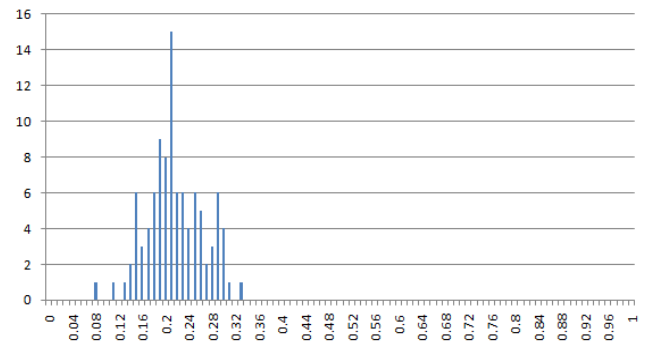
4. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Eksperimentalni rezultati su dobijeni primjenom algoritma na slike iz testne baze [5]. Kamera koja je korištena za dobijanje ovih slika je **ISG LightWise LW-1.3-S-1394**. Slike su originalne rezolucije 1280 x 960 piksela, a za potrebe rada su skalirane na rezoluciju 200 x 150 piksela. Da bi se izvršilo poređenje različitih slika istog oka izabrana je prva osoba u bazi slika i njeno lijevo oko. Zatim je grupa od 20 slika odabranog oka podijeljena slučajnim izborom na dva dijela po 10 slika i između te dvije grupa slika vršeno je poređenje. Na ovaj način obezbijeđeno je da se uvijek vrši poređenje različitih slika istog oka i izbjegnuta situacija u

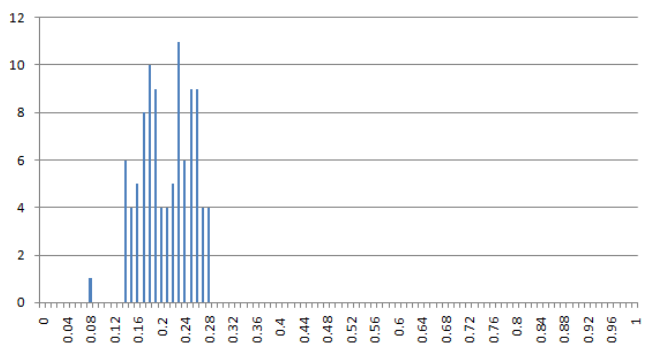
kojoj se porede dvije identične slike oka što ne odgovara realnoj situaciji. Zanimljivo je primijetiti da pri poređenju dvije slike oka koje pripadaju lijevom i desnom oku iste osobe ne dobije informacija da se radi o istoj osobi jer su ove dužice različite iako pripadaju istoj osobi. Zbog te činjenice, pri ovom testiranju moralo se opredijeliti za jedno od dva oka i na osnovu slika jednog oka vršiti ispitivanja da li će algoritam prepoznati da se radi o istoj osobi.

Pošto je vršeno poređenje između dvije grupe od po 10 slika oka, ukupno je izvršeno 100 poređenja različitih slika istog oka. Slike očiju ove osobe su bile narušene kopcima i trepavicama i cilj je bio ispitati kako na postupak prepoznavanja utiče upotreba Houghove transformacije za izolovanje kapaka i trepavica.

Dobijeni rezultati Hammingove distance za 100 poređenja dati su slikama 6 i 7. Napomenimo još jednom da ukoliko je Hammingova distanca manja od vrijednosti 0,32 algoritam će javiti da se radi o istoj osobi.



Slika 6 - Grafikon koji prikazuje na x-osi moguće vrijednosti Hammingove distance (od 0 do 1), a na y-osi broj poređenja koji su imali određenu vrijednost Hammingove distance. Korištena je Houghova transformacija za izolovanje kapaka i trepavica.



Slika 7 - Grafikon koji prikazuje na x-osi moguće vrijednosti Hammingove distance (od 0 do 1), a na y-osi broj poređenja koji su imali određenu vrijednost Hammingove distance. Nije korištena Houghova transformacija.

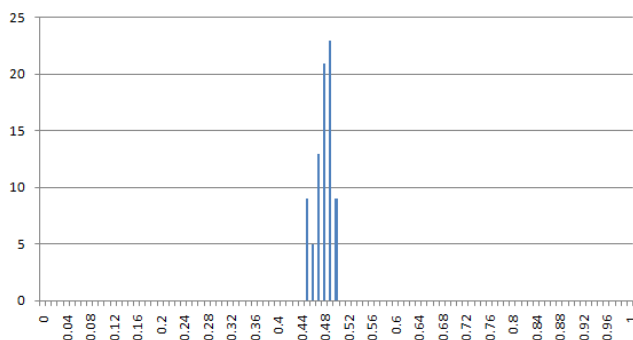
Algoritam za prepoznavanje koji je koristio Houghovu transformaciju za uklanjanje kapaka i trepavica je pokazao 99%-tnu efikasnost. U jednom slučaju nije prepoznao da se radi o istoj osobi jer je maska dobijena Houghovom transformacijom uklonila preveliki dio dužice tako da nije ostalo dovoljno informacija da se izvrši pravilno prepoznavanje, Slika 8.



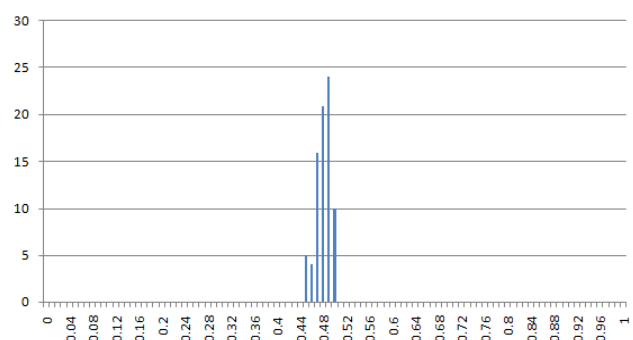
Slika 8 - Preveliko odsjecanje prouzorokovano Houghovom transformacijom

S druge strane, algoritam za prepoznavanje koji nije koristio Houghovu transformaciju je pokazao 100%-tnu efikasnost. U ovom slučaju dužica sa prethodne slike nije bila previše odsječena i prepoznavanje je izvršeno uspješno.

Pri poređenju slika različitih očiju urađeno je 80 poređenja i pri tome je korišteno 18 različitih slika. Pošto su lijeva i desna dužica iste osobe različite, u tih 18 slika bile su i po dvije dužice iste osobe (lijeva i desna) jer algoritam i njih prepoznaje kao različite. Pri ovom poređenju, sa i bez Houghove transformacije, algoritam je pokazao 100%-tnu tačnost, Slika 9 i 10.



Slika 9 - Grafikon koji prikazuje na x-osi moguće vrijednosti Hammingove distance prilikom poređenja dužica različitih očiju, a na y-osi broj poređenja koji su imali određenu vrijednost Hammingove distance. Korištena je Houghova transformacija.



Slika 10 - Grafikon koji prikazuje na x-osi moguće vrijednosti Hammingove distance prilikom poređenja dužica različitih očiju, a na y-osi broj poređenja koji su imali određenu vrijednost Hammingove distance. Nije korištena Houghova transformacija.

Takođe je izvršena simulacija identifikacije osobe pomoću dužice oka. Baza je sadržala slike 17 dužica, po jednu od svake. Tri različite slike od svake dužice koje se ne nalaze u bazi od 17 slika su poređene sa slikama iz baze i cilj je bio da se pri pretrazi baze nađe odgovarajuća dužica koja odgovara ulaznoj i na taj način se identifikuje osoba.

U eksperimentu je korištena ukupno 51 testna slika dužice i algoritam koji koristi Houghovu transformaciju je uspio u 46 slučajeva identifikovati pravu osobu vodeći računa da je granica 0,32. Dakle, ovaj algoritam se pokazao ispravan u 90,2% slučajeva.

S druge strane, algoritam koji nije koristio Houghovu transformaciju je pokazao nešto bolje rezultate. Samo 3 poređenja su imala Hammingovu distancu veću od 0,32, tako da se algoritam pokazao ispravan u 94,1% slučajeva.

5. ZAKLJUČAK

Biometrijska identifikacija dužice oka se sve više koristi u svijetu. Ono što je nekada predstavljalo osnovni trik u naučnofantastičnim filmovima, danas postaje uobičajena slika u predvorjima kompanija, u državnim institucijama i na aerodromima. Ova metoda se uglavnom koristi u područjima najviše sigurnosti, ali pored same potrebe za visokim stepenom tačnosti identifikacije, potrebno je obezbijediti i jednostavnost i što veću brzinu identifikacije.

Houghova transformacija je zahtijevna za izvođenje i zato nije pogodna za aplikacije u stvarnom vremenu. U eksperimentalnim rezultatima pokazano je da se algoritam koji koristi Houghovu transformaciju izvršava sporije za oko 1,2 sekunde za jedno poređenje (računar na kojem je algoritam testiran ima procesor *Intel(R) Core(TM)2 Duo, T6600 2.20GHz* i *4 GB RAM-a*) Takođe, može odsjeći preveliki dio dužice što može spriječiti pravilnu identifikaciju. Na testiranoj bazi, je pokazano da se bolji rezultati u prepoznavanju osoba postižu bez primjene Houghove transformacije za uklanjanje očnih kapaka.

LITERATURA

- [1] John Daugman, "High Confidence Visual Recognition of Persons by a Test of Statistical Independence," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 15, pp. 1148–1161, novembar 1993.
- [2] Richard P. Wildes "Iris Recognition: An Emerging Biometric Technology," *Proceedings of IEEE*, vol. 85, No. 9, pp. 1348 – 1363, septembar 1997.
- [3] M. Vatsa, R. Singh, A. Noore, "Reducing the False Rejection Rate of Iris Recognition Using Textural and Topological Features," *International Journal of Signal Processing 2*, pp. 66 – 72, februar 2006.
- [4] Ghassan J. Mohammed, Hong Bing Rong, Ann A. Al-Kazzaz, "A New Localization Algorithm for Iris Recognition," *Information Technology Journal*, pp. 226-230, 2009.
- [5] <http://www.irisbase.com/freedownload.htm>, posjećeno: juni 2009.
- [6] John Daugman, "How Iris Recognition Works," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for video technology*, vol. 14, pp. 21–30, januar 2004.