

# USMJERENI DIGITALNI FILTRI ZA PREPOZNAVANJE OTISAKA PRSTIJU

## DIRECTIONAL DIGITAL FILTERS FOR FINGERPRINT RECOGNITION

Goran BORKOVIĆ - Miroslav VRANKIĆ – Viktor SUČIĆ

**Sažetak:** U ovome radu, analizirali smo slike otisaka prstiju korištenjem usmjerenih digitalnih filtara. Riječ je o filtrima klinastoga oblika područja propuštanja, tzv. fan filtri. Primjenom takvih filtara razvijena je metoda određivanja usmjerenosti papilarnih linija slike otiska prsta u svrhu određivanja podudarnosti dvaju otisaka. Dobiveni rezultati potvrđuju pozitivna očekivanja o primjeni fan filtara u području biometrije.

**Ključne riječi:** – papilarne linije  
– fan filter  
– otisak prsta  
– dominantna usmjerenost

**Abstract:** In this paper we have analyzed fingerprint images using directional digital filters. The filters have a double wedge-shaped pass band, hence the name fan filters. Using these filters, a method is developed for determining the ridge orientation for the purpose of comparing two fingerprints. The obtained results confirm the applicability of fan filters in biometric applications.

**Keywords:** – ridges  
– fan filter  
– fingerprint  
– dominant orientation

### 1. UVOD

Rad se bavi analiziranjem digitalnih slika otisaka prstiju korištenjem usmjerenih digitalnih filtara. Riječ je o filtrima klinastoga oblika područja propuštanja, tzv. fan filtri (Slika 2). Na temelju takvih filtara razvijena je metoda određivanja usmjerenosti papilarnih linija slike otiska prsta u svrhu određivanja podudarnosti dvaju različitih slika otiska koje potječu od istoga prsta iste ruke. Algoritam je izrađen koristeći programski paket MATLAB R2006b.

Kao digitalni filtri za estimaciju orijentacije u brojnim radovima koriste se Gabor filtri [1], [2] i [3], dok se u [4] koristi usmjereni filtarski slog. U ovom radu se kod analize papilarnih linija upotrebljavaju fan filtri, koji su sa svoja tri parametra (*red, kut i zakret*) jednostavniji od Gaborovih te DFB-a i lakši za primijeniti te trose i manje računalnih resursa. Oni su ujedno nedovoljno iskorišteni u praksi, pri analizi otisaka, pa to predstavlja i dodatni motiv u njihovoj što boljoj implementaciji u području daktiloskopije.

Koža se dijeli na vanjski dio (epidermu) i unutarnje sluzne slojeve. Prsti, dlanovi te donji dijelovi epiderme

### 1. INTRODUCTION

In this paper we analyze a digital fingerprint image by using directional digital filters. These filters have a double wedge-shaped pass band, as shown in Figure 2. By using such filters, a method for determination of ridge directionality in fingerprints is developed, which allows for the comparison of two different fingerprint images that originate from the same finger. An appropriate algorithm is developed using MATLAB R2006b.

Gabor filters [1], [2], [3], and a tree of directional filter bank – based filters (DFB) [4] are frequently used in the analysis of fingerprints. In this paper, however, we have used fan filters, with three parameters only (*order, angle and rotation angle*), which are much simpler and easier to apply and processing time is shorter than either the Gabor or the DFB filters. Another motivation for the use of fan filters in dactiloscropy has been their limited use in such applications.

The human skin is divided into two layers; the outer and the inner layer. The outer layer is known as the epidermis, while the layer under the epidermis is also known as the dermis.

na stopalima ispresijecani su mnogobrojnim brjegovima i dolinama koji tvore papilarne linije. One se počinju stvarati u maternici, tijekom prvih tjedana razvoja fetusa [5].

Otisak papilarnih linija je jedinstven, a metoda identifikacije otiskom prsta se temelji na dvije glavne premise [6]:

- glavne karakteristike otiska prsta su vremenski nepromjenjive,
- otisak je jedinstven za svakoga pojedinca što je opće prihvaćeno na temelju empirijskih rezultata.

Karakteristike slike otiska se mogu podijeliti na lokalne i globalne. Globalne obuhvaćaju tok papilarnih linija koje tvore neki od prepoznatljivih oblika (Slika 1) po kojima se otisci svrstavaju na pet klasa (lijeva i desna petlja, luk i šatorski luk te spirala) [7]. Globalne karakteristike nisu dovoljne za pouzdanu identifikaciju.

Papilarne linije su ponekad vrlo kratke (točka) ili iz jedne nastaju dvije (bifurkacija, grananje), odnosno obiluju raznim detaljima koje se nazivaju minucije (lokalne karakteristike). One jesu dovoljne za pouzdanu identifikaciju, ali sustavi za prepoznavanje, temeljeni samo na njima ([8] i [9]), zanemaruju ostale jedinstvenosti otiska kao što je primjerice lokalna orijentacija papilarnih linija. Estimacija lokalne dominantne orijentacije je jedna od najvažnijih operacija u sustavima za automatsko prepoznavanje otisaka prstiju [10].

Počeci računalne ere, odnosno pojavom sklopovlja koje može podržati automatski sustav za prepoznavanje otisaka – AFIS, okrenuta je nova stranica u ovome dijelu biometrije. Krajem 70-tih i početkom 80-tih godina 20. stoljeća, policije u Kanadi i San Franciscu (SAD) uvode prve takve sustave. Danas AFIS sustave dijelimo prema njihovoj primjeni na forenzičku, civilnu i komercijalnu [11].

Depending on the surface considered, we generally refer to parts of epidermis as fingerprints, palmprints, and soleprints. They are made of a series of friction ridges, taking various forms and shapes. These ridges are developed during the first weeks of human gestation [5].

Fingerprints are unique, and their identification is based on two premises [6]:

- the basic characteristics of fingerprints do not change over time, and
- the fingerprint is unique to an individual (the finding is based on empirical results).

The characteristics of a fingerprint are divided into two groups, namely, local and global characteristics. The latter are represented by a flow of ridges that form distinctive shapes (Figure 1), by which we can define five classes of fingerprints (left and right loop, arch, tented arch and whorl). The global characteristics alone are not sufficient for positive identification.

Sometimes, the ridges are very short (dot), have branches (bifurcation), or could have some other minutiae. Minutiae details are sufficient for positive identification, but identification systems based on them solely ([8] and [9]) do not take into consideration other unique features, like the local ridge orientation. The estimation of the local dominant orientation is one of the most important operations in systems for automatic fingerprint identification [10].

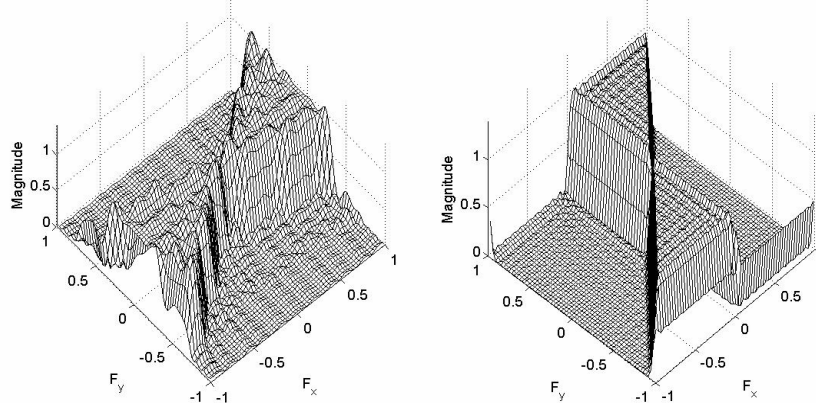
The introduction of computers that can support automatic fingerprint identification systems (AFIS), represented an important development step in the field of biometrics. By the end of 1970s and the beginning of the 1980s, the law enforcement agencies in Canada and USA implemented the first AFIS systems. Today, AFIS systems are classified as forensics, civil, or commercial application-orientated AFIS systems [11].



Slika 1. Pet kategorija otisaka; s lijeva na desno: lijeva petlja, spirala, šatorski luk, desna petlja i luk  
 Figure 1. Five categories of fingerprints; from left to right: left loop, whorl, tented arch, right loop and arch

## 2. ANALIZA OTISKA PRSTIJU

Analiza slike otisaka prsta izvodi se dvodimenzionalnim FIR filtrima nulte faze i klinastoga oblika područja propuštanja, tzv. fan filtri (*eng. fan = ventilator*). Oni svojim rotiranjem propusnog područja u frekvencijskoj domeni za neki zakret oko ishodišta (točka simetrije dva klina), propuštaju prostorne frekvencije signala te ovisno o najvećoj sumi propuštenih piksela za neki kut dolazi se do dominantne usmjerenosti sadržaja slike ili dijelova slike koja se koristi u analizi. Tijekom analize korišten je fan filter 31. reda te širine propusnog područja (*kut*) od 15° (za traženje referentne točke) ili 20° (za kompenzaciju rotacije i završnu usporedbu).



Slika 2. 3-D prikaz fan filtra nižeg (lijevo) i višeg reda (desno) istih kuteva i različitog zakreta  
 Figure 2. 3-D display of a low order (left) and a high order fan filter with same angle and different rotation

Dvodimenzionalna konvolucija slike  $x$  te impulsnoga odziva fan filtra  $h$  za svaki kut zakreta daje filtriranu sliku  $y$ :

$$y(n_1, n_2) = \sum_{k_1=-\infty}^{\infty} \sum_{k_2=-\infty}^{\infty} x(k_1, k_2) \cdot h_{\beta}(n_1 - k_1, n_2 - k_2) \quad (1)$$

Mjera usmjerenosti za kut zakreta fan filtra  $\beta$  (filter reda 31 i kut 15°) dobije se kao suma apsolutnih vrijednosti piksela  $S(\beta)$  filtrirane slike:

$$S(\beta) = \sum_{n_1=0}^{N_1-1} \sum_{n_2=0}^{N_2-1} |y_{\beta}(n_1, n_2)| \quad (2)$$

Kut zakreta  $\beta$ , za koju je dobivena najveća suma, je ujedno i dominantni kut orijentacije.

Na Slici 3 je prikazana konvolucija dijela slike otiska i impulsnoga odziva filtra različitih zakreta. Suma piksela, odnosno elemenata ovih 9 matrica (slika u MATLABu je matrica) je različita, a najveća suma će biti ona kod koje je filter najbolje propustio signal odnosno u ovom slučaju za kut zakreta od 40° (Slika 3; gore desno). Sad se dobila dominantna orijentacija, tj. usmjerenost papilarnih linija.

## 2. FINGERPRINT ANALYSIS

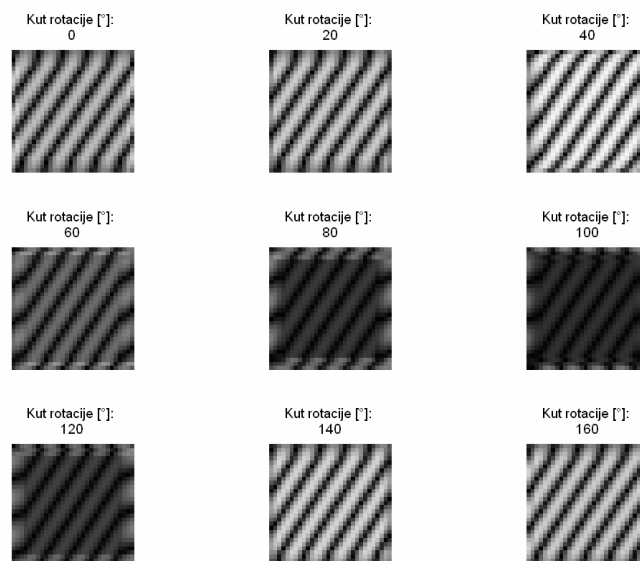
Two-dimensional zero phase FIR filters with double wedge-shaped pass band, or fan filters (Figure 2), will be used in the fingerprint analysis. These filters, by rotating their pass band in the frequency domain by an angle around the starting point (the point of symmetry); filter out the space frequencies of a signal (which is made of pixels). The largest sum of pixels in the pass band, for a given angle, defines the dominant orientation of the image content. During the analysis, a fan filter of the 21<sup>st</sup> order and a 15° (for seeking point of reference) or a 20° (for the compensation of rotation and final comparison) width of pass band (*angle*) was used.

Two-dimensional convolution of an image  $x$  and the impulse response  $h$  of a fan filter, for every rotational angle, produces the filtered image  $y$ :

The dominant orientation for the rotational angle  $\beta$  is acquired as a sum of absolute values of pixels  $S(\beta)$  of the filtered image:

The rotational angle  $\beta$ , for which the dominant orientation is determined, represents the dominant rotational angle.

Figure 3 represents the convolution of an image (part of a fingerprint) and impulse response of a fan filter with different rotations. The sum of pixels or the matrix elements (image in MATLAB is a matrix) is different for each of the 9 convolutions. The highest sum will be where the signal is filtered the most (Figure 3; upper right hand corner). Now we have the dominate orientation of



Slika 3. Različite slike istog otiska koje se analiziraju; otisak1 (lijevo) i otisak2 (desno)

Figure 3. Different images of the same fingerprint which are analyzed; fingerprint1 (left) and fingerprint2 (right)

Tijekom analize slika otiska1 i otiska2 (Slika 4) ističe se nekoliko zasebnih koraka:

- predobrada (*unsharp masking*)
- pronalazak referentne točke i odabir područja interesa (ROI) oko nje te kompenzacija rotacije
- analiza ROI-a te izračun sličnosti dvaju otisaka

ridges in an image.

During the analysis of **fingerprint1** and **fingerprint2** images (Figure 4) the next steps are followed:

- fingerprint enhancement (*unsharp masking*),
- finding the reference point and the region of interest (ROI) around it,
- ROI analysis and calculation of similarity.



Slika 4. Različite slike istog otiska koje se analiziraju; otisak1 (lijevo) i otisak2 (desno)

Figure 4. Different images of the same fingerprint which are analyzed; fingerprint1 (left) and fingerprint2 (right)

### 2.1. Predobrada

Predobrada, odnosno poboljšanje kvalitete slike, se pomoću fan filtara nije izvodila, već je na slike otisaka primijenjena metoda filtriranja koja se naziva *unsharp masking* (Slika 5). S njom se iz slike sa brojnim razinama sivila dobije crno–bijela slika s istaknutim papilarama. Postupak se sastoji od zamučivanja kopije originalne slike koja se zatim uspoređuje sa originalom. Ako je razlika veća od postavljenog praga slike se oduzimaju, a kao rezultat dobiva se oštija slika u odnosu na original. Na svim slikama otisaka je u programu Photoshop obavljen *unsharp masking* količine 500%, radijusa 6.5 piksela te praga od 0. Te vrijednosti su odabrane eksperimentalno da bi se dobio što bolji kontrast bez gubitka vrijednih informacija na slici.

### 2.1. Fingerprint enhancement

Fingerprint enhancement is performed in Photoshop using the *unsharp masking* method (Figure 5). It transforms an image with numerous shades of gray into an almost black and white image with more emphasized ridges than in the original image. *Unsharp masking* consists of applying a blur to a copy of the original image, and then comparing it to the original. If the difference is greater than a user-specified threshold, the images are subtracted. The resultant image is much sharper than the original. On all of the analyzed images in this paper, 500% *unsharp masking* was used, with a 6.5 pixel radius and 0 threshold. These values were chosen experimentally, and they result in images with the best contrast and a minimal loss of information.



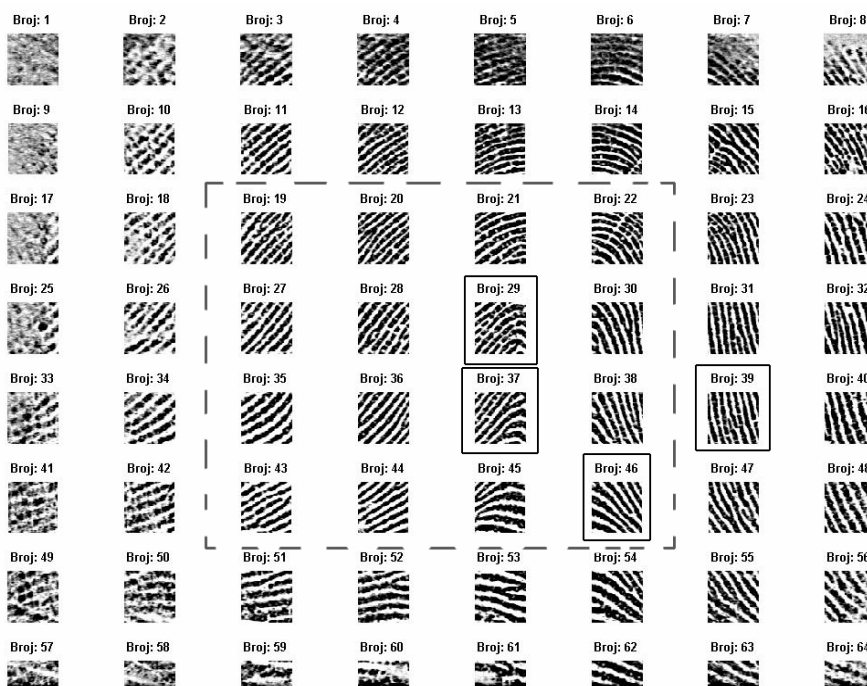
Slika 5. Slika otiska prije „unsharp maskinga“ (lijevo) i nakon (desno)  
 Figure 5. Fingerprint image before unsharp masking (left) and after (right)

**2.2. Referentna točka**

**2.2. Point of reference**

Slika otiska prsta (Slika 4) se dijeli na 8x8 dijelova, odnosno 64 kvadratića (Slika 6) te se svakome od njih nalazi dominantni kut usmjerenosti (Slika 7). Signal, odnosno sume apsolutnih vrijednosti piksela na grafu sa slike 7, koje filtar propušta za neki kut zakreta, su radi preglednosti pretvoreni u postotke pri čemu je dominantna usmjerenost uvijek ima sumu piksela od 100%. Sumu piksela ostalih kutova koji nisu dominantni, zajedno sa onim kutom koji jest, nazvati ćemo sumom usmjerenosti, a ona je različita za svaku sličicu.

The image of a fingerprint (Figure 4) is divided into 8x8 parts, a total of 64 squares (Figure 6). For every square, a dominant orientation is found (Figure 7). Absolute sums of pixels in Figure 6 are represented in percentages, with the dominant orientation corresponding to 100%. The sum of pixels for all the angles (dominant and non-dominant ones) is the orientation sum, and it is different for every square.



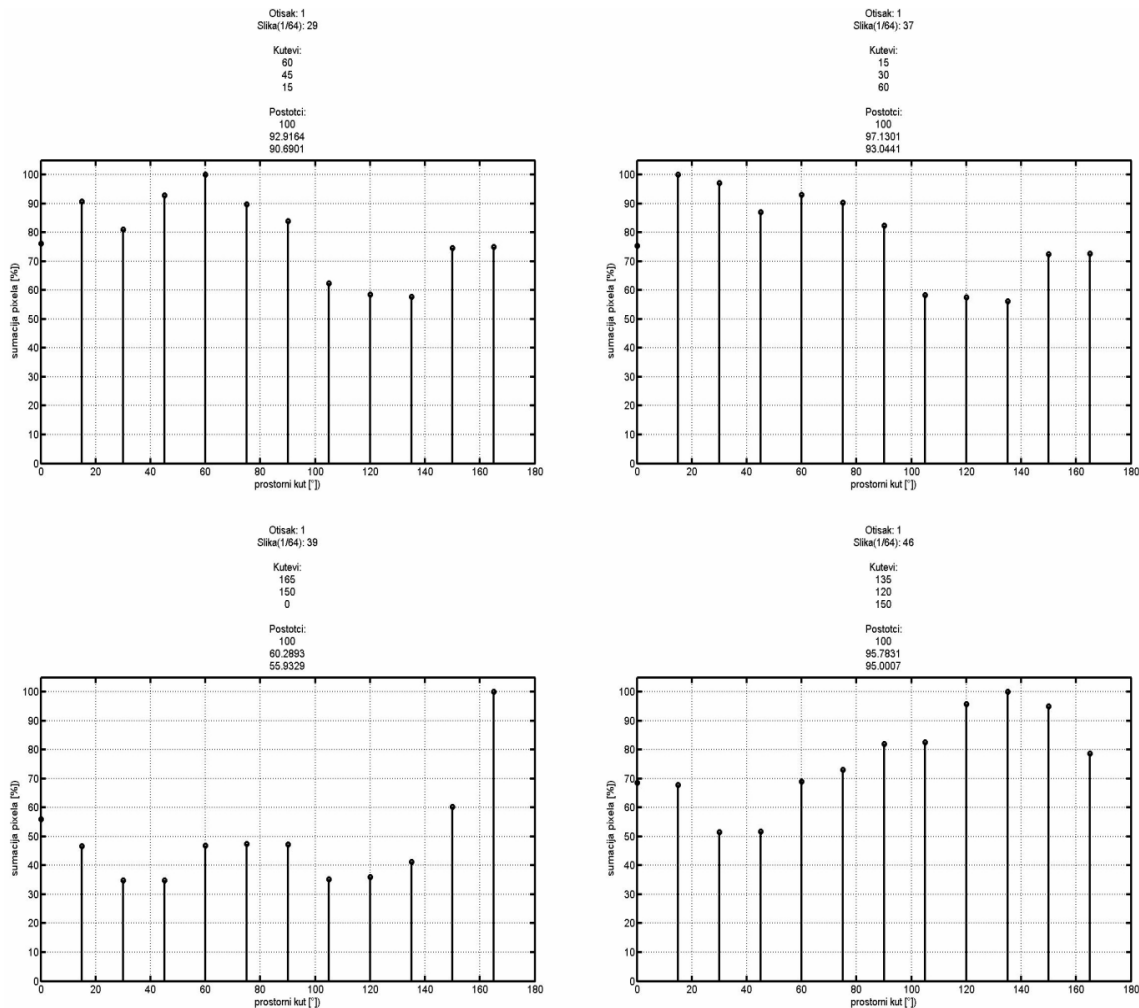
Slika 6. Podjela slike otiska na 64 dijela  
 Figure 6. Division of a fingerprint image into 64 parts

Zbog veličine ROI-a analiziraju se samo sume usmjerenosti unutarnjih podjeljaka (Slika 6; isprekidani okvir) jer u slučaju da rubna sličica sadrži referentnu točku, onda ROI ili po visini ili po širini nebi bio kvadrat veličine 5/64 x 5/64 (Slika 6; podjela na 64 dijela). Unutarnje sličice su one koje do najbližeg ruba slike imaju najmanje neke dvije druge sličice.

Because of the ROI's size, the orientation sums of the inner squares (Figure 6; inside the dashed lines) are only considered. In the case that the outer square is chosen such that it contains the point of reference, the ROI would not be a square of 5/64 x 5/64 dimensions (Figure 6). So, the inner squares are those that have at least two other squares between them and the image edge. Three squares with the most erratic ridges (29, 37 and 46)

Što su papilarne linije zakrivljenije i nepravilnije to će udio ostalih usmjerenosti biti veći. Tri takve sličice su broj 29, 37 i 46 (Slika 6; omeđeno punom linijom). Za primjer je dan i graf usmjerenosti rubne sličice broj 39 čiji smjer papilarnih linija možemo zamisliti kao dvodimenzionalnu sinusoidu. Na Slici 7, dolje lijevo, vidljivo je da kut od  $165^\circ$ , u sličici 39, uvjerljivo dominira grafom za razliku od ostalih.

The orientation sum for orientations other than the dominant one will be higher, with the ridges being more curved and erratic. Three such squares are the squares 29, 37 and 46 (Figure 6; black frames). On the other hand, the ridges in the square 39 are two-dimensional sinusoid-like curves. For this square, the dominant angle ( $165^\circ$ ) clearly dominates over the other angles (Figure 7; lower left corner).



Slika 7. Graf kutova usmjerenosti ( $x$ -os = kut  $[\circ]$ ;  $y$ -os = sumacija piksela [%])  
Figure 7. Orientation angles graph ( $x$ -axis = angle  $[\circ]$ ;  $y$ -axis = sum of pixels [%])

Unutar tri sličice sa najnepravilnijim papilarnim linijama (29, 37 i 46) će se nalaziti referentna točka, odnosno središte ROI-a. Kriterij za odabir jedne od njih tri uzima u obzir dominantne usmjerenosti susjednih sličica. U idealnom slučaju referentna točka je jednaka središnjoj točki (središte najsvevernije papilarne linije oblika petlje), a središnja točka se nalazi unutar područja najveće zakrivljenosti papilarnih linija. Dakle, ako susjedi (Slika 8; svijetlo siva polja) promatrane sličice (tamno sivo polje), imaju takvu dominantnu orijentaciju da je "okružuju", onda to znači da je ona u središtu nekakvog zakrivljenog područja.

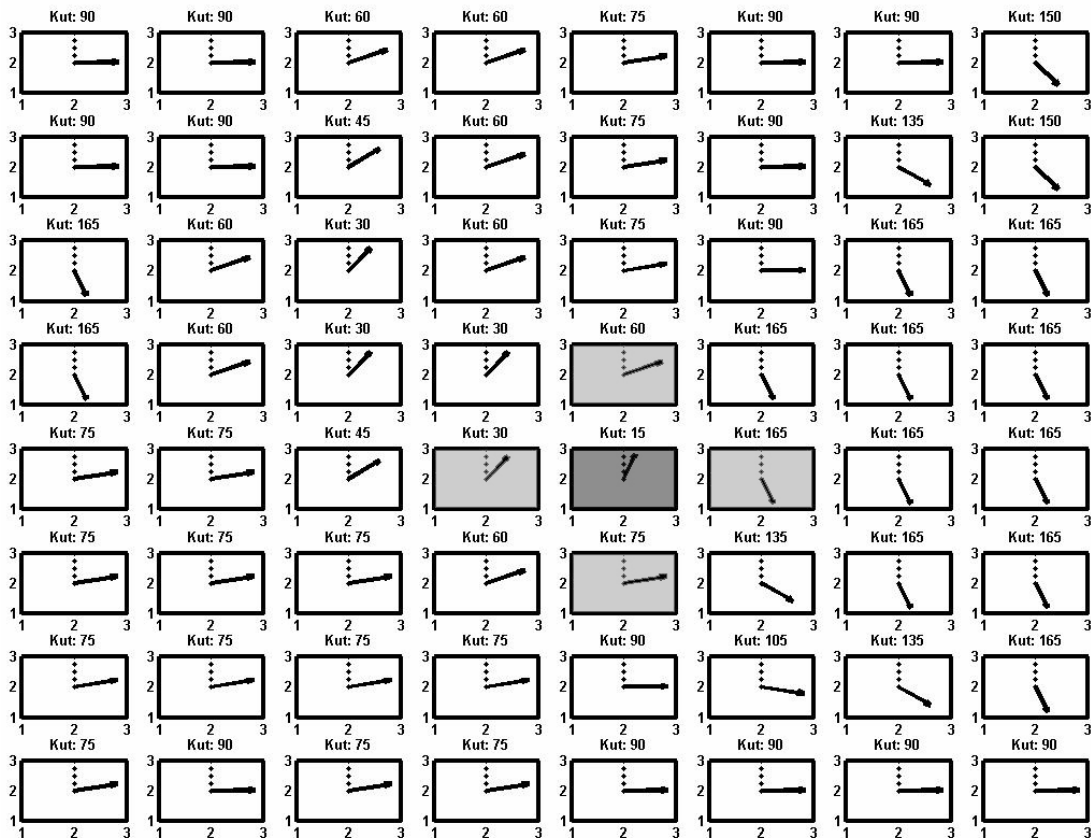
will contain the point of reference. The criteria for choosing one of them takes into account the dominant orientations of the neighboring squares. Ideally, the reference point is equivalent to the core point (corresponds to the center of the north most loop type singularity), which is located in the center of the most curved area. If the neighboring squares (Figure 8; light gray) have dominant angles that encircle the dark gray square, then the dark gray square will be in the center of a curved area.

U idealnom slučaju lijeva i desna susjedna sličica su jednake kao središnja (razlika apsolutnih vrijednosti dominantnih kuteva je  $0^\circ$  između njih), a gornja i donja su pod kutom od  $90^\circ$  u odnosu na onu u sredini.

Konačno, oko referentne točke se odabire kvadratno područje veličine  $5/64 \times 5/64$  što je i prikazano na slici 9. ROI drugoga otiska se pronalazi na isti način.

Ideally, the left and right squares have the same orientation as the center one (the difference in the absolute values of dominate angles between them is  $0^\circ$ ) and the orientation of the upper or lower squares are at  $90^\circ$  to the orientation of the central square.

Finally, around the reference point a squared ROI is chosen with  $5/64 \times 5/64$  in size (Figure 9). The ROI of the second fingerprint is selected in the same way.



Slika 8. Vektori usmjerenosti  
Figure 8. Orientation vectors



Slika 9. Referentna točka i ROI oko nje  
Figure 9. Point of reference and ROI around it



### 2.3. Kompenzacija rotacije

Nakon određivanja ROI-a oba otiska, analizira se globalna usmjerenost njihovih papilarnih linija. Na Slici 4 vidljivo je da je ROI drugoga otiska zarotirano u smjeru suprotnom od kazaljke u odnosu na ROI prvoga otiska. Potrebu za kompenziranjem rotacije potvrđuje i dominantna usmjerenost dvaju ROI-a kod kojih jedan vektor pokazuje na kut od  $40^\circ$ , a drugi na  $120^\circ$  u odnosu na isprekidanu os (Slika 10).

Na temelju jednoga kuta, ne može se sa sigurnošću reći u kojem će smjeru trebati zarotirati otisk2. Radi toga ROI drugoga otiska se dijeli na četiri podjeljka (Slika 10) te se svakome od njih određuje usmjerenost. Veći broj kutova, odnosno podjela, nije poželjan jer se s time gubi na globalnosti smjera papilarnih linija odnosno ne dobiva se orijentacija cijele slike otiska nego samo manjeg dijela.

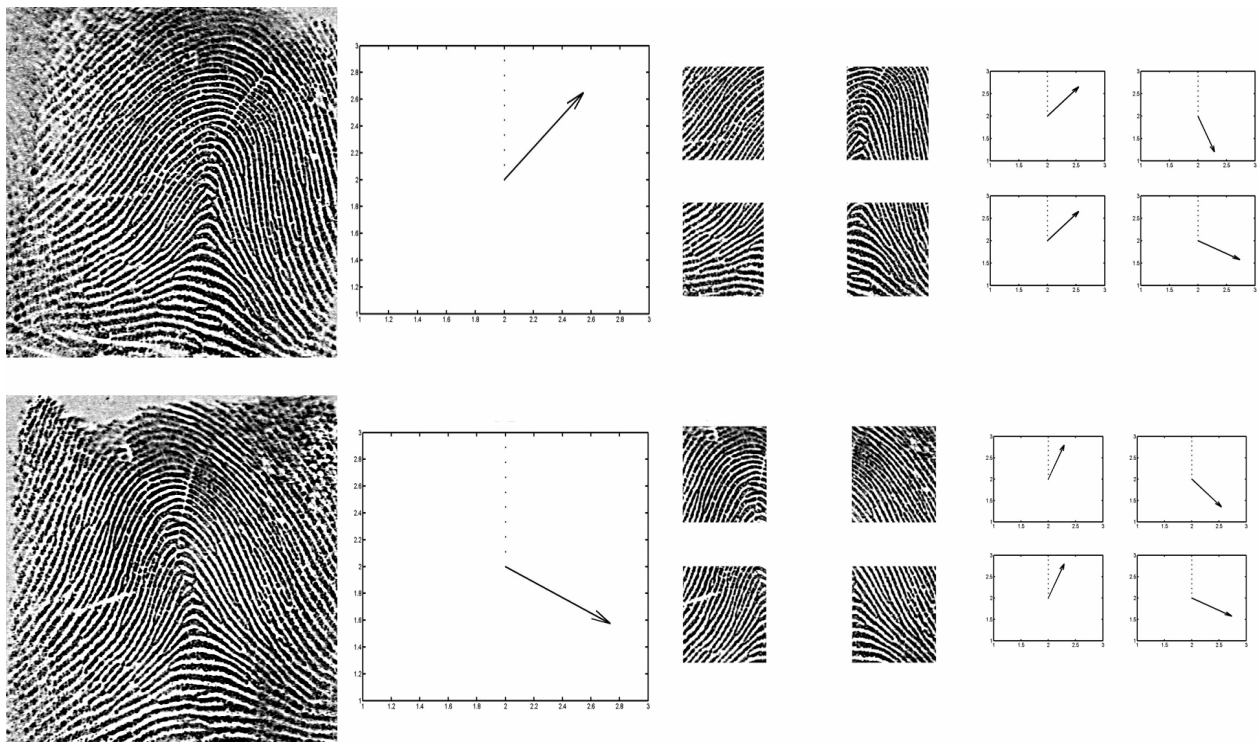
Ukoliko je većina kutova otiska2 veća od kutova otiska1 znači da je otisk2 potrebno za određeni kut zarotirati u smjeru suprotnom od kazaljke na satu i obrnuto. Ovisno o veličini te razlike, za rotiranje se odabiru kutovi od  $\pm 10^\circ$  ili  $\pm 20^\circ$ . Ova dva kuta su odabrana eksperimentiranjem sa određenim brojem otisaka iz baze pri čemu su sa ovim vrijednostima kutova dobiveni najbolji rezultati. Za kut od  $-10^\circ$  rotira se cijela slika otiska2 te se zatim ponovno traži referentna točka, tj. ROI. Rezultat rotiranja prikazan je na Slici 12.

### 2.3. Rotation compensation

After the ROIs of the fingerprints are selected, the global orientation of the ridges is analyzed. It can be seen in Figure 4 that the ROI of the second fingerprint is slightly rotated, in the direction opposite to the ROI of the first fingerprint. Hence, the dominant orientations of the two ROIs are different, with one having the vector pointing towards  $40^\circ$  and the other towards  $120^\circ$  with respect to the dashed line (Figure 10).

Based on the information of one angle only, it can't be precisely determined in which direction fingerprint2 should be rotated. So, the ROI of the second fingerprint is divided into four parts (Figure 10) and for each part the dominant orientation is calculated. More than four parts is not desirable, because the global ridge orientation information would be lost (we would get a local orientation of a small part of a fingerprint).

If most of the angles from the four squares of fingerprint2 are larger than those of fingerprint1, then the rotation in the anticlockwise direction is required, and vice versa. Depending on the size of the difference between the two orientations, the angles of size  $\pm 10^\circ$  or  $\pm 20^\circ$  are chosen. These values are chosen experimentally. So, in our case, the second fingerprint image is rotated by  $-10^\circ$  and its new ROI is found (Figure 12).



Slika 10. Dominantne usmjerenosti vezane za kompenzaciju rotacije  
Figure 10. Dominate orientations for compensation of rotation

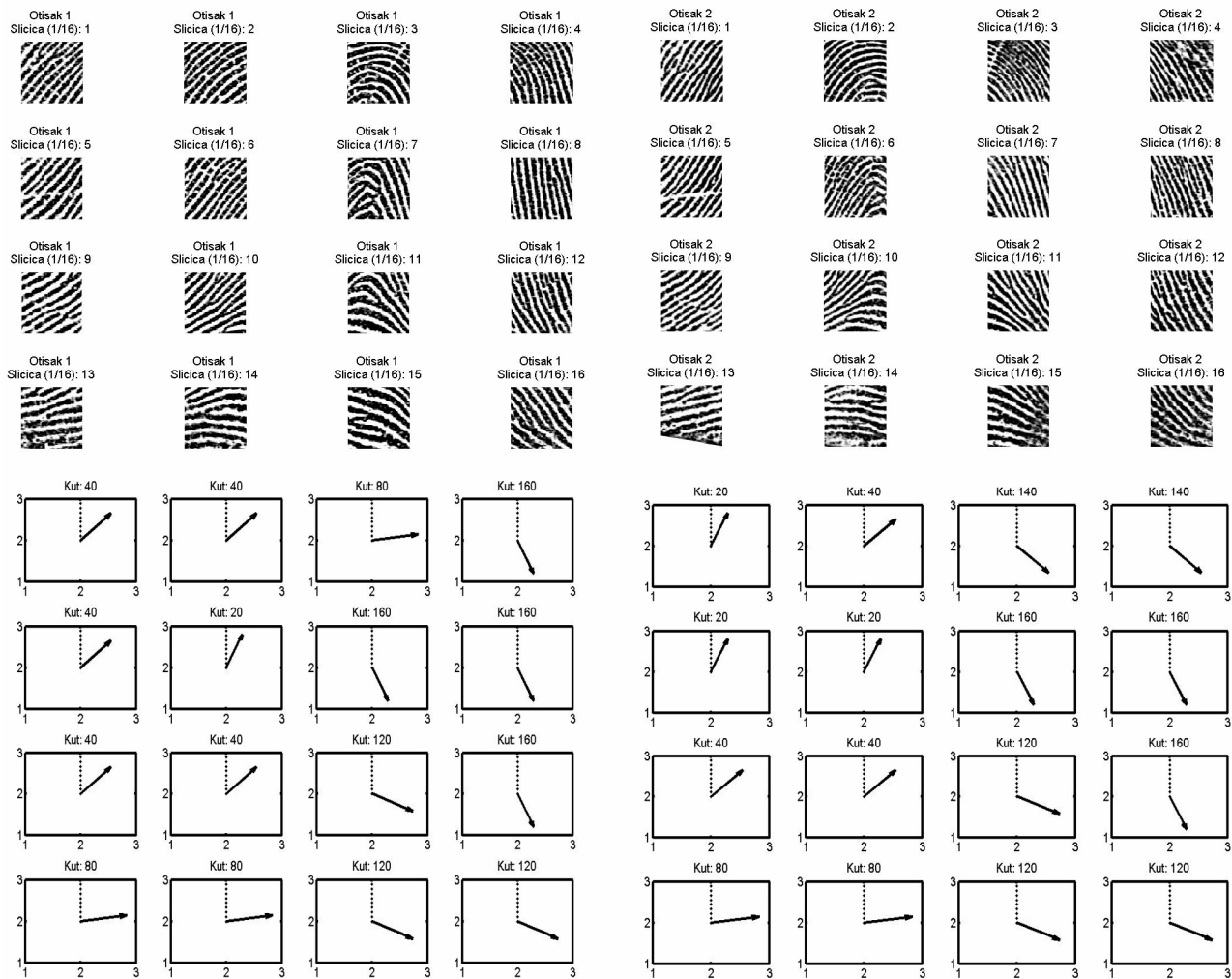


### 2.4. Uspoređivanje

ROI-i se dijele na 16 dijelova (Slika 11) te kao i do sada, svaki dio ima svoju dominantnu usmjerenost, ali i sumu udjela ostalih kutova. Neravnomjerni udio u sličnosti imaju ukupno tri varijable. Prva od njih je *angle\_sum* (30% udjela), *angle\_equal* (50% udjela) i *orientation\_sum* (20% udjela).

### 2.4. Comparison

The ROIs are divided into 16 parts (Figure 11), with each part having its own dominant orientation and the sum of other angles. Three variables affect the similarity measure. They are: *angle\_sum* (30% share), *angle\_equal* (50% share) and *orientation\_sum* (20% share).



Slika 11. Podjele ROI-a otiska1 (desno) i otiska2 (lijevo) na 16 dijelova te vektori dominantne usmjerenosti  
 Figure 11. Division of fingerprint1 ROI (left) and fingerprint2 ROI (right) into 16 parts and vectors of dominate orientation

Iznosi za postotke dobiveni su na način da su se sve tri varijable posebno računale za otiske koji su identični i posebno za parove koji su različiti. Što je njihov kvocijent veći to određena mjera više razlikuje iste otiske od različitih te je njezin ukupni udio u sličnosti veći.

The specified percentages are obtained in such a way that each variable has been calculated for the pair of prints that are identical and the pair that are not. The larger their quotient, the better the variable discriminates the identical prints, so it is given a larger percentage value in the similarity measure.

Ukoliko je izračunata sličnost manja od određenoga praga dva otiska se ne podudaraju, a ako je veća ili jednaka graničnoj sličnosti tada se na dvije različite slike nalaze isti otisci prsta.

If the calculated similarity is smaller than the chosen threshold, the two fingerprints are not identical. Otherwise, they are identical.

Ako primjerice otisak1 i otisak2 imaju 3 kuta od 80°, osam od 60° i pet od 20° znači da je postotak  $S_1$  100%. Sa svakom razlikom između broja istih kutova dvaju otisaka ovaj postotak pada. Izraženo matematički:

$$S_1 = \left( 1 - \sum_{N=1}^k \frac{|n(\beta_{1N}) - n(\beta_{2N})|}{2 \cdot P} \right) \cdot 100 \text{ [%]} \quad (3)$$

gdje su  $n(\beta_1)$  i  $n(\beta_2)$  brojevi dominantnih kutova dvaju ROI-a,  $P$  predstavlja broj dijelova (16 dijelova), a veličina  $k$  je ukupan broj kutova koje može  $\beta$  poprimiti, odnosno  $k=180^\circ/\text{kut}$ . Ako je kut sličice otiska1 jednak otisku2 tada se  $S_2$  povećava za pet. Maksimalna vrijednost koju može poprimiti je 80 (16 x 5) te u tom slučaju postotak  $S_2$  iznosi 100%. Matematički:

$$S_2 = \sum_{N=1}^P \frac{x(N)}{5 \cdot P} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (4)$$

Broj  $x(N)$  ovisi o veličini apsolutne razlike između dva kuta. Kreće se između 0 (razlika > 40°) i 5 (razlika=0°).

Za svaki od 16 podjeljaka oba otiska određuje se suma udjela dominantnih kutova te na temelju njihove razlike broj  $S_3$  mijenja svoju veličinu na sličan način kao i  $S_2$ . Broj  $y(N)$  ovisi o veličini razlike dvaju suma, a može biti između 0 i 6.

$$S_3 = \sum_{N=1}^P \frac{y(N)}{6 \cdot P} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (5)$$

Konačan rezultat usporedbe prikazan je na Slici 12.

If for example both fingerprints have 3 angles of 80°, eight of 60° and five of 20°, then the percentage of  $angle\_sum$  is 100%. If the number of angles is different, then the percentage drops. Mathematically:

where  $n(\beta_1)$  and  $n(\beta_2)$  represent the number of dominant angles of two ROIs,  $P$  represents the number of parts (16 parts), and  $k$  is the total number of angles that  $\beta$  can take, that is  $k=180^\circ/\text{angle}$ . If the dominate orientation of the  $N$ -th square of both fingerprints is the same, then  $angle\_equal$  is increased by 5. The maximum value of  $angle\_equal$  is 80 (16 x 5), and the variable is 100%. Mathematically:

The value  $x(N)$  depends on the size of the absolute difference between two angles. It moves from 0 (difference > 40°) to 5 (difference = 0°). For each of the 16 squares of both fingerprints the sum of the orientations is determined and on the basis of the difference between the sums of fingerprint1 and fingerprint2 the variable  $orientation\_sum$  changes its value in a similar way as in (4). The value  $y(N)$  depends on the difference between the two sums, and it varies from 0 to 6.

The final result of the comparison is given in Figure 12.

Otisci su: 69% slični  
Kutovi-suma[%]: 75 Kut-jednako[%]: 86 Usmjerenosti-suma[%]: 15  
Kut rotacije[°]: -10



Slika 12. Konačan rezultat usporedbe  
Figure 12. Final result of comparison

### 3. USPOREDBA ROC KRIVULJA

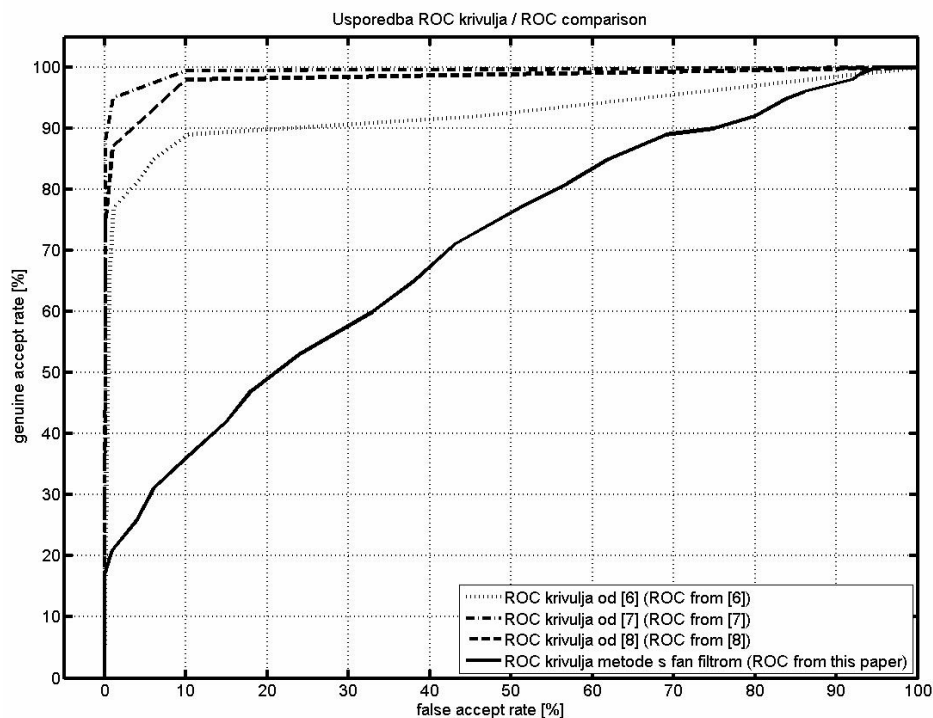
Rezultati analize većeg broja otisaka iz NIST-4 baze otisaka prikazani su pomoću ROC krivulje (eng. receiver operating characteristic) na slici 13. NIST-4 je baza od ukupno 4000 otisaka (2000 parova) digitaliziranih u JPEG formatu bez gubitaka. Slike su 8-bitne sa 256 razina sivila i veličine 512 x 512 piksela.

Puna krivulja na Slici 13 prikazuje rezultate dobivene analizom nasumično odabranih 1000 otisaka. Ostale ROC krivulje na Slici 13 su dobivene metodama i filtrima korištenim u drugim radovima, a prikazane su radi usporedbe. Mjera za ocjenu algoritma za prepoznavanje otisaka prstiju jest GAR (eng. genuine acceptance rate), odnosno omjer ispravno prihvaćenih istih uzoraka i ukupnog broja obrađenih uzoraka i FAR (eng. false acceptance rate), odnosno omjer prihvaćenih lažnih uzoraka kao istih i ukupnog broja obrađenih uzoraka. Njihova međusobna ovisnost predstavlja ROC krivulju.

### 3. ROC COMPARISON

The result of the analysis for a larger number of fingerprints from the NIST-4 database is given with the receiver operating characteristic – ROC (Figure 13). The NIST-4 is a database of 4000 fingerprints (2000 pairs) digitized in JPEG lossless format. Images are 8-bit, greyscale, with a resolution of 512 x 512 pixels.

The solid line in Figure 13 represents the results obtained by analysing 1000 randomly chosen images of fingerprints. The rest of the receiver operating characteristics in Figure 13 are obtained using the methods and filters [6], [7], [8]. The two measures for the evaluation of algorithms for comparing fingerprints are the genuine acceptance rate – GAR (ratio of the number of correct acceptances and the total number of analyzed pairs) and the false accept rate – FAR (ratio of false acceptances and total number of analyzed pairs). Their mutual dependence represents the ROC.



Slika 13. Usporedba ROC krivulja

Figure 13. Comparison of receiver operating characteristic

### 4. ZAKLJUČAK

Prezentirani rezultati analize otisaka prstiju su obećavajući, a predloženo je i nekoliko, međusobno zasebnih ideja iskoristivosti ovih filtara. Jednostavnost fan filtara kao i činjenica da je određivanje orijentacija linija na slici nešto što je njima prirodno svojstvo ide u prilog tome. Isto tako i upotreba u praksi, pri automatskoj identifikaciji otisaka, ostavlja velik prostor za napredak.

### 4. CONCLUSION

The results of the fingerprint analysis presented in this paper are promising, with the simplicity of fan filters design and the fact that determining ridge orientation is in a way an inbuilt feature in them, being the main advantages of the proposed method. The application of the fan filter in the automatic identification of fingerprints still, however, leaves much room for progress.

FAR i GAR veličine, što je vidljivo iz ROC krivulje, trenutno nisu konkurentne ostalim rezultatima. S boljim slikama otisaka, odnosno kvalitetnijom predobradom i analizom slika dobivenih direktno s prsta pomoću skenera, umjesto otiskom tinte na papiru (NIST-4), postigli bi se bolji rezultati. Daljnjim istraživanjem te eksperimentiranjem s metodama preciznijeg određivanja referentne točke ili točnijeg kompenziranja rotacije, kvaliteta ovoga algoritma bi se unaprijedila.

The FAR and FRR values, that are available in the receiver operating characteristic, are currently not as good as those obtained by applying other comparison methods. With better quality of the fingerprint enhancement method, and by acquiring images directly by live scan, instead of using inked fingerprints (NIST-4), much better results could be obtained. Also, by improving the accuracy of the reference point selection and the compensating rotation, the performance of the algorithm could be further improved.

## LITERATURA REFERENCES

- [1] A.K.Jain, S.Prabhakar, L.Hong, S.Pankanti, FingerCode: A Filterbank for Fingerprint Representation and Matching, IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1999., Volume 2, 187-193
- [2] M.U.Munir, M.Y.Javed, Fingerprint matching using Ridge Patterns, Information and Communication Technologies, 2005. ICICT 2005. First International Conference on, 27-28 Aug. 2005., stranice 116-120
- [3] A.K.Jain, S.Prabhakar, L.Hong, S.Pankanti, Filterbank-based fingerprint matching, Image Processing, IEEE Transactions on, Volume 9, Issue 5, May 2000., 846-859
- [4] C.H.Park, J.J.Lee, M.J.T.Smith, S.Park, K.H.Park, Directional Filter Bank-Based Fingerprint Feature Extraction and Matching, Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on, Volume 14, Issue 1, Jan. 2004., 74-85
- [5] C.Champod, C.Lennard, P.Margot, M.Stoilovic, Fingerprints and Other Ridge Skin Impressions, CRC Press, Boca Raton (FL), 2004.
- [6] S.Pankanti, S.Prabhakar, A.K.Jain, On the Individuality of Fingerprints, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Volume 24, Issue 8, Aug. 2002., I-805 - I-812
- [7] S.Wang, W.W.Zhang, Y.S.Wang, Fingerprint Classification by Directional Fields, Fourth IEEE International Conference on Multimodal Interfaces, 2002. Proceedings, 395-399
- [8] D.Maio, D.Maltoni, Direct gray-scale minutiae detection in fingerprints, Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, Volume 19, Issue 1, Jan. 1997., 27-40
- [9] M.Tico, P. Kuosmanen, Fingerprint Matching Using an Orientation-Based Minutia Descriptor, Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, Volume 25, Issue 8, Aug. 2003., 1009-1014
- [10] X.Jiang, On Orientation and Anisotropy Estimation for Online Fingerprint Authentication, IEEE Transactions on Signal Processing, Volume 53, Issue 10, Oct. 2005., 4038-4049
- [11] H.C.Lee, R.E.Gaensslen, Advances in automated fingerprint technology, CRC Press, Boca Raton (FL), 2001.
- [12] C.I.Watson, C.L.Wilson, NIST Special Database 4 Fingerprint Database, National Institute of Standards and Technology, Advanced Systems Division, Image Recognition Group, 1992.

Primljeno / Received: 29.2.2008

Prihvaćeno / Accepted: 20.6.2008

Izvorno znanstveni članak

Original scientific paper

Adresa autora / Authors' address

Goran Borković

Rubeši 189a

51215 Kastav

HRVATSKA

goran.borkovic@hi.t-com.hr

Dr. sc. Miroslav Vrankić, dipl. ing.

Doc. dr. sc. Viktor Sučić, dipl. ing.

Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci

Vukovarska 58

51000 Rijeka

HRVATSKA

miroslav.vrankic@riteh.hr

vsucic@riteh.hr