

Poređenje algoritama za izdvajanje vena u šaci pri biometrijskoj identifikaciji

U ovom radu su poređeni algoritmi za izdvajanje vena sa slike šake snimljene pod infracrvenom svetlošću. Algoritmi su ocenjivani na osnovu postignute tačnosti pri biometrijskoj identifikaciji, za koju je korišćen template matching algoritam. Upoređena su tri algoritma za binarizaciju slike: Jasudin (Sezgin i Sankur 2004), Bernsenov (Sezgin i Sankur 2004) i line tracking (Miura et al. 2004). Prva dva algoritma (Jasudin i Bernsenov) su lokalno adaptivni threshold metodi, koji se zasnivaju na poređenju osvetljenosti svakog pojedinačnog piksela sa ostalim pikselima u njegovoj blizini sa ciljem izdvajanja objekata od pozadine. Treći algoritam, line tracking, više puta iz nasumično odabranih piksela pronalazi tamne linije prateći ih piksel po piksel, pri tome se piksel proglašava se za deo vene ako je običen dovoljan broj puta. Najveća tačnost identifikacije iznosi 77%, i postignuta je korišćenjem line tracking algoritma. Bernsenov i Jasudin algoritam su postigli tačnosti 75% i 40% respektivno.

Uvod

Svaki pojedinac ima drugačiju šemu vena u šaci, i interesantna osobina te šeme je da se ne menja sa starenjem, osim u veličini. Takođe, vene se nalaze unutar šake, pa ih je vrlo teško kopirati. Ovo čini vene u šaci potencijalno dobrim metodom za biometrijsku identifikaciju. Kompanije Fujitsu i Hitachi su razvile sisteme za identifikaciju pomoću vena u šaci koji se u nekim

zemljama već primenjuju na bankomatima (Strickland 2012).

Sistem za identifikaciju se može podeliti na četiri celine (slika 1). Prvo se šaka snima pod infracrvenim svetlom. Nakon snimanja, iz slike se izdvajaju vene koristeći jedan od tri algoritma opisana u ovom radu. Onda se slike dobijene izdvajanjem kompresuju i porede sa slikama iz baze da bi se utvrdilo kojoj osobi pripada snimljena šaka.

Kako bi se vene istakle na slikama, korišćena je modifikovana kamera sa filtrom koji propušta sami ifracrvenu svetlost i infracrveno osvetljenje zato što deoksigenisana krv u venama apsorbuje infracrvenu svetlost, dok ona prodire kroz ostatak šake.

Algoritmi korišćeni za izdvajanje vena su Jasudin (Sezgin i Sankur 2004: 157-158), Bernsenov (Sezgin i Sankur 2004: 157) i line tracking (Miura et al. 2004). Pre primene algoritma za izdvajanje vena, slika sa kamere se prevodi u crno-belu.

Jasudin algoritam procenjuje da li piksel pripada veni (objektu) ili ostatku šake (pozadini) tako što računa razliku između minimalne i maksimalne osvetljenosti u okolini posmatranog piksela i proglašava piksel za objekat ako je izračunata razlika veća od unapred postavljenog praga, ili ako je osvetljenost okoline posmatranog piksela dovoljno niska.

Bernsenov algoritam poredi osvetljenost svakog piksela sa aritmetičkom sredinom minimalne i maksimalne osvetljenosti u okolini posmatranog piksela, i ukoliko je osvetljenost manja od sredine, piksel se proglašava za objekat.

Line tracking algoritam nasumično bira određen broj piksela, i potom za svaki određuje da li

Nikola Milenić (1997), Kragujevac, Voje Manojlovića 4/26, učenik 2. razreda Prve kragujevačke gimnazije

MENTORI:

Marko Bežulj, ISP

Miloš Stojanović, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu



Slika 1. Sistem za biometrijsku identifikaciju

Figure 1. Biometric identification system

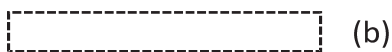
se on nalazi na tamnoj liniji, odnosno liniji koja je tamnija od piksela duž njenih ivica. Ukoliko se piksel nalazi na tamnoj liniji, algoritam prati tu liniju piksel po piksel do njenog kraja. Svaki piksel koji je posećen dovoljan broj puta se proglasa za venu.

Slika se zatim poređi sa svakom referentnom slikom iz prethodno formirane baze slika, da bi se našla osoba kojoj pripada.

Aparatura

Aparatura za akviziciju slika postavljena je na slici 2. Za akviziciju slika je korišćeno:

- kamera ednet. 87206, rezolucije 640×480 (0.3 megapiksela) na kojoj je infracrveni filter zamenjen filtrom koji ne propušta vidljivi deo spektra, tako da je kamera snimala samo infracrveni deo spektra.
- četiri TS FF 5210 infracrvene LED talasne dužine 870 nm



Slika 2. Sistem za akviziciju slika: a) kamera, b) očekivana pozicija šake, c) LED kolo.

Figure 2. Image acquisition system: a) webcam, b) hand recording area, c) LED circuit.

- otpornik od 5 Ω snage 1 W, koji je ograničavao struju kroz LED diode.
- promenjivi izvor napona
- kartonska kutija za izolaciju šake, odnosno eliminaciju spoljnog osvetljenja pri iluminaciji infracrvenim diodama.

Problem sa ovako postavljenom aparaturom je neravnomerna osvetljenost slike, odnosno, u delu šake neposredno iznad dioda su vene daleko izraženije nego u ostatku šake. Moguće je postaviti aparaturu tako da diode i kamera budu sa iste strane šake, jer infracrvena svetlost pored toga što u manjoj meri prolazi kroz vene nego kroz ostatak šake, u manjoj meri se i odbija od njih (Yuksel *et al.* 2011).

Metod

Postupak testiranja

1. Akvizicija slike sa infracrvene kamere
2. Izdvajanje vena
3. Smanjenje rezolucije radi bržeg poređenja i smanjenje neželjenih efekata usled manjih pomeraja položaja šake.
4. Poređenje slike vena sa slikama iz baze radi identifikacije.

Navedeni postupak je ponavljan više puta za svaki od tri metoda za izdvajanje vena sa ciljem utvrđivanja njihove tačnosti.

Akvizicija slike. Radi akvizicije slika šake ruka se postavlja između kamere i izvora infracrvene svetlosti (slika 1). Vene upijaju infracrvenu svetlost dok ona može da prođe kroz ostatak šake. Usled navedenog se na slici vene vide kao tamne oblasti. Softver za uzimanje slika izdvaja deo slike dimenzija 300×300 piksela kao posmatranu oblast.

Formiranje baze. Za potrebe istraživanja je formirana baza snimaka 40 šaka različitih po jedinaca, gde je za svaku od šaka napravljeno 20 snimaka (ukupno 800 slika). Baza je potom podeljena na dve grupe. Prva grupa se sastojala od 160 slika, po 4 od svake šake, i služila je kao baza

sa referentnim slikama. Ostalih 640 slika, 16 od svake šake su korišćene za testiranje. Za bazu su izabrane po 4 najreprezentativnije slike svake šake, gde je reprezentativnost slike definisana kao recipročna vrednost prosečne razlike između posmatrane slike i svake druge slike iste šake. Za računanje te razlike korišćeni su line tracking algoritam za izdvajanje i pattern matching algoritam za poređenje, koji su opisani u nastavku.

Izdvajanje vena

Za izdvajanje vena korišćena su tri algoritma.

Prvi algoritam je **Jasudin** (Sezgin i Sankur 2004: 157-158). On koristi 4 unapred zadata parametra T_1, T_2, T_3 i T_4 , koji predstavljaju granične vrednosti pomoću kojih se definiše koji deo slike pripada objektu, a koji pozadini. Na početku se širi dinamički opseg slike, odnosno osvetljenost svakog piksela se menja tako da osvetljenosti piksela ostanu proporcionalne, ali je maksimalna osvetljenost 255 dok je minimalna 0. Na taj način se umanjuje uticaj pozadinskog osvetljenja. Potom se svaki piksel ukoliko je razlika minimuma i maksimuma u kvadratu 3×3 piksela oko njega (lokalni opseg) manja od T_1 zameni prosekom susednih piksela. Na taj način se osvetljenost izjednačava dok oštre ivice ostaju očuvane. Potom se svaki piksel sa lokalnim opsegom ispod T_2 ili osvetljenošću iznad lokalnog preseka (preseka susednih piksela) proglašava za pozadinu. Piksel koji je na navedeni način proglašen za pozadinu se na originalnoj slici ne menja, ali je na novoj slici koja se dobija nakon izdvajanja označen kao pozadina. Potom se ponovo širi dinamički opseg. Na kraju, piksel se proglašava za venu ako mu je lokalni minimum ispod T_3 ili mu je lokalni opseg iznad T_4 .

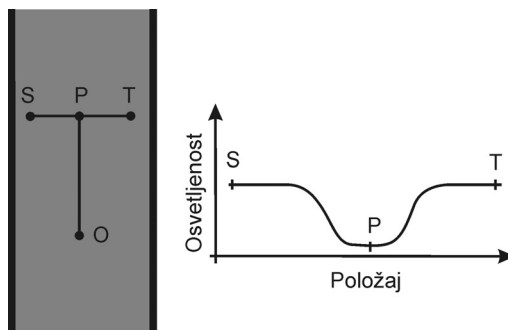
Drugi implementirani algoritam je **Bernsenov** (Sezgin i Sankur 2004: 157). Svaki piksel se proglašava za venu ako je njegova osvetljenost manja od srednje vrednosti lokalnog minimuma i maksimuma, za kvadrat stranice A oko posmatranog piksela, gde je A unapred određeni parametar. U suprotnom, proglašava se za pozadinu.

Treći je **line tracking** algoritam (Miura *et al.* 2004). Za nasumično odabran piksel O se utvrđuje da li se nalazi na tamnoj liniji (liniji na slici koja je tamnija od pozadine) i potom se ta linija prati piksel po piksel. Kao što se vidi na

desnom delu slike 3, pikseli na sredini poprečnog preseka vene su tamniji od onih na ivicama. Algoritam traži tamnu liniju u svakom od pravaca koji odgovara direktnom kretanju ka susednom pikselu. U svakom od mogućih pravaca se povuče duž iz O dužine r , sa krajnjom tačkom P , za unapred utvredeni parametar r . Zatim se kroz tačku P provuče duž ST normalna na OP , dužine w , takva da je $SP = PT$, gde je w unapred zadat parametar. Opisana duž ST predstavlja poprečni presek potencijalne vene. Potom se osvetljenost u tački P ($o(P)$) poredi sa osvetljenostima u tačkama S ($o(S)$) i T ($o(T)$). Radi poređenja osvetljenosti definišimo vrednost l kao

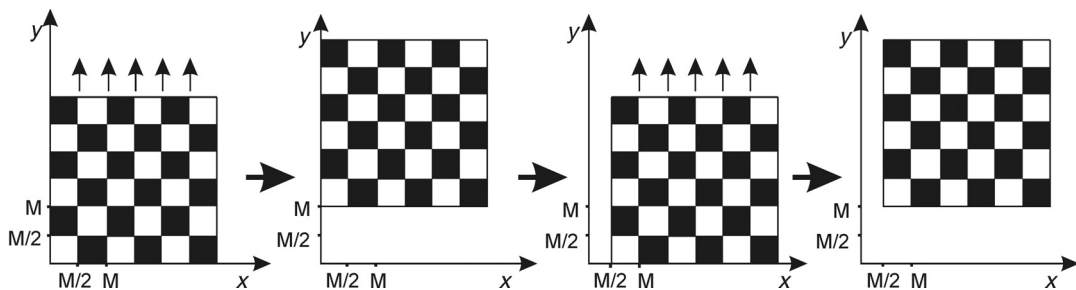
$$l = o(S) + o(T) - 2o(P).$$

Smatra se da se piksel nalazi na tamnoj liniji ukoliko je $l > 0$ (slika 3). Radi nalaženja pravca u kom je vrednost l maksimalna ($\max(l)$), vrednost l se računa za svaki od posmatranih pravaca. Ukoliko je $\max(l) > 0$ prelazi se na susedni piksel u odgovarajućem pravcu. U suprotnom, pretpostavlja se da je nađen kraj tamne linije. Opisani postupak se ponavlja određeni broj puta. U cilju određivanja optimalnog broja ponavljanja vršena su merenja za broj ponavljanja između 3000 i 40000. Ustanovljeno je da nema značajnog povećanja tačnosti ako se broj ponavljanja povećava preko 10000. Kako je slika dimenzija 300×300 piksela (90000 piksela ukupno), u proseku je svaki deveti piksel korišćen kao polazna tačka. Svaki dovoljno puta obišten piksel se proglašava da pripada veni. Dobijeni su dobri rezultati ako je potreban broj obilaženja 3, tako da je ta vrednost korišćena u daljem istraživanju.



Slika 3. Poprečni presek tamne linije

Figure 3. Dark line cross-section



Slika 4. Translacija ulazne slike

Figure 4. Input image translation

Svakom pikselu proglašenom za venu se dodeljuje vrednost 255, a svakom proglašenom za pozadinu vrednost 0.

Kompresija

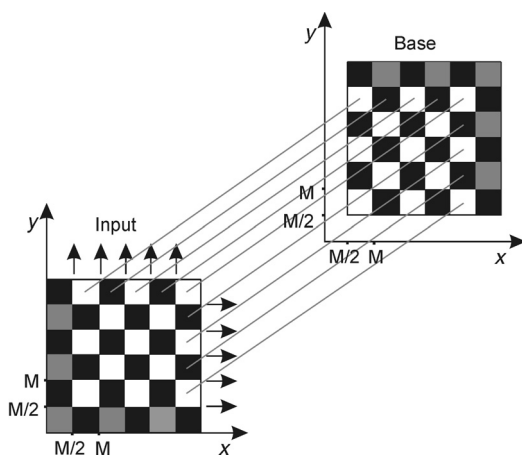
Nakon izdvajanja vena se smanjuje rezolucija slika sa 300×300 na 30×30 , tako što se svaki piksel nove slike zameni prosekom odgovarajućeg 10×10 bloka originalne slike. Potom se svaki piksel osvetljenosti veće od E oboji u belo (255), svaki piksel osvetljenosti manje od T oboji u crno (0), a ostali se oboje u sivo (128), za prethodno postavljene pragove E i T . Na ovaj način se siva boja dodeljuje oblastima oko vena koje predstavljaju oblasti za koje se ne može sa sigurnošću utvrditi da li pripadaju veni ili ne. Time se omogućava korigovanje manjih promena položaja šake.

Slike kompresovane na navedeni način se čuvaju u bazi radi poređenja pri merenju tačnosti algoritma.

Poređenje slika

Korišćeno je template matching poređenje. Prilikom poređenja ulazne slike sa slikom iz baze, ulazna slika se translira da bi se nadoknatile manje varijacije u položaju ruke. Ulazna slika se translira u pozitivnom smeru x ose, piksel po piksel, i za svaki položaj duž x ose se translira u pozitivnom smeru y ose. Translacija se vrši do određenog maksimuma M koji u ovom konkretnom slučaju iznosi 10 piksela (slika 4), dok je slika iz baze uvek translirana u pozitivnim smerovima x i y ose za $M/2$ da bi se uzeli u obzir po-

meraji u svim smerovima. Na slici 5 predstavljeno je dodeljivanje piksela slike iz baze pikselima ulazne slike radi poređenja. Zbog transliranosti slika, nije moguće svakom pikselu ulazne slike dodeliti piksel slike iz baze, tako da se poredi samo delovi slika za koje je ta dodela moguća. Na slici 5, deo ulazne slike kome se ne mogu dodeliti pikseli slike iz baze kao i deo slike iz baze koji ne može biti dodeljen ulaznoj slici su osenčeni. Kako se vrši samo translacija, sistem je veoma osetljiv na promene u orijentaciji šake. Taj problem bi se mogao otkloniti tako što se pri poređenju vrši i rotacija.



Slika 5. Poređenje slika

Figure 5. Image comparison

Razliku između slika određuje zbir broja piksela koji su na ulaznoj slici proglašeni za venu, a na slici iz baze za pozadinu (false positive) i broja piksela koji su na ulaznoj slici proglašeni za pozadinu, a na slici iz baze za venu (false negative). Pri računanju ove razlike, za svaku translaciju se svaki piksel ulazne slike poredi sa odgovarajućim pikselom slike iz baze. Ukoliko je apsolutna razlika piksela jednaka 255, razlika između slika se povećava za jedan. U svim ostalim slučajevima, odnosno kad je posmatrani piksel ulazne slike jednak odgovarajućem pikselu slike iz baze, ili je na bar jednoj slici obeležen sivom bojom, razlika se ne menja. Za optimalnu translaciju se proglašava translacija za koju je razlika između ulazne slike i slike iz baze najmanja. Za svaku osobu se računa zbir pojedinačnih razlika između ulaza i svake slike iz baze koja pripada toj osobi pri optimalnoj translaciji. Na kraju se ulazna slika dodeljuje osobi za koju je opisani zbir najmanji.

Određivanje optimalnih parametara

Radi postizanja što veće tačnosti identifikacije, za svaki od tri navedena algoritma su određeni optimalni parametri (T_1, T_2, T_3, T_4 za Jasudin,

A za Bernsenov i r i w za Line-tracking). Takođe, za svaki od algoritama su određeni i optimalni parametri za kompresiju E i T .

Određivanje optimalnih parametara je vršeno tako što su posmatrane sve vrednosti prvog parametra, i za svaku vrednost tog parametra su se posmatrale sve vrednosti drugog, a za svaku njegovu vrednost su posmatrane sve vrednosti trećeg itd. Za svaku kombinaciju je računata tačnost, odnosno procenat ulaznih slika koje su tačno klasifikovane, i za optimalan je proglašen skup parametara za koji je tačnost bila najveća.

Rezultati

U tabeli na slici 6 prikazani su primeri izlaza tri ranije pomenuta metoda za izdvajanje vena, kao i slika koja se čuva u bazi nakon takvog izdvajanja.

Radi formiranja baze snimljene su šake 37 muškaraca i 3 žene uzrasta između 15 i 35 godina. Za svaku šaku je napravljeno po 20 snimaka (800 slika ukupno).

Nakon podele, za svaku ulaznu sliku proveravana je klasa u koju je algoritam svrstava, a do-

Slika 6. Metodi za binarizaciju

Figure 6. Binarization methods

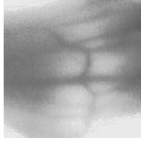
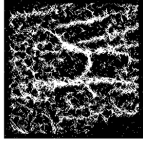





	Line-tracking	Yasuda	Bernsen
Originalna slika /Original image			
Nakon binarizacije /After binarization			
Nakon kompresije /After compression			

Tabela 1. Karakteristike algoritama

	Jasuda						Bernsen			Line-tracking			
	T_1	T_2	T_3	T_4	E	T	A	E	T	r	w	E	T
Optimalni parametri	5	60	15	5	135	30	31	160	110	4	20	85	40
Tačnost	40±1%						75±1%			77±1%			
Vreme izvršavanja	350-500 ms						1500-2100 ms			170-270 ms			

bijeni rezultat potom se poredio sa stvarnom klasom slike. U tabeli 1 prikazani su optimalni parametri za sva tri metoda, kao i tačnosti i vremena izvršavanja pri optimalnim parametrima. A , r i w su izraženi u pikselima, dok su ostali parametri bezdimenzionalni. Vremena izvršavanja su u milisekundama. Greška u tačnosti od $\pm 1\%$ potiče od zaokruživanja. Svi optimalni parametri su određeni sa greškom od ± 5 zato što su pomereni u koracima od 5 prilikom određivanja. Izuzetak je greška pri određivanju parametra A koja je ± 10 zato što je u koracima od 5 menjana udaljenost ivice posmatranog kvadrata od centralnog piksela sa obe strane, tako da je ukupna stranica kvadrata povećavana za 10 pri svakom koraku. Vremena izvršavanja merena su na konfiguraciji: procesor AMD Athlon X4 750K 3.4 GHz, 8GB RAM, Windows 7.

Diskusija

Line tracking algoritam je dao najbolje rezultate, što i odgovara očekivanjima autora, pošto je on i razvijen za potrebe izdvajanja vena, dok su druga dva razvijena za izdvajanje slova od pozadine na kojoj su napisana. Bernsenov algoritam se pokazao nešto manje tačnim, dok je Jasudin daleko slabiji od oba, i može se smatrati potpuno neuspelim, što se ne slaže sa rezultatima drugih istraživanja (Yuksel *et al.* 2011), po kojima je Jasudin algoritam tačniji od Bernsenovog. Jasudin algoritam je najverovatnije dao lošije rezultate zato što je zasnovan na varijacijama u osvetljenosti, a pozadinsko osvetljenje sa aparaturom korišćenom u ovom radu bilo je prilično neravnomerno.

Vreme izvršavanja line tracking algoritma je najmanje, zato što on ne prolazi kroz svaki piksel slike, već samo kroz one koji pripadaju venama.

Jasudin je sporiji zato što više puta prolazi kroz svaki piksel slike. Dva puta prolazi kroz sve piksele prilikom širenja dinamičkog opsega, jednom prilikom određivanja najsvetlijeg i najtamnijeg piksela, a drugi put prilikom promene vrednosti piksela. Onda prilikom izjednačavanja za svaki piksel posmatra 3×3 kvadrat, što je kao da svaki piksel slike obilazi 9 puta. Prolazi kroz sve piksele još 9 puta prilikom proglašavanja za pozadinu svih piksela kojima je lokalni opseg ispod T_2 ili osvetljenost iznad lokalnog preseka. Potom prolazi još dva puta tokom širenja dinamičkog opsega i još 9 puta tokom utvrđivanja da li piksel pripada veni ili pozadini. Dakle, ukupno Jasudin algoritam 31 put proverava svaki piksel slike. Bernsenov algoritam prolazi kroz sve piksele i za svaki posmatra 31×31 kvadrat oko njega, odnosno svaki piksel obilazi 961 put.

Zaključak

Line tracking algoritam je dao najbolje rezultate. Slično se pokazao i Bernsenov algoritam, koji je dao neznatno manju tačnost. Tačnost postignuta line tracking i Bernsenovim algoritmima je na nivou sa sličnim sistemima (Yuksel *et al.* 2011). Za bazu koja je korišćena, line tracking algoritam je dao bolje rezultate od Bernsenovog, ali je razlika neznatna. Ipak, line tracking algoritam je skoro deset puta brži, pa se može proglasiti boljim za praktičnu primenu. Jasudin algoritam je u datim uslovima najmanje tačan, odnosno, može se smatrati potpuno nepouzdanim budući da mu je tačnost manja od 50%. Međutim, treba uzeti u obzir da je korišćena aparatura bila neadekvatna za primenu Jasudinog algoritma zbog neravnomerne osvetljenosti koju su diode pružale.

U daljem istraživanju bi trebalo usavršiti aparaturu za snimanje slika, tako da šaka bude ravnomerno osvetljena. To bi se moglo realizovati povećanjem broja dioda i/ili njihovom boljim raspoređivanjem. Potrebno je i realizovati sistem za normalizaciju položaja šake, da bi se umanjila greška prouzrokovana različitim položajem i orijentacijom šake, koja je glavni problem ovog sistema.

Zahvalnost. Zahvaljujem se svojim mentorima Marku Bežulju i Milošu Stojanoviću, za pomoć oko izbora literature i samog pisanja rada, kao i Gavrilu Andriću, za pomoć oko modifikacije kamere. Takođe se zahvaljujem svim saradnicima i polaznicima seminara Primenje fizike i elektronike koji su mi dopustili da snimam slike njihovih ruku.

Literatura

- Miura N., Nagasaka A., Myatake T. 2004. Feature extraction of finger-vein patterns based on repeated line tracking and its application to personal identification. *Hitachi, machine vision and applications*, **15**: 194.
- Sezgin M., Sankur B. 2004. Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation. *Journal of Electronic imaging*, **13** (1): 146
- Strickland E., 2012. *Biometric Wallet*. Dostupno na: <http://spectrum.ieee.org/biomedical/imaging/the-biometric-wallet/0> [Pristupljeno 30. 8. 2013]
- Yuksel A., Akarun L. and Sankur B. 2011. Hand vein biometry based on geometry and appearance methods. *IET Computer Vision*, **5** (6): 398.

Nikola Milenić

Comparison of Hand Vein Extraction Algorithms and Analysis of their Performance in Biometric Identification

The goal of this project is to compare image binarization algorithms and their application to the hand vein based biometrical identification system. The hand vein pattern is unique for each individual and hard to replicate, making it a potentially good method for biometrical identification. Deoxygenated blood in veins absorbs infrared light, while it can pass through the rest of the hand, so by positioning the hand over an infrared LED, a modified webcam on the other side can get an infrared image of the hand, with veins being displayed as darker areas. The image resolution was 300×300. For vein extraction, three algorithms were used, in order to find the most reliable one. The algorithms used were Yasuda, Bernsen (Sezgin & Sankur 2004) and line tracking (Miura *et al.* 2004). The first two algorithms used are locally adaptive thresholding methods, which determine whether a pixel belongs to the object or the background by comparing it to the surrounding pixels. The third algorithm finds dark lines and follows them pixel by pixel, with a number of randomly selected pixels as starting points. Then all pixels that are visited frequently enough are said to belong to a vein. The database used for testing consisted of 800 images of 40 different hands (20 images per hand). The database was divided into two parts. The first part consisted of 160 images and was used as a database while the other part was used as a test set. Every image from the test set is compared with each image from the database using pattern matching to find the best match. The accuracy achieved with the line tracking algorithm is 77%. The Bernsen's algorithm was slightly less accurate, with the accuracy of 75%, while Yasuda's algorithm performed poorly with the accuracy of only 40%. 