

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet organizacije i informatike
Varaždin

Mario Karlovčec
Tomislav Fotak

Autentikacija osobe primjenom minimalno razapinjućih stabala na
dvodimenzionalnu sliku dlana

Zagreb, 2009.

Ovaj rad izrađen je na Fakultetu organizacije i informatike u Varaždinu pod vodstvom prof. dr. sc. Miroslava Bače i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2008./2009.

Popis i objašnjenje kratica korištenih u radu

FAR (False Acceptance Rate) - Vjerojatnost da sustav prilikom uspoređivanja uzoraka pogrešan uzorak iz kojeg je stvoren predložak koji se uspoređuje s bazom proglasi točnim. Ova mjera opisuje postotak nepravilnog podudaranja. Pojednostavljeno, mjera nam govori kolika je mogućnost da će se neovlašteni korisnik moći predstaviti kao ovlašteni korisnik.

FRR (False Rejectance Rate) - Vjerojatnost da sustav dobar uzorak proglasi pogrešnim prilikom uspoređivanja predložaka s bazom. Mjera opisuje postotak nepravilnog odbijanja. Točnije, kolika je mogućnost da ovlašteni korisnik ne bude ne bude prepoznat kao takav.

FER (Failure To Enroll Rate) - Postotak ulaznih podataka u sustav koji se nisu mogli registrirati i pohraniti. Ova mjera se povećava kada podaci uzeti s biometrijskog uređaja nisu dobri (loše kvalitete) za sustav.

CCD (Charge – coupled device) – svjetlosni uređaj koji sprema i pokazuje slikovne podatke na način da je svaki slikovni element (piksel) pretvoren u električni napon jačine koja odgovara boji u spektru boja.

MST (Minimum Spanning Tree) – minimalno razapinjuće stablo. U teoriji grafova je to povezan jednostavan graf koji ne sadrži niti jedan ciklus, a suma težina bridova je minimalna.

Sadržaj

Sadržaj	III
1. Uvod	1
2. Ciljevi rada	2
2.1. Prijašnji radovi iz područja geometrije dlana	2
3. Materijal i metode	4
3.1. Izuzimanje slika dlana	4
3.2. Predprocesiranje slike	4
3.3. Geometrija dlana	5
3.4. Izlučivanje karakterističnih točaka	7
3.5. Minimalno razapinjuća stabla	9
3.5.1. Primjena minimalno razapinjućih stabala u sustavu	10
4. Rezultati predloženog sustava.....	16
5. Budući rad.....	17
6. Zaključak	18
Popis literature	19
Sažetak.....	21
Summary	22

1. Uvod

Biometrijske metode autentifikacije i identifikacije postaju sve popularnije. Postoji velik broj načina za probijanje neke lozinke, no pokušati lažirati nešto što osoba jest predstavlja puno veći izazov i upravo je to razlog popularnosti biometrijskih metoda. Trenutno najpopularnije tehnike su otisak prsta i prepoznavanje lica. One se koriste u identifikaciji osoba već duže vrijeme, a otisci prstiju imaju i posebnu disciplinu koja se bavi njima, daktiloskopiju. S druge strane, analiza lica je vrlo povoljna tehnika za razvoj novih metoda zbog velike entropije čovječjeg lica.

Sve popularnija tehnika postaje i analiza geometrije, osnovnih linija te papilarnih linija dlana. Dok zadnje dvije možemo analizirati daktiloskopskim metodama, geometrija dlana je potpuno drugačije područje i nudi brojne mogućnosti implementacije različitih sustava koji će ju koristiti. Tehnika je, stoga, vrlo zahvalna jer do izražaja može doći kreativnost onoga tko se upusti u izradu takvog sustava.

Mi ćemo u radu predstaviti jedan način implementacije sustava za autentifikaciju koji koristi geometrijske karakteristike dlana dobivene iz dvodimenzionalne slike izuzete običnim skenerom ili digitalnim fotoaparatom. Rad je koncipiran na način da se predstave ciljevi rada i prijašnji radovi akademske zajednice iz područja geometrije dlana u poglavlju 2. Nakon toga, u poglavlju 3 slijedi srž cijelog rada gdje će biti opisan cijeli postupak od izuzimanja slike dlana preko njezine normalizacije, izlučivanja karakterističnih točaka geometrije do metode korištene za verifikaciju koja je bazirana na dijelu teorije grafova, točnije minimalno razapinjućim stablima. Rezultati izrađenog sustava bit će izloženi u poglavlju 4, a u poglavlju 5 ćemo dati osnovne ideje za daljnji razvoj. Na samom kraju slijedi zaključak dobiven izradom ovog rada.

2. Ciljevi rada

Želimo izraditi sustav za autentikaciju osobe koji će primati dvodimenzionalnu sliku dlana sa skenera te iz nje, nizom postupaka digitalne obrade slike, koristeći teoriju grafova, specifično minimalno razapinjuća stabla, izlučiti osnovne karakteristike izuzetog dlana, a kasnijim uspoređivanjem s pohranjenim predloškom odlučiti o ispravnosti predstavljenog identiteta.

Prema tome, okosnicu čini geometrija dlana kao biometrijska karakteristika. Ona je u osoba prihvatljiva jer prilikom izuzimanja ne mora doći do kontakta s površinom uređaja koji služi izuzimanju iste, no tradicionalne metode prikupljanja obuhvaćaju kamere niske rezolucije ili skenere, često uz prije definiran ulaz, koji tjeraju korisnike da dođu u kontakt s površinom uređaja [1]. Početak korištenja ove biometrijske karakteristike seže u osamdesete godine dvadesetog stoljeća [2], a vrhunac je, zasad, imala na Olimpijskim igrama u Atlanti, 1996. godine, gdje se koristila za kontrolu pristupa Olimpijskom Selu.



Slika 2.1. Slika površine uređaja za izuzimanje slike dlana, prikazana kroz odgovarajuću aplikaciju [3]

2.1. Prijašnji radovi iz područja geometrije dlana

Iako se ova tehnika koristi već više od 20 godina, ne postoji mnogo radova o njoj. Glavnina materijala nalazi se u patentima. Ovdje ćemo vam predstaviti radove koji su nastali u djelovanju akademske zajednice, počevši od 1999. godine kada datira prvo poznato djelo iz ovog područja [4]. Bio je to rad Jaina, Rossa i Pakantija i ujedno i prvi nekomercijalni sustav za verifikaciju osoba na temelju geometrije dlana. Njihova je baza sadržavala po 10 slike

svake od 50 osoba, s tim da je 140 slika moralo biti odbačeno zbog nepravilno postavljene ruke na uređaj za skeniranje. Slike su bile isključivo u nijansama sive boje (grayscale), a pomoću valjaka na površini namjestili su ruku u pravilan položaj te odredili 16 osi prema kojima će se vršiti mjerenja [3]. „Iz dobrog skupa uzoraka izlučivali su mjere prema tim osima i njih spremali u jedan vektor, a zatim uspoređivanje dvaju vektora vršili s četiri mjere: apsolutnom razlikom (udaljenošću), ponderiranom apsolutnom razlikom, euklidskom udaljenošću i ponderiranom euklidskom udaljenošću. Svaka od tih vrijednosti imala je posebno definiranu granicu prihvatljivosti, odnosno dopuštene razlike. Na temelju toga je razvijen sustav koji je dao sljedeće rezultate: stupanj pogrešnog prihvaćanja (FAR) bio je 2%, a stupanj pogrešnog odbijanja (FRR) čak 15%“ [4].

Iste godine, Jain u suradnji s Dutom objavljuje novi rad o toj problematici. Sustav se temeljio na poravnavanju konture prstiju i mjerenju tzv. prosječne greške u poravnanju između uzoraka za koje se tvrdilo da pripadaju istoj osobi. Baza im se sastojala od 353 slike dlana uzete od 53 osobe. Tako je po prvi put javno dostupan postao sustav koji je verifikaciju temeljio samo na obliku ruke. Ovaj sustav dao je bolje rezultate što se tiče pogrešnog odbijanja osobe. Naime, stupanj pogrešnog prihvaćanja je kao u prethodnom sustavu ostao na 2%, no stupanj pogrešnog odbijanja je ovdje bio 3,5% [5].

Time je započeo intenzivniji razvoj ove biometrijske karakteristike. Već 2000. godine, Raul Sanchez-Reillo, Carmen Sanchez-Avila i Ana Gonzales-Marcos razvili su sustav sličan onome koji su razvili Jain i Duta, no oni su ga, uz provjeru identiteta osobe, također koristili za utvrđivanje identiteta osobe. Baza se sastojala od 200 slika dlanova ukupno 20 osoba. Rezultati u području identifikacije su bili vrlo dobri, čak 97%, a na području verifikacije stupnjevi pogrešnog prihvaćanja i odbijanja bili su ispod 10% [6]. Ovaj rad je prvi zabilježen rad na području identifikacije osobe na temelju geometrijskih karakteristika dlana.

Razvijeni su i sustavi koji ne traže fizički kontakt dlana i uređaja koji izuzima sliku. Ovo je ponajviše razvijeno iz higijenskih razloga kojima pridaju veliku važnost na Dalekom Istoku. Prvi takav rad napravili su Wong i Shi sa Sveučilišta znanosti i tehnologije u Hong Kongu. Izuzimanje slike dlana postalo je puno jednostavnije i korisnicima prihvaćenije. Baza se sastojala od 323 slike, a sustav se temeljio na mjerenju duljine i širine prstiju, te duljine i lokacije vrhova prstiju. Korisnici su ruku mogli postaviti kako su htjeli jer se svaka slika prije obrade morala normalizirati tako da se rotira kada se nađu ključne točke za obradu. Koristeći Gaussian mixture model i neuronske mreže stiglo se do rezultata od 89% dobrog prihvaćanja i 2% pogrešnog prihvaćanja [7].

„Razvijeni su sustavi koji izuzimaju sliku dlana bez dodira s površinom uređaja, a zatim i vrlo brzo rade njihovu normalizaciju tako što rotiraju dlan, ali ujedno i mijenjaju položaj prstiju na dlanu kako bi slika dlana koja se obrađuje uvijek bila ista bez obzira na to kako osoba postavi dlan prilikom njegova slikanja“ [4].

3. Materijal i metode

Predloženi sustav za autentikaciju sastoji se od izuzimanja slike sa skenera ili digitalnog fotoaparata u rezoluciji 842 x 612 piksela, zatim njezinog predprocesiranja da bismo dobili konturu dlana, izlučivanja karakteristika, odnosno specifičnih točaka geometrije dlana, a na kraju i izrade minimalno razapinjućeg stabla dobivenih točaka pomoću kojeg će se vršiti uspoređivanje dobivenog predloška s postojećim predloškom u bazi predložaka.

3.1. Izuzimanje slika dlana

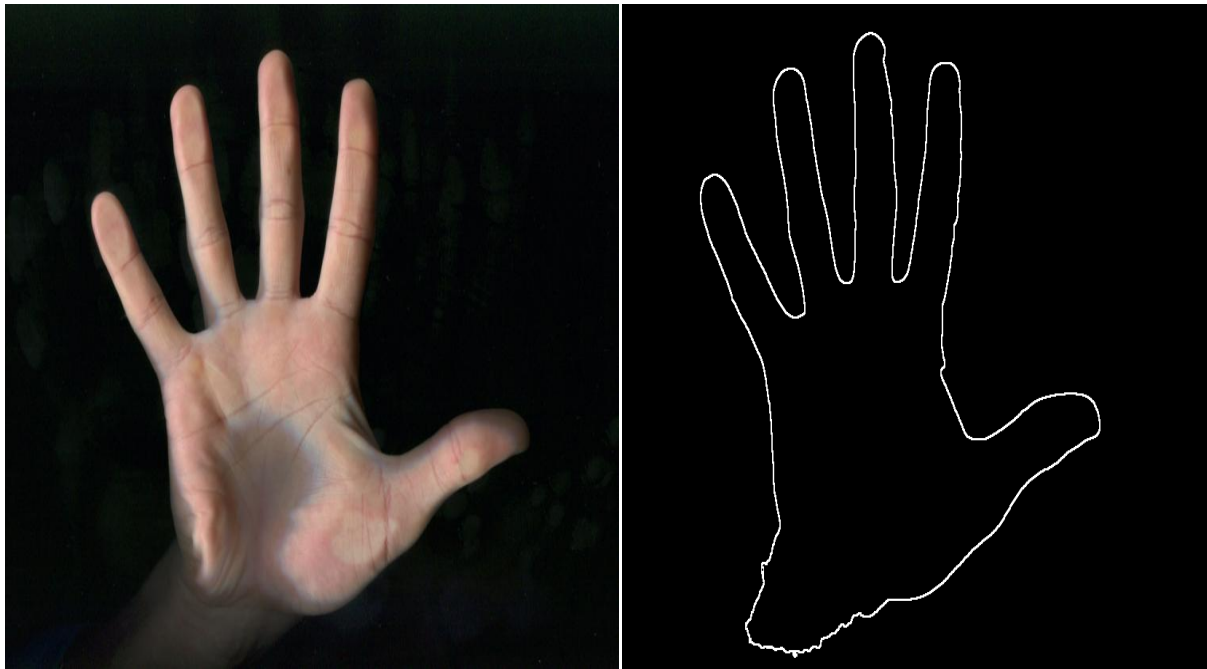
Slike dlanova, za potrebe ovog rada, izuzimale su se Epsonovim Perfection V30 skenerom. To je klasični CCD skener. Svi uzorci su veličine 842 x 612 piksela, prikupljeni su u razdoblju travnja 2009. godine. Svaka je osoba morala dati po 4 slike istog dlana. Ograničenje je bilo držanje srednjeg prsta u uspravnom položaju u odnosu na donji desni dio palčane uzvisine, radi daljnje obrade izuzetog uzorka. Prosječna brzina izuzimanja jednog uzorka je bila 6 sekundi.

3.2. Predprocesiranje slike

Nakon što je slika izuzeta sa skenera kreće se u njenu normalizaciju. Nizom postupaka digitalne obrade slike iz originalne slike dobivamo konturu dlana i na njoj vršimo daljnju obradu.

Na slici se prvo odbacuju sve boje te se konvertira u nijanse sive boje kako bi se u sljedećem koraku mogao izvršiti thresholding s vrijednošću 35. Tako smo dobili binarnu sliku na koju je jednostavnije dalje obrađivati. Primjenom Median filtera otklonili smo sve „ogrebotine“ na slici, odnosno male dijelove izvan područja dlana, a koji imaju istu boju kao dlan (u ovom slučaju bijelu). Na samom kraju dobivamo konturu dlana primjenjujući Sobelov Edge Detector filter.

Na Slikama 3.1. prikazane su slike dlana na početku izuzimanja i nakon predprocesiranja i normalizacije.



(a)

(b)

Slika 3.1. (a) Slika dlana izuzeta sa skenera i (b) Normalizirana slika dlana

3.3. Geometrija dlana

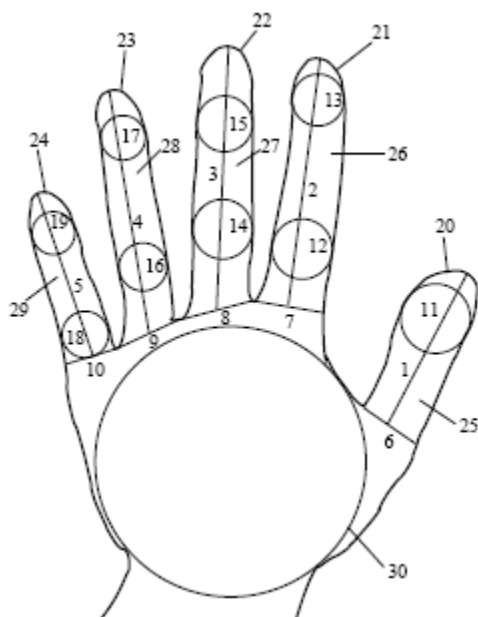
S anatomskog gledišta, dlan mogu karakterizirati njegova duljina, širina, debljina, geometrijska kompozicija, oblik dlana te oblik i geometrija prstiju [7]. Smatra se da ova biometrijska karakteristika postiže sigurnost srednje razine [8]. Moguće je napraviti umjetnu ruku koja bi imala iste geometrijske karakteristike kao prava ruka koju se kopira [9]. Ovaj nedostatak bi posebno bio izražen kod sustava koji koriste nekontaktne metode za uzimanje slike dlana (npr. slikanje dlana digitalnim fotoaparatom). No uz ovaj nedostatak postoje prednosti koje ju čine pogodnom za korištenje [10]:

- Cijena nije velika jer je potrebna samo platforma i kamera kojom se snima ne mora biti visoke rezolucije
- Koristi algoritme koji ne uzimaju puno procesorskog vremena i to dovodi do brzih rezultata
- Mala veličina predloška (352 do 1029 byte-ova) što smanjuje potrebu za velikim diskovnim prostorom
- Jednostavno i zanimljivo za korisnike – vodi do velike prihvatljivosti
- Koristeći geometriju dlana ne stvara se podsvjesna povezanost s policijom, sudom i policijskim dosjeima

Upravo manji troškovi, jači procesori i ostala današnja elektronika omogućili su proizvodnju uređaja koji pružaju očitavanje geometrije dlana, te su ih napravili komercijalno dostupnima. Pri tome, vremenske neprilike ili oštećena koža nemaju nikakvog utjecaja na njihovu točnost prilikom verifikacije osoba. No veliki utjecaj ima nakit na ruci, nedostatak dijela prstiju ili pak izostanak prstiju s ruke.

Analizirajući geometriju dlana, analiziramo njegove različite mjere. Današnji sustavi gledaju između 16 i 30 mjera dlana. Bulatov, Jambawalikar, Kumar i Sethia, definirali su 2004. godine trideset mjera koje se promatraju prilikom analize geometrije dlana. Ove mjere su prikazane na Slici 3.2., a one su sljedeće [11]:

1. Duljina palca
2. Duljina kažiprsta
3. Duljina srednjeg prsta
4. Duljina prstenjaka
5. Duljina malog prsta
6. Širina palca
7. Širina kažiprsta
8. Širina srednjeg prsta
9. Širina prstenjaka
10. Širina malog prsta
11. Polumjer gornjeg dijela palca
12. Polumjer donjeg dijela kažiprsta
13. Polumjer gornjeg dijela kažiprsta
14. Polumjer donjeg dijela srednjeg prsta
15. Polumjer gornjeg dijela srednjeg prsta
16. Polumjer donjeg dijela prstenjaka
17. Polumjer gornjeg dijela prstenjaka
18. Polumjer donjeg dijela malog prsta
19. Polumjer gornjeg dijela malog prsta
20. Opseg palca
21. Opseg kažiprsta
22. Opseg srednjeg prsta
23. Opseg prstenjaka
24. Opseg malog prsta
25. Površina palca
26. Površina kažiprsta
27. Površina srednjeg prsta
28. Površina prstenjaka
29. Površina malog prsta
30. Polumjer najveće upisane kružnice (površina dlana bez prstiju)

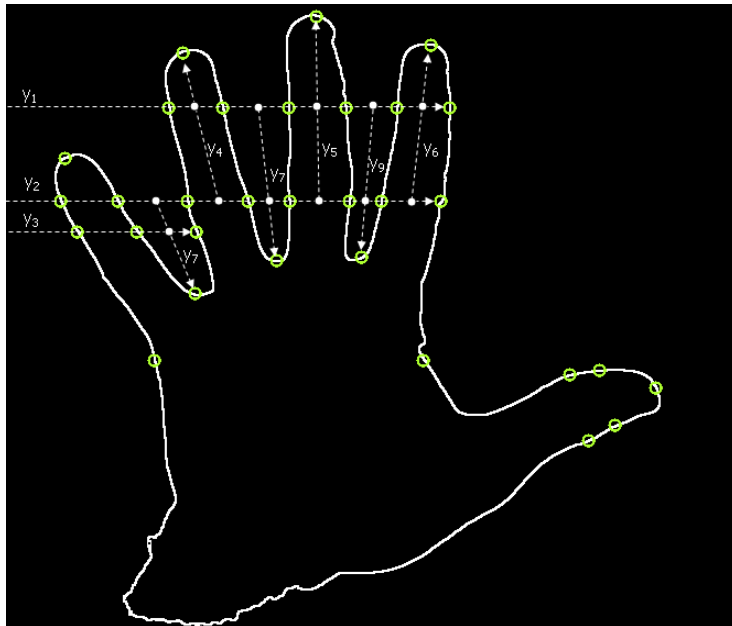


Slika 3.2. Geometrijske karakteristike dlana [11]

Za potrebe ovog rada nećemo koristiti niti jednu od predloženih karakteristika već digitalnom obradom slike dolazimo do karakterističnih točaka koje se mogu razlikovati kod svakog dlana. Iako se, na prvi pogled, neće činiti kako te točke imaju veze s geometrijom dlana, detaljnijim pregledom uvidjet ćete kako one predstavljaju upravo to jer ćemo se koristiti udaljenostima rubnih dijelova dlana u užem smislu te prstiju.

3.4. Izlučivanje karakterističnih točaka

Za izlučivanje karakterističnih točaka, normalizirana slika se obrađuje koristeći osnovne elemente vektorske grafike. Analizom svojstava piksela definiraju se lokacije karakterističnih točaka pa je konačan rezultat vektorska slika sastavljena od trideset i jedne točke.

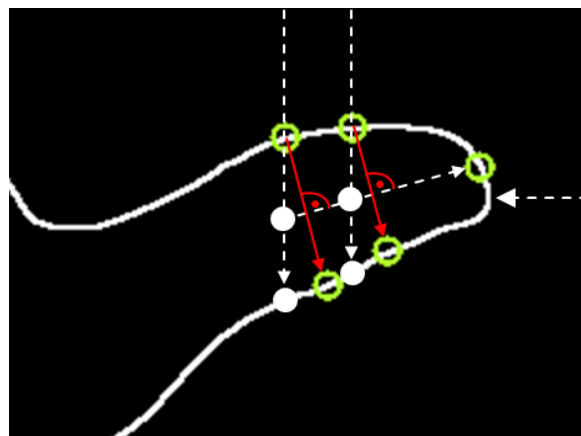


Slika 3.3. Kontura dlana s izlučenim karakterističnim točkama

Da bi se geometrija ruke smjestila u odgovarajuću poziciju u y-osi, koristi se referentna točka i to na vršku srednjeg prsta ruke. Da bi se dobila lokacija ove točke, horizontalnim pravcem se prolazi slikom (prvi horizontalni pravac na Slici 3.3). Ovaj pravac je jedini čiji smještaj ne ovisi o nekim prethodno definiranim točkama. Analiziranjem točaka na ovom pravcu dobivamo šest točaka, koje predstavljaju rubove kažiprsta, srednjeg prsta i prstenjaka. Kako znamo da su treća i četvrta točka rubovi gornjeg dijela srednjeg prsta, računa se lokacija točke između treće i četvrte te se definira vertikalni pravac koji prolazi kroz dobivenu točku. Od dobivene točke analiziraju se pikseli prema vrhu slike, sve dok se ne pronade rub prsta. Dobivena točka je referentna točka za utvrđivanje vertikalne pozicije geometrije ruke. Horizontalna pozicija se utvrđuje na temelju ruba malog prsta, pri čemu je y koordinata u ovom slučaju definirana u odnosu na prethodno dobivenu referentnu točku. Nakon što je ruka pravilno pozicionirana. Dvama horizontalnim (y_2 i y_3 na Slici 3.3) pravcima pronalaze se drugi parovi malog prsta, prstenjaka, srednjeg prsta i kažiprsta. Kako imamo po dva ruba za svaki od ovih četiri prsta, možemo definirati pravac koji aproksimira prste i orijentacije je koja odgovara usmjerenju svaka od ovih četiri prsta (riječ je o pravcima y_4 , y_5 , y_6 i y_7 sa Slike 3.3). Za određivanje ovog pravca najprije se pronalaze polovišta dužina koje spajaju dva ruba istog prsta, a potom se koristi jednačba pravca kroz dvije točke (te dvije točke su dobivena polovišta). Prolaženjem ovim pravcima prema vrhu slike dobivaju se pozicije vrhova ovih četiri prsta. Na sličan način dobivaju se pozicije točaka između dva prsta, pri

čemu se pronalaze polovišta dužina koje spajaju rubove susjednih prstiju, a pravcem se prolazi prema dnu slike.

Palac se zbog svojih posebnih karakteristika u odnosu na ostala četiri prsta obrađuje zasebno (postupak izlučivanja karakterističnih točaka palca je prikazan na Slici 3.4). Najprije se pronalazi krajnja desna pozicija palca. Dvama vertikalnim pravcima se dobivaju po dva ruba palca. Pronalaze se polovišta dužina koje spajaju te rubove, a dobivena polovišta se uvrštavaju u formulu za definiranje jednadžbe pravca kroz dvije točke. Analiziranjem točaka dobivenog pravca dobiva se vršak palca. Da bi se dobile karakteristične točke koje opisuju širinu palca koristi se prethodno dobiveni pravac i gornji rubovi palca. Na temelju dva elementa koristeći formulu za dobivanje jednadžbe pravca koji prolazi kroz neku točku i okomit je na neki pravac, dobivaju se dva pravca (crveno obojani pravci na Slici 3.4) za dobivanje druga dva ruba.



Slika 3.4. Izlučivanje karakterističnih točaka palca

3.5. Minimalno razapinjuća stabla

U cilju rada smo napomenuli da želimo izgraditi sustav koji će vršiti autentikaciju pomoću teorije grafova, odnosno minimalno razapinjućih stabala na dvodimenzionalnoj slici dlana. Izlučene karakteristične točke čine točke pogodne za izradu geometrije dlana, a mi ćemo upravo to i pokušati konstruiranjem minimalno razapinjućih stabala tih točaka koje ovdje predstavljaju vrhove stabla.

Da bismo znali na koji način će sustav vršiti autentikaciju, potrebno je upoznati se s osnovnim pojmovima teorije grafova.

Prema [12], graf (engl. graph) je skup vrhova (engl. vertices) i skup bridova (engl. edges) koji spajaju vrhove. Graf označavamo sa G , skup vrhova sa V , a skup bridova sa E . Postoje dvije

osnovne vrste grafova, to su neusmjereni grafovi (engl. undirected graphs) i usmjereni grafovi (engl. directed graphs, ili kraće digraphs). Po dogovoru neusmjereni graf ćemo zvati samo graf, a usmjereni graf sa potpunim nazivom (dakle uz pridjev usmjereni). Mogu postojati vrhovi koji su povezani sami sa sobom, što znači da postoji brid koji povezuje vrh s istim tim vrhom. Takvi bridovi se zovu petlje (engl. self-loops). Osim toga dva vrha mogu biti povezana sa više od jednim bridom, takvi bridovi koji povezuju isti par vrhova nazivaju se paralelni bridovi, a grafovi koji sadrže paralelne bridove višestruki grafovi (engl. multigraphs). Jednostavan graf je graf koji ne sadrži petlji i paralelne bridove. Kao i u slučaju neusmjerenih grafova, jednostavan graf zvat ćemo samo graf, a u suprotnom koristit ćemo termin pseudograf kako se naziva graf koji nije jednostavan.

„Potpuni graf (engl. Complete graph) je jednostavan graf koji sadrži sve bridove “[13], ili drugim riječima svaki par vrhova grafa je spojen jednim bridom. Svaki graf sa manje ili jednako vrhova od broja vrhova potpunog grafa je podgraf potpunog grafa.

Šetnja (engl. path) u grafu je niz vrhova u kojem je svaki sljedeći vrh (nakon prvog) susjedan svom prethodniku. Prvi i posljednji vrh u šetnji su vanjski vrhovi, a ostali su unutarnji. „Put (engl. simple path) je šetnja u kojoj su svi vrhovi različiti “ [13]. „Ciklus (engl. cycle) je put koji ima isti početni i završni vrh “ [13], a šetnja s istim početnim i završnim vrhom je zatvorena šetnja (engl. cyclic path).

„Stablo (engl. tree) je povezan jednostavan graf T koji ne sadrži niti jedan ciklus [12] “.

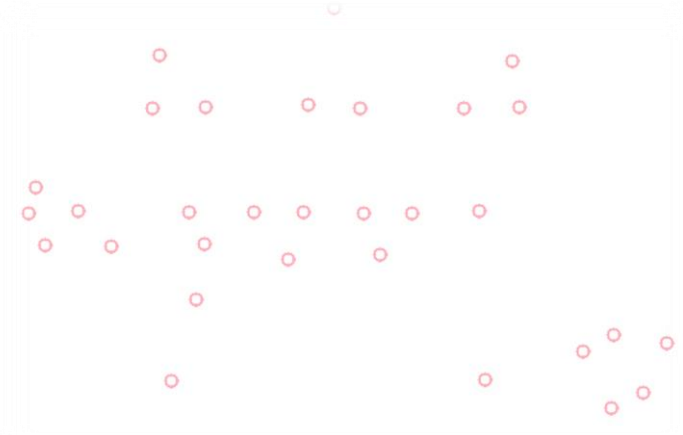
Razapinjuće stablo je podgraf povezanog grafa koji je stablo i sadrži sve vrhove tog grafa. Atribut „razapinjući “ znači da podgraf sadrži sve vrhove grafa, dakle razapinje ga. Razapinjuće stablo zove se i kičma grafa [14].

Minimalno razapinjuće stablo (engl. Minimum spanning tree) težinskog grafa G je razapinjuće stablo od G čija suma bridova je minimalna. Dakle minimalno razapinjuće stablo je stablo formirano od podskupa bridova neusmjerenog grafa, s dva svojstva: (1) razapinje graf, tj. uključuje sve vrhove grafa, i (2) minimalno je, tj. ukupna težina svih bridova je najmanja moguća [15].

3.5.1. Primjena minimalno razapinjućih stabala u sustavu

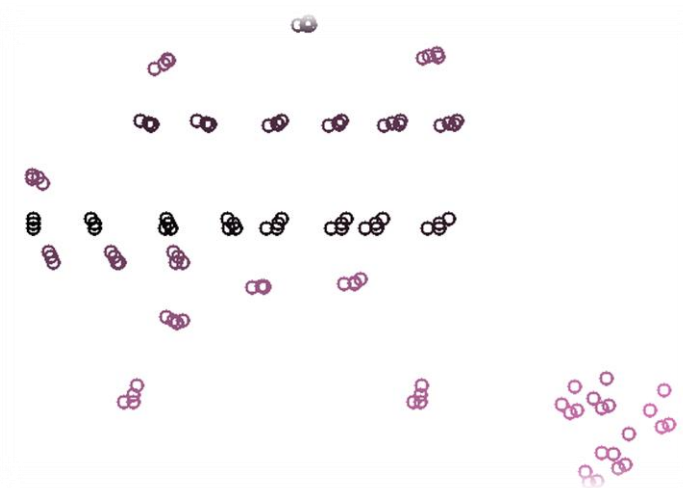
Metoda korištena za verifikaciju zasniva na iznosu težine MST-a grafa i promjeni te težine, ubacivanjem novog vrha u postojeći MST. Za svaku od pozicija geometrije ruke određuje se jedno MST. U predloženom primjeru ima 31 takvih pozicija, što znači da se radi s 31 grafova.

Kako je za unošenje nove geometrije u bazu potrebno četiri primjerka skenirane ruke neke osobe, svaki graf će sadržavati točno četiri vrha. Ovu situaciju predočava Slika 3.5.



Slika 3.5. Pozicije vrhova MST-a

Nakon određivanja točaka jednog primjerka skenirane ruke, dobiva se 31 jedinični graf. Novim primjerkom se svakom grafu dodaje po jedan vrh. Nakon četiri unesena primjerka, dobiveno je 31 graf (po jedan za svaku poziciju geometrije) koji se sastoji od 4 vrha (po jedan za svaki primjerak skeniranja jedne ruke). Ovi grafovi izgledaju kao na Slici 3.6.



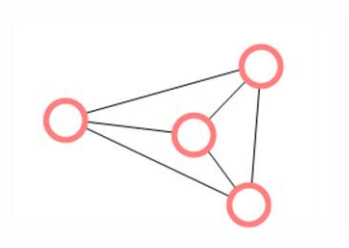
Slika 3.6. Pozicije vrhova MST-a nakon 4 skeniranja istog dlana

Sada se za svaki graf zasebno radi isti postupak određivanja MST-a. Koncentrirajmo se na jedan od ovih grafova, npr. na graf kakav je prikazan na Slici 3.7.



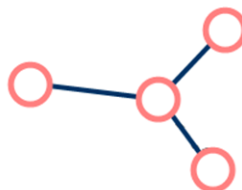
Slika 3.7. Četiri vrha jedne karakteristične točke

Da bismo odredili MST, ovaj graf mora biti povezan. Za određivanje MST-a svi bridovi dolaze u obzir pa je prema tome najbolje odrediti potpuni graf, definiranjem svih bridova nad skupom vrhova prethodnog grafa (Slika 3.8.).



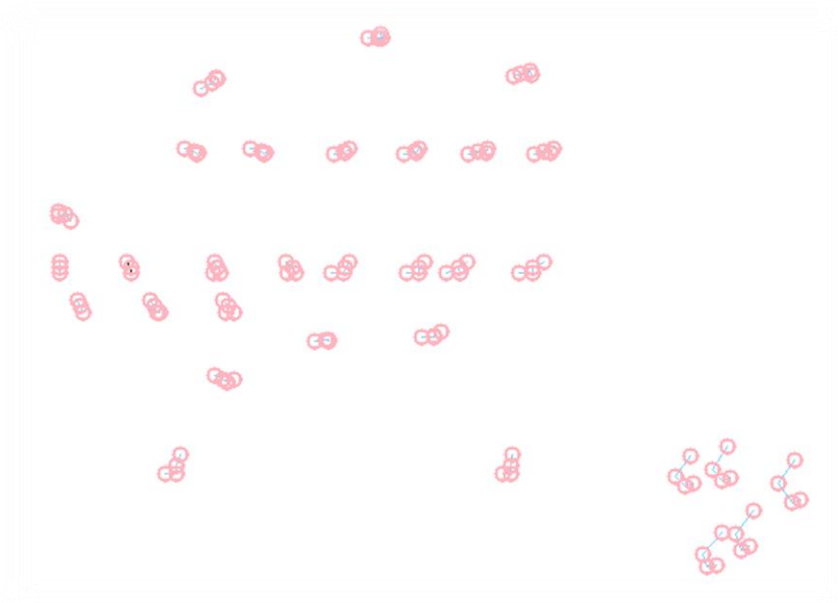
Slika 3.8. Potpuni graf vrhova jedne karakteristične točke

Broj bridova novog potpunog grafa je poznat, on se određuje pomoću formule $m = \frac{n^2 - n}{2}$, pri čemu je m broj bridova, a n broj vrhova. U našem slučaju je predefinirani broj vrhova četiri, što znači da se potpuni graf sastoji od šest bridova. Da bi smo mogli odrediti MST ovaj graf mora biti težinski, tj. bridovi moraju imati težinu. Ova težina će u našem slučaju biti udaljenost između dva vrha povezana bridom. Ove udaljenosti nam nisu poznate, već samo pozicije (koordinate plohe) vrhova. U nastavku stoga izračunavamo težine bridova, koristeći jednostavnu formulu za duljinu dužine. Nakon što smo odredili težine, primjenjujemo Primov algoritam i određujemo MST. Na Slici 3.9 je prikazan MST dobiven iz grafa sa Slike 3.8.



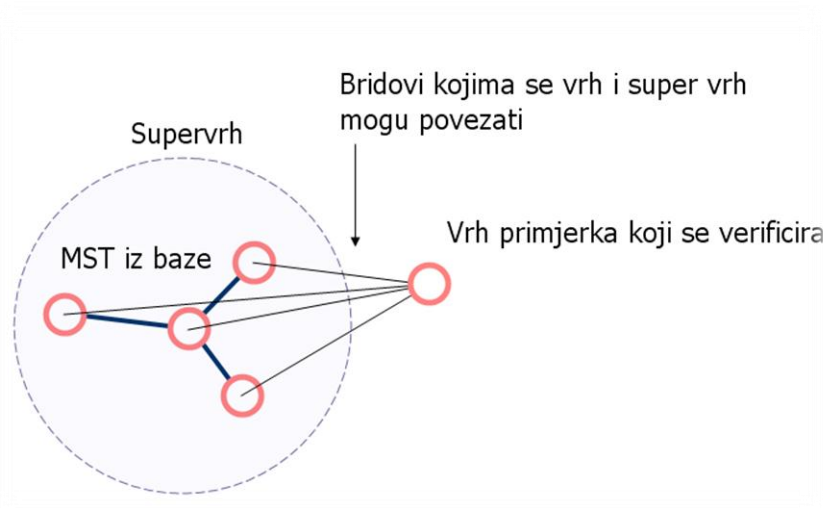
Slika 3.9. Minimalno razapinjuće stablo vrhova jedne karakteristične točke

Isti postupak radi se za svaku od 31 pozicije geometrije. Svaki od MST-a se sastoji od četiri vrha i 3 brida, jer je to podgraf potpunog grafa s četiri vrha, a MST mora biti povezan i ne smije sadržavati ni jedan ciklus. Dobiveni 31 MST se pohranjuje u bazu kao geometrija ruke neke osobe i predstavlja temelj za verifikaciju. Slika 3.10. prikazuje jednu takvu geometriju.



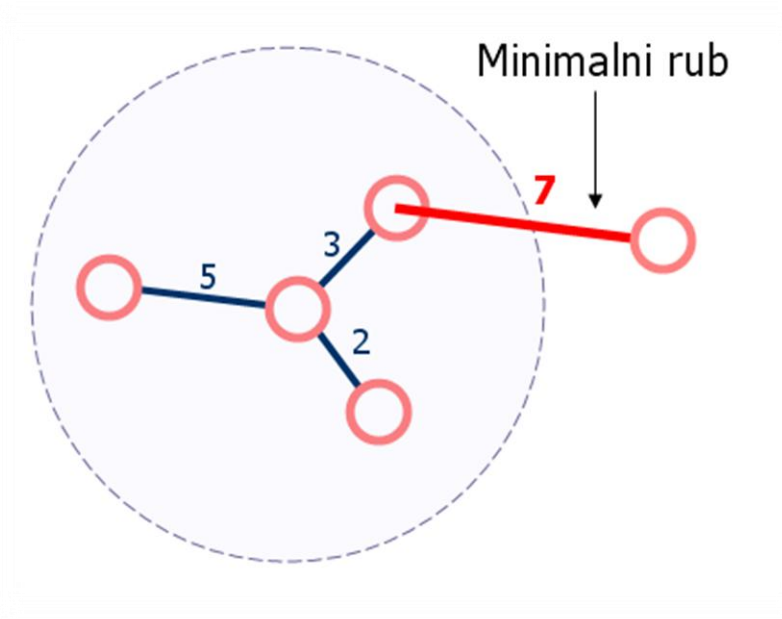
Slika 3.10. Ponavljanjem postupka sa Slike 3.9. na svaku karakterističnu točku dobivamo geometriju dlana

Verifikacija se izvršava tako da se uspoređuje MST svake pozicije u bazi pohranjene geometrije s lokacijom vrha odgovarajuće pozicije skeniranog primjerka ruke, osobe koja se verificira. Postupak je takav da se za svaku poziciju MST iz baze promatra kao jedan vrh, a vrh primjerka koji se verificira je drugi vrh grafa. Između ta dva vrha se traži novi MST, čiji podskup bridova sačinjava samo brid koji ova dva vrha povezuje. Kada se neki povezani graf promatra kao vrh, tada je zapravo riječ o supervrhu (engl. supervertex), a ako je se supervrh sastoji od više nego jednog vrha, to znači da postoji više mogućih bridova sa drugim vrhom. Cijeli postupak ilustriran je Slikom 3.11.



Slika 3.11. Postupak povezivanja novog vrha na supervrh iz baze

Slijedeći korak verifikacije je određivanje minimalnog ruba, tj. brida najmanje težine koji povezuje supervrh i vrh primjerka koji se verificira. Za svaku od lokacija postoje četiri takva potencijalna brida koja se trebaju usporediti i odabrati minimalni. Naravno prije toga je bilo potrebno izračunati same težine, što je jednostavan postupak pošto su nam poznate koordinate vrhova. Iznos zbroja težine svih bridova MST-a (u nastavku - težina MST-a) i težine minimalnog ruba koji povezuje vrh koji se verificira (u nastavku - minimalni rub), su dva numerička podatka na temelju kojih se utvrđuje je li verifikacija za neku poziciju potvrđna ili negativna. Jedan od mogućih načina je da se odredi uvjet, da težina minimalnog ruba mora biti manja od težine MST-a. U tom slučaju je faktor jednak 1. Stroži uvjet bio, da težina minimalnog ruba mora biti manja od pola težine MST-a, u kojem slučaju je faktor jednak 0,5. Na slici 8 prikazan je MST jedne pozicije geometrije, vrh koji se verificira te minimalni rub. U primjeru sa slike je težina MST (10) manja od težine minimalnog ruba (7) pa bi prema tome (ukoliko je faktor jednak 1), ovo bila prihvaćena pozicija geometrije. Bitno je imati na umu da se ovaj postupak radi za svaku poziciju geometrije zasebno, stoga se mogu podešavati uvjeti broja potvrđnih pozicija za utvrđivanje potvrđne verifikacije u cjelini.



Slika 3.12. Uspoređivanje novog vrha sa supervrhom iz baze

Također se mogu promatrati iznosi odstupanja, koji su također značajan podatak, koji se može iskoristiti za formiranje informacije o rezultatu verifikacije. Tako se mogu zbrojiti iznosi odstupanja na svim onim pozicijama na kojima je težina minimalnog ruba veća od težine MST-a (prema faktoru određenom u uvjetu). Zbroj svih ovih premašenih vrijednosti se može staviti u relativan odnos sa zbroj težina svih MST-a. Npr. postoji pet lokacija od 31 na kojima uvjet nije zadovoljen. Zbroj svih odstupanja na tih pet lokacija iznosi 10, a broj težina svih MST-a 500. U tom slučaju je ovako definiran pokazatelj u relativnom iznosu govori o odstupanju od 2%.

4. Rezultati predloženog sustava

Uz skromnu veličinu baze karakteristika izuzetih dlanova, sustav je testiran na malom broju korisnika. Testiranjem na ovako malom uzorku dobili smo vrlo dobre rezultate. Naime, najčešći pokazatelji kvalitete biometrijskog sustava jesu njegova brzina, stupanj pogrešnog prihvaćanja (FAR), stupanj pogrešnog odbijanja (FRR), a rjeđe i stupanj pogrešnog izuzimanja (FER). Dobiveni rezultati našeg testiranja prikazani su u Tablici 4.1.

Tablica 4.1. Rezultati testiranja novog sustava

Broj testova	FAR	FRR	FER
< 40	2,5 %	10 %	7,5 %
40 – 80	1,666 %	7,825 %	8,75 %
> 80	1,219 %	7,775 %	8,25 %

Prilikom testiranja sustava suprotstavljali smo trenutno uzete otiske dlana s otiscima iz baze pohranjenih predložaka. Izuzimanje same slike dlana trajalo je prosječno 6 sekundi, a kasnije predprocesiranje i normalizacija slike, pronalaženje karakterističnih točaka te usporedba s bazom podataka, prosječno 1,8 sekundi. Prema tome, postupak autentikacije troši približno 8 sekundi, od čega, ipak, najveći dio vremena otpada na samo skeniranje, a to je dio koji bi se lagano mogao poboljšati.

Po podešavanju parametara sustava i pragova propuštanja (1% odstupanja) započeli smo s mjerenjem performansi. Već na šesnaestom uzorku pojavilo se prvo pogrešno prihvaćanje, tj. korisnik je bio propušten u sustav, iako ne bi smio biti propušten. Daljnjim testiranjem to se više nije događalo te uz ukupno napravljenih preko 80 testova dolazimo do prosječnog pogrešnog prihvaćanja od 1,219 %.

Sljedeći pokazatelj je stupanj pogrešnog odbijanja. On nam pokazuje kolika je vjerojatnost da će dobar korisnik biti odbijen od strane sustava. Do završetka testiranja na malom uzorku ovaj pokazatelj je bio na razini od 7,775% što znači da, od 100 pokušaja autentikacije njih 8 bi trebalo biti ponovljeno, uglavnom zbog toga što je dlan prilikom skeniranja bio nepravilno postavljen na površinu uređaja. Vjerujemo da bi daljnjim testiranjem i upućivanjem korisnika u način korištenja sustava, ova stopa mogla biti puno manja.

Failure To Enroll Rate (FER) pokazuje nam koliko je od izuzetih slika bilo neupotrebljivo u sustavu, što zbog loše kvalitete što zbog pogrešnog postavljanja dlana na uređaj prilikom

izuzimanja. Zbog postojanja određenih problema prilikom postavljanja ruke na uređaj, dobili smo rezultate prikazane u Tablici 4.1.

Dobiveni rezultati zadovoljavaju kriterije malih i srednjih sustava u ovisnosti o broju korisnika u sustavu.

5. Budući rad

U svrhu poboljšavanja sustava potrebno je napraviti više testova na više osoba koje bi bile voljne testirati sustav. Trenutno stanje predstavlja dobru podlogu za daljnji razvoj, posebno u pogledu poboljšanja performansi što bi se moglo postići korištenjem drugog uređaja za izuzimanje slike dlana.

Ograničenje sustava je postavljanje dlana u određen položaj kako bi se mogla izvršiti normalizacija, a daljnjim radom bi se omogućilo proizvoljno postavljanje dlana na površinu uređaja ili čak izuzimanje nekontaktnim metodama. U planu je razviti algoritam za normalizaciju slike koji bi radio svoj posao neovisno o položaju dlana i prstiju na slici te njihovoj rotaciji. Vjerujemo da bi takav sustav omogućio korisnicima da se osjećaju ugodnije prilikom postupka autentikacije.

U planu je uvesti i dodatnu provjeru u sam postupak autentikacije, također temeljenu na minimalno razapinjućim stablima, ali koja bi uzimala u obzir, nazovimo ga, „globalno“ minimalno razapinjuće stablo cijele konture dlana. Ovime bi se smanjila mogućnost pogrešnog prihvaćanja, a što i jest cilj sustava za autentikaciju korisnika.

6. Zaključak

Za potrebe ovog rada razvili smo sustav za autentikaciju koji izrađuje minimalno razapinjuća stabla karakterističnih točaka izlučenih iz dvodimenzionalne slike dlana i koristi ih prilikom uspoređivanja s karakterističnim točkama iz baze predložaka koji smo prije napravili koristeći slike dlana 20 osoba.

Sustav je na malom uzorku pokazao vrlo dobre rezultate, a daljnjim testiranjem, ukoliko bi se taj trend nastavio, rezultati bi bili još bolji. U ovoj fazi uočavamo da bi bio primjenjiv kod malih organizacija koje bi htjele na ovaj način vršiti autentikaciju svojih zaposlenih. Moguća su daljnja unaprjeđenja sustava u pogledu performansi, ali i fleksibilnosti što se tiče izuzimanja slike dlana.

Ovo je jedan od rijetkih radova iz područja koje se bavi geometrijom dlana, a sigurno prvi koji za metodu verifikacije koristi minimalno razapinjuća stabla. Kako je većina radova iz ovog područja komercijalizirana i nalazi se u patentima vjerujemo da će ovaj rad dati veliki doprinos daljnjem razvoju biometrijskih metoda koje koriste geometriju dlana kao osnovnu biometrijsku tehniku.

Popis literature

- [1] Jiang, X., Xu, W. (2006). Contactless hand recognition. Dostupno 27.04.2009. na www.cs.cmu.edu/~epxing/Class/10701-06f/project-reports/jiang_xu.pdf
- [2] NISTC Subcommittee on Biometrics. (2006.). Hand geometry. Dostupno 22.03.2009. na www.biometrics.gov/Documents/HandGeometry.pdf
- [3] Jain, A. K., Ross, A., Pankanti, S. (1999.). A Prototype Hand Geometry-based Verification System. *2nd Int'l Conference on Audio- and Video-based Biometric Person Authentication (AVBPA), Washington D.C., str.166-171, 22.-24. ožujak*
- [4] Fotak, T. (2008). Razvoj biometrijskih tehnika. Završni rad na preddiplomskom studiju. Fakultet organizacije i informatike, Varaždin
- [5] Jain, A. K., Duta, N. (1999.). Deformable Matching of Hand Shapes For Verification. *Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing. Kobe, Japan, 25.-28. listopad*
- [6] Sanchez-Reillo, R., Sanchez-Avila, C., Gonzales-Marcos, A. (2000.). Biometric Identification through Hand Geometry Measurements. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 22, str. 1168 – 1171*
- [7] Wong, A. L. N., Shi, P., Peg-Free Hand Geometry Recognition Using Hierarchical Geometry and Shape Matching, dostupno 2.7.2008. na <http://www.csee.wvu.edu/~natalias/biom426/wong.pdf>
- [8] Chen, H. et al. Fake Hands: Spoofing Hand Geometry Systems. Dostupno 14.04.2009. na <http://www.biometrics.org/bc2005/Presentations/Conference/1%20Monday%20September%2019/Poster%20Session/fakehands2BC2005.pdf>
- [9] Jain, A.K., Ross, A., Prabhakar, S. (2004.). An introduction to biometric recognition. *Circuits and Systems for Video Technology*, IEEE Transactions on Volume 14, Issue 1. str. 4 – 20
- [10] Varchol, P., Levicky, D. (2007.). Using of Hand Geometry in Biometric Security Systems. *Radioengineering*, vol. 16, 4, 82-87, dostupno 15.6.2008. na http://www.urel.feec.vutbr.cz/RADIOENG/fulltexts/2007/07_04_082_087.pdf
- [11] Bulatov, Y, Jambawalikar, S., Kumar, P., Sethia, S. Hand recognition using geometric classifiers. Dostupno 14.7.2008. na <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.60.305>

- [12] Divjak, B., Lovrenčić, A. (2005.). Diskretna matematika s teorijom grafova.
TIVA Varaždin, Varaždin
- [13] Sedgewick, R., (2006.). Algorithms in C++ (Part 5 Graph Algorithms).
Addison-Wesley
- [14] Veljan, D., (2001.). Kombinatorna i diskretna matematika. Algoritam, Zagreb
- [15] Wu, B.Y., Chao, K., (2003.). Spanning trees and optimization problems.
Schapman Hall/Crc

Sažetak

Autori:

Mario Karlovčec, Tomislav Fotak

Naslov rada:

Autentikacija osobe primjenom minimalno razapinjućih stabala na dvodimenzionalnu sliku dlana

Tekst sažetka:

U radu predlažemo biometrijski sustav za autentikaciju osobe koji bi izuzimao dvodimenzionalnu sliku dlana koristeći CCD uređaj poput skenera ili digitalnog fotoaparata, a zatim, nizom postupaka digitalne obrade slike, normalizirao sliku i izlučio karakteristične točke dlana te proveo autentikaciju koristeći minimalno razapinjuća stabla izlučenih točaka.

Ključne riječi:

biometrija, autentikacija, minimalno razapinjuća stabla, geometrija dlana

Summary

Authors:

Mario Karlovčec, Tomislav Fotak

Title:

Personal authentication using minimum spanning trees on twodimensional hand image

Abstract:

A novel biometric authentication system is proposed that uses twodimensional hand image captured with CCD sensor, such as scanner or digital camera. Image is normalized using continuous steps in digital image processing, features are extracted and matched against database stored samples for verification using minimum spanning trees.

Keywords:

biometrics, authentication, minimum spanning trees, hand geometry