

Ocena kvalitete slike prstnega odtisa

Jernej Bule, Matic Tovšak, Peter Peer

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

E-pošta: {jernej.bule, matic.tovsak, peter.peer}@fri.uni-lj.si

Fingerprint Image Quality Assessment

This paper presents methods for quality measures of fingerprint images. Significant improvement of fingerprint image quality is detected when a fingerprint is first of all captured properly. Further, we present three different methods for fingerprint image quality assessment. The first method is based on pixel intensity, second on minutiae counting and third is a set of methods that are based on a combination of local and global features of fingerprint image (NFIQ algorithm). Presented methods are tested on databases from Fingerprint Verification Competition 2002. Results that we obtained are satisfactory, and point out possible ways to improve fingerprint image quality assessment in our system.

1 Uvod

Kvaliteta slike prstnega odtisa je zelo pomembna za učinkovitost sistema za verifikacijo na podlagi prstnih odtisov. Na idealni sliki prstnega odtisa je iskanje značilk veliko uspešnejše, v praksi pa se pogosto soočamo s prstnimi odtisi slabše kvalitete. Težave največkrat predstavljajo nečista površina čitalca prstnih odtisov, neenakomeren pritisk na površino čitalca, neustrezna površina prstnega odtisa na polju zajema, ureznine, praske in preveč vlažni ali suhi prsti. Omenjene nepravilnosti v nadaljnjem procesiranju vodijo do nepravilne določitve oziroma izpusta pravih značilk, kar zelo poslabša učinkovitost sistema. Te nepravilnosti poskušamo delno popraviti v procesu izboljšave kvalitete slike, vendar to ne zadostuje. Potrebno je uvesti tehnike, ki sistemu zagotovijo prstne odtise dobre kvalitete. To omogočimo s pomočjo algoritmov za oceno kvalitete slike.

Ideja, ki je skupna vsem algoritmom, temelji na dejstvu, da prstne odtise slabe kvalitete že ob zajemu označimo kot nesprejemljive. Prvi korak pri zagotavljanju kvalitete je seveda že sama skrb za kvaliteten zajem odtisa.

2 Navodila za zajem prstnega odtisa

Kot smo že omenili, pride do največjega števila napak pri prstnih odtisih, ki so vlažni, premočno pritisnjeni na čitalec ali poškodovani. V večini omenjenih primerov je glavni problem premajhen razmik med grebeni. Posledica tega je nastanek novih grebenov oziroma združitve dveh grebenov v procesu izboljšave slike, kar vpliva na kasnejše odkritje nepravilnih značilk, to pa na sam rezultat primerjanja. Pri zajemu odtisa je potrebno

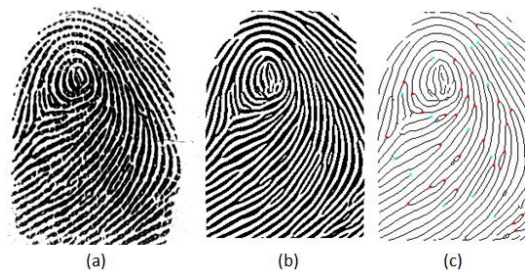
biti pozoren tudi na to, da ob zajemu blazinico prsta postavimo rahlo čez polje zajema odtisa, saj se s tem izognemo izgubi singularnih točk [2], ki se običajno nahajajo na spodnjem delu prstnega odtisa. Slika 1 prikazuje pravi položaj prsta, zajetega s čitalcem SecuGen Hamster Plus. Na sliki 1(a) je s pravokotnikom označeno polje zajema prstnega odtisa. Prstni odtis se mora nahajati med levim in desnim robom polja, zgornji del blazinice prsta pa naj sega rahlo čez zgornji rob polja zajema odtisa (slika 1(b)).



Slika 1 - Postopek pravega zajema prstnega odtisa: (a) prst položen na sredino polja zajema, ki ga označuje pravokotnik, (b) prst mora biti položen rahlo čez polje zajema.

2.1 Prstni odtisi dobre kvalitete

Prstni odtisi dobre kvalitete so tisti, ki so zajeti z dovolj rahlim pritiskom na čitalec, so suhi, čisti in zajeti kot prikazuje slika 1, seveda na čistem čitalcu. Na takšnem prstnem odtisu so grebeni in doline jasno ločeni.



Slika 2 - Prstni odtis dobre kvalitete: (a) slika prstnega odtisa, (b) izboljšava kvalitete in binarizacija, (c) tanjšanje in iskanje značilk.

Slika 2(a) prikazuje kvalitetno zajet prstni odtis. Razdalje med grebeni pri tako zajetem odtisu so dovolj velike, da lahko algoritem uspešno izvede izboljšavo kvalitete odtisa, ob tem pa ne pride do nastajanja fiktivnih grebenov (slika 2(b)). Tako so najdene le pravilne značilke (slika 2(c)).

2.2 Prstni odtisi slabe kvalitete



Slika 3 - Prstni odtis slabe kvalitete: (a) slika prstnega odtisa, (b) izboljšava kvalitete in binarizacija z izpostavljenimi problemi, (c) tanjšanje in iskanje značilk.

Slika 3(a) prikazuje nepravilno zajet prstni odtis (premočan pritisk na čitalec). Pri takšnem zajemu odtisa se v postopku izboljšave kvalitete prstnega odtisa pojavijo fiktivni grebeni (označeno z elipsami na sliki 3(b)), kar nadalje povzroči odkritje velikega števila nepravilnih značilk (slika 3(c)). Na takšni sliki torej najdemo veliko število nepravilnih značilk, pravilne pa izpustimo. Zato je potrebno takšne prstne odtise ob registraciji in verifikaciji zavrniti.

3 Pristopi za oceno kvalitete slike prstnega odtisa

Pristope za oceno kvalitete slike lahko razvrstimo v dva razreda [1]: 1) tiste, ki za izračun ocene uporabljajo lokalne značilnosti; 2) tiste, ki za izračun ocene uporabljajo globalne značilnosti.

Metode za izračun ocene kvalitete slike prstnega odtisa na podlagi lokalnih značilk sliko običajno razdelijo na posamezne bloke in izračunajo značilnosti posameznega bloka. Bloki so nato razdeljeni v skupine različne kvalitete. Na koncu se s pomočjo razmerja »dobrih« in »slabih« blokov izračuna splošna ocena kvalitete slike. Metode, ki sliko ocenijo na podlagi lokalnih značilnosti lahko razdelimo v več razredov: 1) lokalna usmeritev grebenov [5]; 2) Gaborjevi filtri [7]; 3) intenziteta slikovnih točk [3]; 4) močnostni spekter [6]; 5) kombinacija lokalnih značilnosti [8].

Metode, ki podajo oceno o kvaliteti slike na podlagi globalnih značilnosti, sliko prstnega odtisa celostno analizirajo in izračunajo globalno merilo kakovosti na podlagi izračunanih značilk. Metode, ki temeljijo na iskanju globalnih značilnosti so: 1) kontinuiteta smeri polja [5]; 2) enotnost frekvenčnega polja [5]; 3) štetje značilk [4]; 4) kombinacija globalnih značilnosti [8].

V nadaljevanju bomo predstavili in podrobneje opisali tri metode za oceno kvalitete slike. Le-te smo integrirali v naš sistem [4] za verifikacijo osebe na podlagi prstnih odtisov.

3.1 Pristop na osnovi intenzitete slikovnih točk

Metoda, ki smo jo implementirali, je bila predstavljena v [3] in modificirana v [4]. Delno jo lahko uvrstimo v razred metod, ki temeljijo na oceni kvalitete slike s pomočjo intenzitete slikovnih točk. Delno zato, ker ozadje ni vedno konstantno in svetlejšo od površine prstnega odtisa, zato sama intenziteta slikovnih točk ni

dovolj dobra informacija. Potrebno je uvesti bolj kompleksen pristop. Metoda se uporablja tudi za segmentacijo prstnega odtisa [4], dodane pa so funkcionalnosti, ki omogočajo oceno kvalitete slike prstnega odtisa. Implementacija temelji na dveh korakih: 1) odštevanje vrednosti, ki predstavlja ozadje, 2) določitev blokov, ki predstavljajo ospredje oziroma ozadje prstnega odtisa.

S prvim korakom na sliki prstnega odtisa odstranimo šum, ki nastane zaradi nečiste površine čitalca. V ta namen najprej poiščemo vrednost, ki predstavlja ozadje s pomočjo histograma negativna slike. Na histogramu poiščemo indeks (potujemo od indeksa 0 do 255), katerega vrednost (število vseh slikovnih elementov slike z isto barvno vrednostjo) je prvič večja od odločitvenega praga (1000 v našem primeru). Dobljeni indeks odštejemo (enačba 3.1) od vsakega slikovnega elementa (i, j) na sliki I .

$$neg_{\bar{I}(i,j)} = neg_{I(i,j)} - indeks_{min} \quad (3.1)$$

V drugem koraku želimo na sliki prstnega odtisa posameznim blokom določiti pripadnost ozadju oziroma ospredju. V tem koraku sliko razdelimo na bloke velikosti $W \times W$ (v našem primeru $W=9$) in za posamezni blok s središčem v (i, j) izračunamo srednjo vrednost, varianco, gradient in območje interesa. Vrednosti variance, srednje vrednosti in gradienta primerjamo z empirično nastavljenimi pragi ter določimo ali blok pripada ozadju. Če po teh korakih še vedno ne moremo določiti ali blok pripada ozadju, izračunamo območje interesa ROI (enačba 3.2), ki nam glede na prag poda stopnjo gotovosti o tem, ali slikovni element pripada ozadju ali ne:

$$ROI(i, j) = \sqrt{\frac{1}{W^2} \cdot \frac{(V_x(i, j))^2 + V_y(i, j)^2}{V_e(i, j)^2}} \quad (3.2)$$

kjer velja:

$$V_x(i, j) = \sum_{u=i-\frac{W}{2}}^{i+\frac{W}{2}} \sum_{v=j-\frac{W}{2}}^{j+\frac{W}{2}} 2 \cdot \partial_x(u, v) \cdot \partial_y(u, v), \quad (3.3)$$

$$V_y(i, j) = \sum_{u=i-\frac{W}{2}}^{i+\frac{W}{2}} \sum_{v=j-\frac{W}{2}}^{j+\frac{W}{2}} (\partial_x^2(u, v) - \partial_y^2(u, v)), \quad (3.4)$$

$$V_e(i, j) = \sum_{u=i-\frac{W}{2}}^{i+\frac{W}{2}} \sum_{v=j-\frac{W}{2}}^{j+\frac{W}{2}} (\partial_x^2(u, v) + \partial_y^2(u, v)) \quad (3.5)$$

∂_x in ∂_y sta jakosti gradienta v x in y smeri. Parametra izračunamo s pomočjo Sobelovega operatorja.

Ker pri določanju pripadnosti bloka ozadju pride tudi do napak, je potrebno napačno označene bloke v naknadni obdelavi prepoznati in ustrezno popraviti. Napačno označeni bloki so relativno lahko prepoznavni, saj se običajno nahajajo v okolici, kjer prevladuje le ena označba. S pomočjo hevrističnih pravil lahko odstranimo bloke, ki so napačno označeni za ospredje in bloke, ki so napačno označeni za ozadje.

Rezultat opisane metode je polje vrednosti 0 in 1, kjer 0 predstavlja element ozadja slike, 1 pa ospredje. Bloke, ki so označeni za ozadje seštejemo in če je število teh blokov večje od nastavljenega praga (več kot

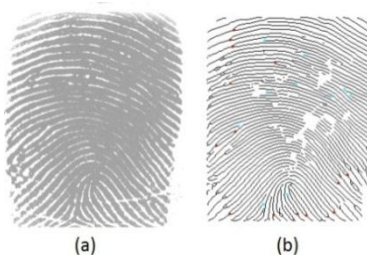
50% blokov slike označeno kot ozadje), označimo prstni odtis kot slab in ga zavrnemo. Primer prstnega odtisa slabe kvalitete prikazuje slika 4(b), kjer je odtis slabo zajet (premajhna površina prsta na čitalcu). Pri tako zajetem prstnem odtisu izpustimo veliko številko značilnik in tudi singularne točke. Zato takšnega prstnega odtisa ne registriramo in ga zavrnemo.



Slika 4 - (a) prstni odtis dobre kvalitete, (b) prstni odtis slabe kvalitete, ki ga metoda na osnovi intenzitete slikovnih točk zavrne.

3.2 Pristop na osnovi štetja značilnik

V sistemu [4] imamo implementiran algoritem za iskanje značilnik, ki ga uporabljamo tudi za izločanje slik prstnega odtisa slabe kvalitete. Slika prstnega odtisa slabe kvalitete običajno vsebuje zelo malo ali zelo veliko število značilnik. V našem sistemu s pomočjo enostavnega algoritma izločimo tiste prstne odtise, katerih število značilnik se nahaja izven standardnih mej. Standardne meje za čitalec Secugen Hamster Plus smo določili empirično na podlagi 320 testiranih vzorcev. Prstne odtise, ki vsebujejo manj kot 25 ali več kot 70 značilnik izločimo iz obravnave. Če ima prstni odtis več kot 70 značilnik je to običajno posledica močnega pritiska na čitalec ter nepravilnosti (tvorba fiktivnih grebenov in s tem velikega števila nepravilnih značilnik) pri postopku izboljšave kvalitete prstnega odtisa (slika 3(c)). Problemi s premajhnim številom značilnik pa se običajno pojavijo pri vlažnih prstnih odtisih. V tem primeru se grebeni nahajajo preveč skupaj oziroma se na nekaterih delih že stikajo (slika 5(a)), kar posledično vodi do odkritja manjšega števila značilnik (slika 5(b)).

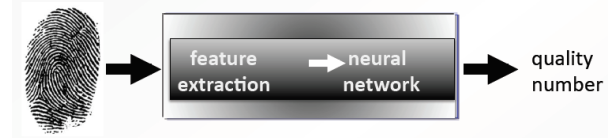


Slika 5 - Prstni odtis slabe kvalitete, ki ga metoda na osnovi štetja značilnik zavrne: (a) vlažen prstni odtis, (b) premalo najdenih značilnik na vlažnem prstnem odtisu.

3.3 Algoritem NFIQ

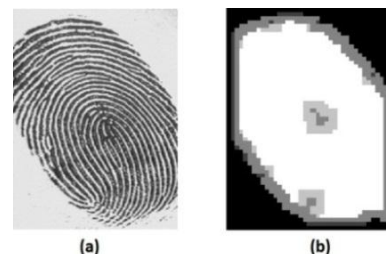
Algoritem NFIQ (NIST Fingerprint Image Quality) je bil v sodelovanju z NIST (National Institute of Standards and Technology) razvit za FBI (Federal Bureau of Investigation) in DHS (Department of Homeland Security) [9]. Tabassi et. al. [7] oceno kvalitete slike predstavlja kot napoved učinkovitosti

primerjanja. NFIQ je algoritem strojnega učenja, izračun kvalitete slike pa temelji na kombinaciji lokalnih in globalnih značilnosti slike prstnega odtisa.



Slika 6 – Koraki algoritma NFIQ.

Vhod v algoritem NFIQ je slika prstnega odtisa, nato pa sledi iskanje značilnik (angl. feature extraction). V tem delu se izračunajo značilke prstnega odtisa, ki rezultirajo v 11-dimenzionalnem vektorju [8]. Za iskanje značilnik algoritem NFIQ uporablja NIST Minutiae Detector (MINDTCT) [10]. Za vsako posamezno značilko prstnega odtisa je izračunana ocena kvalitete. Kvaliteta značilnik se ocenjuje s pomočjo različnih lastnosti slike prstnega odtisa (območje visoke ukrivljenosti grebenov, dominantna orientacija bloka itd.). Algoritem nato ovrednoti posamezne bloke prstnega odtisa s pomočjo ocene značilnik. Ocena kvalitete bloka se podaja v petih vrednostih kvalitete (4 pomeni blok zelo dobre kvalitete, 0 pomeni blok, ki pripada ozadju). Izračunan vektor značilnik se nato uporabi kot vhod v nevronske mreže (angl. neural network). Nevronska mreža klasificira vektorje v pet razredov različne kvalitete, pri čemer ocena kvalitete (angl. quality number) 1 pomeni najboljšo kvaliteto, 5 pa najslabšo (slika 6). Algoritem za izračun kvalitete slike porabi približno 1/3 sekunde, kar pomeni, da je tudi ta primeren za uporabo v aplikacijah, ki tečejo v realnem času.

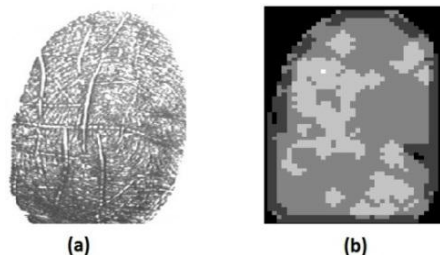


Slika 7 - (a) prstni odtis dobre kvalitete, (b) slika prstnega odtisa dobre kvalitete po oceni posameznih blokov s pomočjo algoritma NFIQ.

Slika 7(a) prikazuje sliko prstnega odtisa dobre kvalitete. Ocena kvalitete slike 7 z algoritmom NFIQ je 1, kar torej pomeni odlično kvaliteto. Slika 7(b) je prikazana s pomočjo ocen kvalitete posameznega bloka prstnega odtisa. Bloki ozadja (ocena 0) so označeni s črno barvo, medtem ko so bloki z dobro kvaliteto označeni z belo barvo (ocena 4). Na sliki 7(b) je videti, da je večina prstnega odtisa belega, kar pomeni kvaliteten prstni odtis. Na sliki 8 si lahko ogledamo prstni odtis slabe kvalitete ter njegovo oceno z algoritmom NFIQ. Tu je večino prstnega odtisa sive barve, kar pomeni, da je kvaliteta slike res slaba. Ocena odtisa na sliki 8 je 4, kar pomeni slabo kvaliteto.

Ker želimo v našem sistemu imeti samo visokokvalitetne prstne odtise, smo omogočili registracijo prstnih odtisov le odlične (ocena 1) in zelo

dobre kvalitete (ocena 2). Prstne odtise srednje, slabe in zelo slabe kvalitete tako že na začetku zavrnemo.

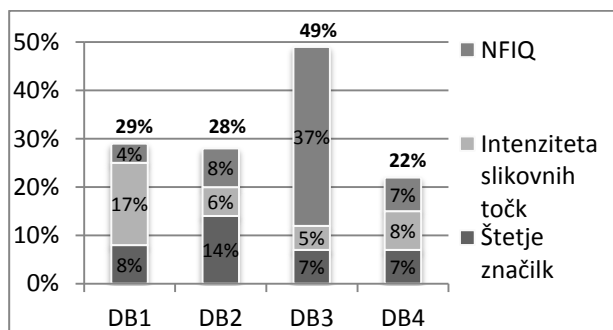


Slika 8 - (a) prstni odtis slabe kvalitete, (b) slika prstnega odtisa slabe kvalitete po oceni posameznih blokov s pomočjo algoritma NFIQ.

4 Rezultati

Algoritme za oceno kvalitete slike smo testirali na bazah prstnih odtisov iz tekmovanja FVC2002 [9]. Testirali smo 4 različne baze. Bazi DB1 in DB2 sta vsebovali prstne odtise zajete z optičnim čitalcem, DB3 je vsebovala odtise zajete s kapacitivnim čitalcem, baza DB4 pa je vsebovala sintetično generirane prstne odtise. Vsaka podatkovna baza je vsebovala 800 prstnih odtisov, skupaj torej 3.200. Za vsako bazo smo (subjektivno) ocenili dejansko število slabih prstnih odtisov. Ocenili smo, da je odstotek slabih prstnih odtisov v DB1 31%, v DB2 34%, v DB3 55% ter v DB4 21%.

Algoritmi so prepoznali večino slik slabše kvalitete, zato so prikazani rezultati (slika 9) primerljivi z oceno dejanskega odstotka (angl. groundtruth information) slabih slik v posamezni podatkovni bazi. Pričakovano je bila najslabša kvaliteta slik v podatkovni zbirki DB3, saj je kvaliteta prstnih odtisov tu že na prvi pogled ocenjevalca zelo slaba. Najbolj kvalitetne prstne odtise je vsebovala baza DB4, ki vsebuje sintetično generirane odtise. Algoritmi so se slabše odrezali pri slikah, ki so rahlo meglene (prehiter odmik prsta s čitalca ob zajemu) in pri slikah, kjer so popačeni le posamezni deli prstnega odtisa.



Slika 9 – Odstotek slik prstnih odtisov slabše kvalitete v posamezni podatkovni bazi ob uporabi algoritmov za oceno kvalitete slike.

Testiranje smo izvedli v naslednjem zaporedju algoritmov: 1) NFIQ; 2) število značilk; 3) intenziteta slikovnih točk. Če je metoda NFIQ prstni odtis označila

kot slab, ga s preostalima metodama nismo več preverjali. Če pa je bil prstni odtis označen kot sprejemljiv, smo ga preverili še z metodo na osnovi štetja značilk in (v primeru, da je bil prstni odtis s slednjo prav tako označen kot slab) še z metodo na osnovi intenzitete slikovnih točk.

5 Zaključek

S pomočjo predstavljenih metod za oceno kvalitete slike smo v testiranih bazah uspešno identificirali veliko večino prstnih odtisov slabše kvalitete. Slabše so se metode obnesle na slikah prstnih odtisov, ki so meglene in na slikah, kjer so popačeni le posamezni deli slike. V okviru nadaljnjega dela na tem področju bi želeli takšne slike s pomočjo ustreznih algoritmov samodejno prepoznati in jih izločiti. Ena izmed rešitev je implementacija algoritma, kjer bi s pomočjo skladnosti lokalnih orientacij prstnega odtisa odkrivali takšne šumne regije. Če bi število lokalnih orientacij, ki niso v skladu z okolico presevalo določen prag, bi tak prstni odtis označili kot slab.

Zahvala

Delo na projektu kompetenčnega centra je sofinancirano s strani MVZT in Evropskega sklada za regionalni razvoj ter podjetij Mega M d.o.o. in MIEL d.o.o.

Literatura

- [1] F. Alonso-Fernandez et al., "A Comparative Study of Fingerprint Image-Quality Estimation Methods", *IEEE Trans. Information Forensics and Security*, letnik 2(4), str. 734-743, 2007.
- [2] L. Fan, S. Wang, H. Wang, T. Guo, "Singular points detection based on zero-pole model in fingerprint images", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 30, str. 929-940, 2008
- [3] M.M. Hadhoud, W.S. El Kilani, M.I. Samaan, "An adaptive algorithm for fingerprints image enhancement using Gabor filters", *Int. Conf. on Computer Engineering & Systems*, Cairo, Egypt, str. 227-236, 2007.
- [4] U. Klopčič, P. Peer, "Fingerprint-based verification system: a research prototype", *Int. Conf. Systems, Signals & Image Process.*, str. 150-153, 2010
- [5] E. Lim, X. Jiang, W. Yau, "Fingerprint quality and validity analysis", *Int. Conf. Image Process.*, str. 469-472, 2002.
- [6] E. Lim, K. Toh, P. Suganthan, X. Jiang, W. Yau, "Fingerprint image quality analysis", *Int. Conf. Image Process.*, str. 1241-1244, 2004.
- [7] L. Shen, A. Kot, W. Koo, "Quality measures of fingerprint images", *Audio Video Based Person Authentication*, str. 266-271, 2001.
- [8] E. Tabassi, C.L. Wilson, C.I. Watson., "Fingerprint Image Quality", *National Institute of Standards and Technology*, poročilo NISTIR 7151, 2004, dosegljivo na: http://www.nist.gov/itl/iad/ig/bio_quality_bioblio.cfm (zadnji obisk: 27. 6. 2011).
- [9] Fingerprint Verification Competition, dosegljivo na: <http://bias.csr.unibo.it/fvc2002/> (zadnji obisk: 27. 6. 2011).
- [10] NIST Biometric Image Software, dosegljivo na: <http://www.nist.gov/itl/iad/ig/nbis.cfm> (zadnji obisk: 27. 6. 2011).