

UJEMANJE PRSTNIH ODTISOV

Jernej Bule, Peter Peer

Laboratorij za računalniški vid, Fakulteta za računalništvo in informatiko,
Univerza v Ljubljani, Tržaška cesta 25, 1000 Ljubljana
E-pošta: {jernej.bule, , peter.peer}@fri.uni-lj.si

POVZETEK: *Ujemanje prstnih odtisov je zadnji korak v sistemu za verifikacijo na podlagi prstnih odtisov, ki da odgovor na to, ali se vhodni prstni odtis ujema s katerim od prstnih odtisov, shranjenih v podatkovni zbirki. Kvaliteta modula za ujemanje močno vpliva na končni rezultat. Dandanes poznamo več načinov primerjanja prstnih odtisov, največkrat pa se uporablja primerjanje na podlagi značilk. V članku predstavljamo do sedaj uporabljano metodo ujemanja v našem sistemu ter metodo, s katero smo dosegli bistveno izboljšanje delovanja.*

1. UVOD

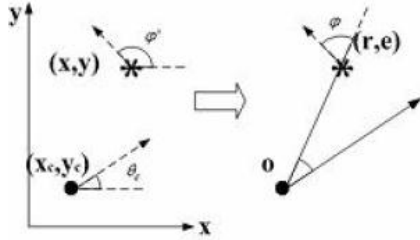
Metode ujemanja prstnih odtisov, ki temeljijo na podlagi primerjanja značilk so uporabljene v velikem številu komercialnih sistemov za razpoznavo na podlagi prstnega odtisa. Te metode temeljijo na modelu primerjanja točkovnih vzorcev. Uspešnost metod je v veliki meri odvisna od zanesljivosti najdenih značilk in singularnih točk [6]. Za zagotovitev višje stopnje zanesljivosti je potrebno uvesti metode, ki zmanjšajo stopnjo napake in s pomočjo dodatnih informacij najdenih v okolici značilk poskušati izboljšati delovanje celotnega sistema. Dodatne oziroma vsebinske informacije, ki jih najdemo s pomočjo toka grebenov in orientacije v okolici najdene značilke lahko pomagajo eliminirati lažne značilke, hkrati pa pomagajo nadomestiti neodkrite prave značilke [1].

2. METODI PRIMERJANJA PRSTNIH ODTISOV

2.1. Metoda ujemanja značilk na podlagi lokalnih značilnosti

Pri primerjanju na podlagi značilk se prstna odtisa ujemata takrat, kadar obstaja potrebno število značilk, ki se ujemajo v tipu, lokaciji in usmerjenosti [4].

Značilke so v dvodimenzionalnem polarnem prostoru podane s trojko $((r, e), \varphi)$ (slika 1). r predstavlja razdaljo med središčem koordinatnega sistema ter značilko (enačba (1)), e kot med smerjo središča koordinatnega sistema in vektorjem r (enačba (2)). φ pa poda kot med vektorjem r in smerjo značilke (enačba (3)).



Slika 1 - Pretvorba značilke v polarni sistem.

$$r = \sqrt{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2}, \quad (1)$$

$$e = \arctan\left(2\left(\frac{y - y_c}{x - x_c}\right)\right) - \theta_c, \quad (2)$$

$$\varphi = \varphi' - e - \theta_c. \quad (3)$$

Vse značilke v polarnih koordinatah lahko predstavimo z vektorjem značilke (angl. feature vector) \mathbf{P}_i , kjer i označuje trenutno izbrani prstni odtis (enačba (4)). V \mathbf{P}_i je vsaka značilka podana s četverčkom (r, e, s, φ) . Poleg že opisanih značilnosti tu dodamo še parameter s , ki določa tip značilke (razcep ali zaključek).

$$\mathbf{P}_i = \{(r_{i0}, e_{i0}, s_{i0}, \varphi_{i0})^T, \dots, (r_{i(n-1)}, e_{i(n-1)}, s_{i(n-1)}, \varphi_{i(n-1)})^T\}, \quad (4)$$

Da bi izbrane parametre lahko izračunali, moramo poznati še lokacijo referenčne točke ter njeno usmerjenost. Če smo v koraku klasifikacije uspešno pridobili singularne točke, potem lahko določimo lokacijo na naslednji način:

1. Če je število jeder enako 1, potem vzamemo to jedro kot referenčno točko. To velja za prstne odtise tipa šotorast lok in oba tipa zank, prav tako pa smo v koraku klasifikacije določili jedro tudi za prstne odtise tipa lok.
2. Če je število jeder enako 2, potem se referenčna točka nahaja na polovici daljice med jedroma. To velja za prstne odtise tipa spirala.

2.1.1. Določitev usmerjenosti referenčne točke

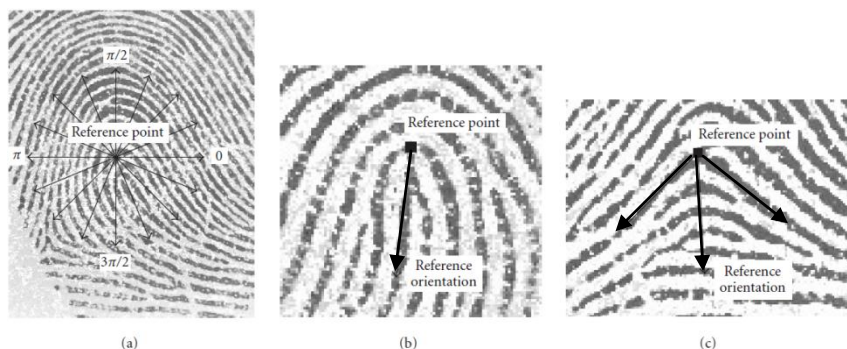
V primeru, da je število jeder enako 2, je usmerjenost enaka usmerjenosti premice skozi obe jedri. Sicer pa je potrebno izbrati postopek, ki ga opisujemo v nadaljevanju.

Za izračun usmerjenosti referenčne točke smo izbrali postopek opisan v [5], ki definira 16 smeri izvirajočih iz referenčne točke (slika 2a). Korak med smermi je enak $\frac{\pi}{8}$. Po analizi lokalnih orientacij okoli vsake izmed 16 smeri izberemo za usmeritev referenčne točke tisto, ki se najbolj prilagaja lokalnim usmeritvam (slika 2b). Pri prstnih odtisih tipa lok, kjer referenčna točka ni pravo jedro, obstajata kot kandidatki dve različni smeri (slika 2c). Za rešitev se uporabi povprečna vrednost obeh smeri.

Za konsistenten in zanesljiv izračun usmerjenosti referenčne točke uporabimo enačbo (5), s pomočjo katere za vsako izmed 16 smeri izračunamo prilagajanje lokalnim usmeritvam:

$$var(k) = \frac{1}{M} \sum_{(i,j) \in \Omega_k} |\sin(\theta(i,j) - \theta_k)|, \theta_k = \frac{k\pi}{8}, k = 0, 1, \dots, 15, \quad (5)$$

kjer je Ω_k množica lokalnih usmeritev (označene z $\theta(i,j)$) vzdolž premice s smerjo θ_k , M pa število lokalnih usmeritev.



Slika 2 - Usmerjenost referenčne točke: (a) 16 smeri iz referenčne točke, (b) usmerjenost jedra, (c) usmerjenost za prstne odtise tipa lok [5].

2.1.2. Izvedba ujemanja

Ko za vhodni prstni odtis izračunamo vektor značilk \mathbf{P}_i , ga lahko primerjamo z vektorjem \mathbf{W}_j , ki se nahaja v podatkovni zbirki. Izračun ujemanja poteka na naslednji način:

1. Za vsako značilko v vhodnem vektorju značilk \mathbf{P}_i preverimo ujemanje z vsako od značilk v vektorju \mathbf{W}_j . Preverjanje se izvaja nad naslednjimi lastnostmi:
 - tip
 - razdalja od referenčne točke
 - kot
 - smer značilke.
2. Če je število enakih značilk večje od določene meje, potem smo našli enak prstni odtis in končamo proces.

Primerjanje po tipu značilke je enostavno, pri ostalih primerjanjih pa je potrebno upoštevati toleranco. Toleranca seveda ne sme biti prevelika, saj to poveča možnost ujemanja neenakih prstnih odtisov. Stopnjo ujemanja vhodnega prstnega odtisa A in odtisa B , ki je shranjen v bazi, izračunamo po enačbi (6):

$$sim(A, B) = \frac{M_N}{\sqrt{N_0 M_0}}, \quad (6)$$

N_0 in M_0 označujeta število značilk v prvem in drugem prstnem odtisu, M_N pa število uspešnih ujemanj značilk.

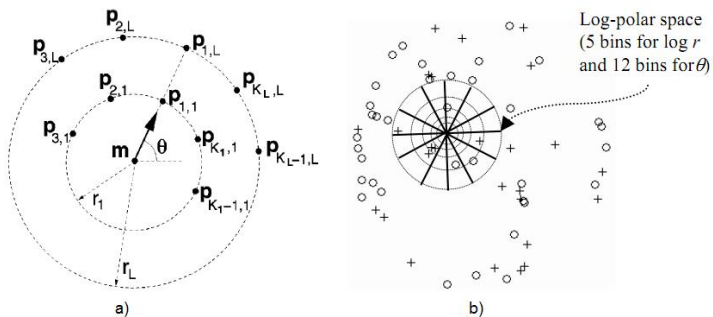
Algoritem ujemanja za primerjavo porabi manj kot 2 sekundi, kar pomeni, da je primeren za uporabo v realnih biometričnih sistemih.

2.2. Hibridna metoda ujemanja značilk na podlagi orientacijskega in oblikovnega deskriptorja

Večina algoritmov iskanja ujemanja se v procesu iskanja referenčne točke in optimalne poravnave zanaša na pravilno najdene singularne točke. Ker so prstni odtisi včasih slabše kvalitete ter singularne točke zato težko določljive, je pri takšnih prstnih odtisih učinkovitost iskanja ujemanja slaba. Prav metoda, ki jo predstavljamo v nadaljevanju te probleme zelo uspešno rešuje.

V zadnjem času, se za algoritme ujemanja uporabljajo hibridni pristopi. Hibridni pristopi v bistvu združujejo več različnih metod ujemanja v eno skupno.

Predstavljena hibridna metoda ujemanja na podlagi orientacijskega in oblikovnega deskriptorja [1] za izračun ujemanja dveh prstnih odtisov uporablja modificirani verziji algoritmov predstavljenih v [2] in [3].

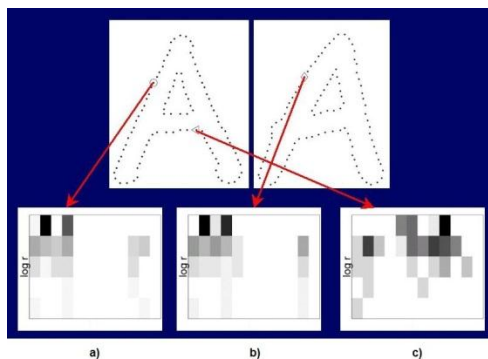


Slika 3 – a) Orientacijski deskriptor uporabljen za izračun ocene verjetnosti ujemanja [2], b) Oblikovni deskriptor, uporabljen za izračun oblikovnega histograma značilke. Razcepi so označeni z znakom '+', zaključki pa z 'o' [3].

Metoda ujemanje dveh prstnih odtisov izračuna po naslednjem postopku:

1. izračun histogramov s pomočjo oblikovnega deskriptorja

- Na začetku imamo množico n in m značilk vzorčnega in vhodnega prstnega odtisa P in Q . Za vsako značilko p_i iz množice P , moramo poiskati najbolj primerno značilko q_j iz množice Q . V ta namen se za vsako značilko odtisov P in Q izdelava oblikovni deskriptor (slika 3b), s pomočjo katerega dobimo histograme (slika 4) za obravnavane značilke.



Slika 4 – a) in b) Histograma točk s podobno okolico, c) histogram točk z različno okolico.

2. izračun orientacijskega deskriptorja

- S pomočjo orientacijskega deskriptorja (slika 3a) značilke m , dodatno opišemo okolico značilke na podlagi vzorčnih točk v okolici.

3. izračun ocene podobnosti

- Za vsak par značilk vhodnega in shranjenega prstnega odtisa se s pomočjo dobljenih histogramov oblikovnega deskriptorja in orientacijskega deskriptorja izračuna ocena podobnosti. Pri izračunu ocene se poleg obeh deskriptorjev značilk upoštevata tudi tip značilke in razlika v orientaciji.

4. iskanje korespondenčnih parov značilk in poravnava

- Na podlagi para značilk, ki ima največjo verjetnostjo ujemanja, se izračunajo parametri, ki jih uporabimo za izračun afine transformacije [7]. Z afino transformacijo želimo doseči ustrezno poravnavo, da imajo korespondenčne regije vzorčnega in vhodnega prstnega odtisa med sabo minimalno geometrijsko razdaljo. S transformacijo poskušamo doseči, da se vzorec in vhodni odtis prekrivata.
- Če na vzorčnem in vhodnem prstnem odtisu obstaja singularna točka, potem imamo dober razlog, da afino transformacijo ignoriramo in zaradi zanesljivosti lokacije singularne točke kot točke za določitev ustrezne poravnave, uporabimo slednjo.
- Iskanje korespondenčnih parov značilk (ena-ena povezav) je izvedeno z izboljšano metodo požrešnega algoritma (angl. novel greedy algorithm), kjer naredimo iteracijo ujemanja ene okolice z drugo in za to ujemanje podamo oceno.

5. izračun ocene ujemanja

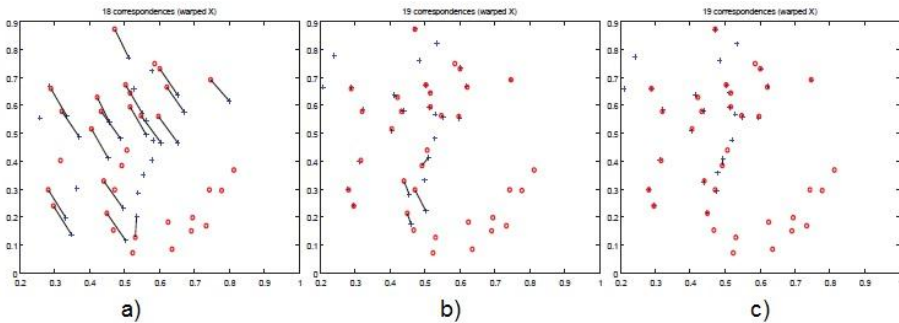
- Po določenem številu iteracij (v našem primeru 5) dobimo končne pare korespondenčnih značilk (slika 5). Nato se lahko izračuna metrika podobnosti med vzorčnim in vhodnim prstnim odtisom z enačbama (7) in (8):

$$sim(A, B) = \frac{n_M \sum_{(i,j)} sim_{\delta}(m_{A_i}, m_{B_j}) * (\sqrt{S_{max}})}{n_A * n_B} - \nu D_{sc}^{**}, \quad (7)$$

kjer je

$$S_{max} = argmax_{(i,j)} S^* \left(m_{A_i}, m_{B_j}, I(A_i, B_j) \right). \quad (8)$$

$S^*(m_{A_i}, m_{B_j}, I(A_i, B_j))$ predstavlja oceno podobnosti izračunano z orientacijskim deskriptorjem, D_{sc}^{**} je ocena podobnosti izračunana z oblikovnim deskriptorjem. n_M je število ujemajočih parov značilnk, n_A in n_B sta števili značilnk prstnih odtisov A in B , i in j sta indeksa elementov filtriranih parov značilnk prstnih odtisov A in B , $sim_{\delta}(m_{A_i}, m_{B_j})$ je izračun podobnosti prve okolice z drugo in ν je nastavljen parameter v mejah $[0,1]$.



Slika 5 - Predlagana hibridna metoda: a) iskanje korespondenčnih parov značilnk, b) in c) naslednji dve iteraciji iskanja parov (na istih dveh slikah).

3. REZULTATI

Oba algoritma za iskanje ujemanje smo uporabili v lastnem sistemu za verifikacijo na podlagi prstnega odtisa. Do sedaj uporabljeni algoritem, predstavljen v poglavju 2.1., smo primerjali z novo implementiranim algoritmom iz poglavja 2.2.

Testirali smo na lastni bazi prstnih odtisov, ki vsebuje 17 oseb, 9 prstnih odtisov za vsako osebo, skupaj torej 153 odtisov. Prstni odtisi so bili zajeti s čitalcem SecuGen Hamster Plus.

Pri primerjanju dveh različnih prstnih odtisov istega osebkka težko pričakujemo popolno ujemanje, zato prihaja do dveh vrst napak:

- Napačno ujemanje (angl. false match): ujemanje dveh vzorcev različnih osebkov.

$$FMR = \frac{\text{število nepravilno sprejetih}}{\text{število vseh poskusov}} * 100 [\%] \quad (9)$$

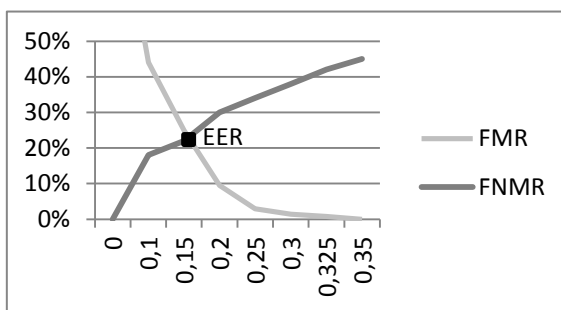
- Napačno ne-ujemanje (angl. false non-match): ne-ujemanje dveh vzorcev istega osebka.

$$FNMR = \frac{\text{število nepravilnih zavrnitev}}{\text{število vseh poskusov}} * 100 [\%] \quad (10)$$

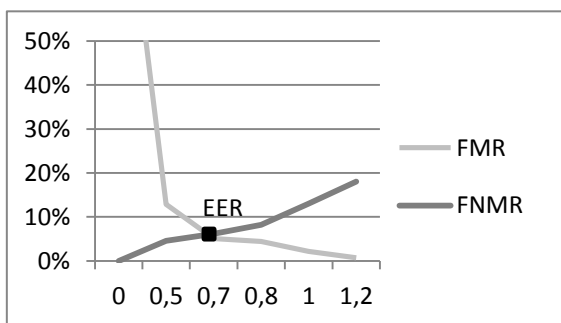
Ti dve razmerji sta odvisni od parametra t , ki mu pravimo tudi prag (angl. treshold). Če zmanjšamo t in s tem naredimo sistem bolj toleranten, se $FMR(t)$ poveča. Obratno velja, če t povečamo, naredimo sistem bolj varen. Pri nekem parametru t velja: $FMR(t) = FNMR(t)$, takrat je velikost obeh napak izenačena, kar označimo z EER (angl. equal error rate).

Za izračun FMR (enačba (9)) smo prvi prstni odtis vsake osebe primerjali z ostalimi osebami, za FNMR (enačba (10)) pa smo prstne odtise iste osebe primerjali med sabo.

Rezultate testiranja prikazujeta sliki 6 in 7.



Slika 6 - Ujemanje značilk na podlagi lokalnih značilnosti, EER = 24%.



Slika 7 - Ujemanje značilk s pomočjo hibridne metode, EER = 6%.

Učinkovitost sistema za verifikacijo na podlagi prstnega odtisa smo tako izboljšali za 18%.

4. ZAKLJUČEK

Sistem smo z implementacijo hibridnega načina ujemanja bistveno izboljšali. Glavna pomanjkljivost hibridnega pristopa je počasnost, saj za primerjavo ujemanja dveh prstnih odtisov porabi od 6 do 15 sekund, kljub temu, da smo algoritem že delno pohitrili z

vektorizacijo določenih izračunov. Algoritem deluje relativno hitro, če so na prstnem odtisu najdene singularne točke, medtem ko deluje počasi, ko le-teh ni in je potrebno iskati ustrezno poravnavo. V nadaljnjem delu želimo EER še izboljšati, predvsem pa pohitriti algoritem.

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. Abraham, J., Kwan, P., Gao, J., Fingerprint Matching using a Hybrid Shape and Orientation Descriptor, *State of the art in Biometrics*, str. 25–56, 2011.
2. Tico, M., Kuosmanen, P., Fingerprint matching using an orientation-based minutia descriptor, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 25(8), str. 1009–1014, 2003.
3. Kwan, P. W., Gao, J., Guo, Y., Fingerprint matching using enhanced shape context, *21. Image and Vision Computing New Zealand (IVCNZ 2006)*, Great Barrier Island, New Zealand, str. 115–120, 2006.
4. Zang, J., Yuan, J., Shi, F., Du, S., A Fingerprint Matching Algorithm of Minutia Based on Local Characteristic, *4. International Conference on Natural Computation*, zbornik 4, str. 13–17, 2008.
5. Liu, M., Jiang, X., Kot, A. C., Fingerprint Reference Point Detection, *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*, 2005(4), str. 498–509, 2005.
6. 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(6), str. 929–940, 2008.
7. Affina transformacija: http://en.wikipedia.org/wiki/Affine_transformation (zadnji dostop, 30. 1. 2012).