

**PRIMENA REŠENJA OTVORENOG KODA U  
PREPOZNAVANJU OSOBE PUTEM RUKOPISA  
APPLIANCE OF OPEN SOURCE SOLUTION IN PERSON  
IDENTIFICATION THROUGH HANDWRITING**

Joksović Maja, Miroslav Minović

**REZIME:** Provera rukopisa predstavlja jednu od najstarijih metoda za verifikaciju identiteta. Istraživanja u oblasti autentifikacije putem rukopisa su ponovno aktuelizovana otkad su uređaji sa ekranom osjetljivim na dodir i stilusom prešli u masovnu upotrebu. U radu će biti predstavljena dostignuća u ovoj oblasti sa fokusom na identifikaciju putem potpisa. Rad predstavlja jedan off-line sistem otvorenog koda za verifikaciju potpisa, koji je dodatno unapređen tako da kao ulaz za treniranje i verifikaciju može koristiti i skenirani potpis. Sistem je testiran na originalnim potpisima i nasumičnim i treniranim falsifikatima kako bi se ispitalo koji procenat greške daje u kom slučaju, a dobijeni rezultati su predstavljeni u radu.

Krajnje rešenje predstavlja kompletan sistem sa intuitivnim grafičkim interfejsom namenjen za verifikaciju potpisa koji je jedan od retkih, ako ne i jedini otvorenog koda, te ga je samim tim moguće dalje usavršavati i prilagođavati konkretnim okruženjima. Sistem koristi algoritam dinamičkog vremenskog podešavanja u kombinaciji sa ER2.

Prednost off-line sistema je u tome što ne zahtevaju nikakav specijalan uređaj, tako da su pogodni za verifikaciju od kuće.

**KLJUČNE REČI:** identifikacija na osnovu rukopisa, verifikacija potpisa, off-line, DTW, ER<sup>2</sup>

**ABSTRACT:** Research in the area of handwriting authentication is growing since the devices with touch screen and stylus move to mass production. This paper explores achievements in this area with a focus on signature authentication. An off-line signature verification system which has been modified so that is able to use files with images of signatures for training and verification is presented. The system was tested on the original signatures, random and trained forgeries to examine what percentage of errors is given in any case and the results were very good.

The paper provides a complete system with an intuitive graphical interface designed to verify the signature, which is one of the few if not the only one with open source, and is therefore open to further improvement and adaptation for specific systems. The system uses Dynamic Time Warping algorithm in combination with ER2.

System could be used in many situations since the signature is the most commonly used way of verification. The advantage of off-line system is that it does not require any specific input device, so they are ideal for verification from home.

**KEY WORDS:** identification based on handwriting, signature verification, off-line, DTW, ER<sup>2</sup>

## 1. UVOD

Od davnina je poznata identifikaciona vrednost rukopisa i potpisa. Činjenica da su jedinstveni za svaku osobu i da se kroz njih očitavaju psihološke i biomehaničke osobine čini ovo obeležje kandidatom za upotrebu prilikom biometrijske identifikacije pojedinca. Potpis se oduvek koristio za davanje pristanka, saglasnosti o razumevanju nekog sadržaja, kako na standardnim, tako i na nestandardnim obrascima.

Identifikacija osobe putem rukopisa i potpisa se vrši poređenjem podataka dobijenim od osobe koja se identifikuje sa podacima uskladištenim u bazi podataka. Prikupljanje podataka, odnosno snimanje pisanja se vrši u toku (*on-line*) ili nakon pisanja (*off-line*) i glavna razlika između ova dva pristupa je u broju parametara koji se razmatraju i na osnovu kojih će biti vršena verifikacija. Naime, prvi pristup uzima u obzir veći broj karakteristika u koje spadaju pritisak i ugao olovke u odnosu na podlogu, brzina pisanja, početne tačke iscrtavanja simbola, ukupno trajanje pisanja, pauze, itd., dok drugi pristup kao ulaz ima statičnu sliku napisanog teksta iz koje se ne može dobiti velika količina podataka. Za dobijanje statične slike potpisa nije potrebna nikakva specijalna oprema, dovoljan je potpis na papiru, skener ili opšte rasprostranjen

digitalni fotoaparati (ili neki drugi uređaji sa mogućnošću fotografisanja) i neki od programa za procesiranje slike kako bi se fotografija potpisa očistila. Ovo drugo je opciono pošto sistemi za verifikaciju potpisa mogu imati opciju automatske obrade slike u cilju pripreme za verifikaciju. Nakon što su podaci prikupljeni na njih se primenjuju određene funkcije i dobija se brojeva reprezentacija pisanog teksta (*template*) koja se zatim poredi sa referentnom iz baze nakon čega se utvrđuje ko je osoba koja se identifikuje ili da li je ona koja tvrdi da jeste u slučaju verifikacije. Naravno, dozvoljeno je određeno odstupanje jer će ista osoba retko dati dva identično napisana teksta ili potpisa.

Iz ovoga se može zaključiti da su sistemi koji podatke prikupljaju nakon pisanja jednostavniji za upotrebu jer od korisnika ne zahtevaju posedovanje specijalnog uređaja, ali su istovremeno i manje pouzdani zbog razmatranja samo slike potpisa. Verovatnoća lažiranja rukopisa ili potpisa kod *on-line* sistema je znatno niža jer je učenje načina iscrtavanja, ritma pisanja i mnogih drugih karakteristika gotovo nemoguće. Još jedna bitna činjenica koju obe vrste sistema moraju uzeti u obzir je da se rukopis vremenom menja, te da je potrebno povremeno osvežavati referentne podatke u bazi kako bi verifikacija bila pouzdana.

U ovom radu dat je prikaz dostignuća i pristupa u oblasti prepoznavanja osobe putem rukopisa i potpisa, a zatim je opisan realan sistem za verifikaciju potpisa koji je doraden tako da mu je omogućeno da kao ulaz, pored potpisa iscertanih mišem kod treniranja i verifikacije, za iste prima i slike potpisa. Takođe je urađeno testiranje kojim se utvrđuje pouzdanost sistema, odnosno kolika je verovatnoća da se potpis prave osobe odbije, kao i verovatnoća da se potpis pogrešne osobe prihvati kao pravi.

## 2. PREPOZNAVANJE OSOBE PUTEM RUKOPISA

Identifikacija osobe zasnovana na rukopisu je metoda bihejviorističkog pristupa biometriji. U ovu grupu spadaju još i govor, način hoda i kucanje na tastaturi. Svaka osoba ima jedinstven način pisanja i dodatna prednost upotrebe ovog obeležja je jednostavnost prikupljanja. Identifikacija na osnovu rukopisa ima potencijalno širok spektar primene u aplikacijama, od sigurnosti, forenzike, finansijskih aktivnosti do arheologije (na primer da bi se identifikovali autori starih dokumenata [1]). Iz ovih razloga se poslednjih godina ovoj oblasti posvećuje velika pažnja, međutim najveći broj istraživanja se zadržava na verifikaciji potpisa. Pristupi problematici identifikacije na osnovu rukopisa se dele u odnosu na dva kriterijuma: vremenu pisanja i prirodi pisanog teksta. Vreme pisanja se odnosi na to da li se podaci prikupljaju u toku pisanja (*on-line*) ili nakon pisanja (*off-line*). Kada je u pitanju priroda teksta, pravi se razlika između pristupa koji analiziraju fiksni tekst i onih kod kojih je tekst nasumičan. Ovi drugi uglavnom zahtevaju mnogo kompleksniju obradu.

U oblasti *off-line* identifikacije na osnovu potpisa je vršeno puno istraživanja jer ovaj vid verifikacije ne zahteva posedovanje posebnog uređaja koji bi prikupljao vrednosti dinamičkih parametara, te je samim tim pogodniji za verifikaciju od kuće, na primer klijenata neke banke. Nedostatak ove metode verifikacije je to što je broj parametara koji se mogu ispitivati i porediti vrlo ograničen što sa sobom nosi veću verovatnoću greške.

U radu Saborina (Sabourin) i Genesta (Genest) [2] predložen je novi formalizam za predstavljanje potpisa baziran na vizuelnoj percepciji. Slika potpisa sadrži 512 x 128 piksela i postavljena je na mrežu četvorougaoanih senzora koji reaguju na deo potpisa pozicioniran preko njih. Distribucija granulometrijskih veličina se koristi za definisanje praga obojenosti na koji reaguje senzor. Nakon toga je koristio algoritam najbližeg suseda i klasifikaciju baziranu na pragovima u cilju otkrivanja lažnih potpisa. Greška u prvom slučaju je bila 0.02% dok je kod drugog iznosila 1%. Ovi rezultati su dobijeni u slučajevima nasumičnih lažnih potpisa, dakle bez prethodnog uvežbavanja. Njihova baza je sadržala 800 originalnih potpisa koje je dalo 20 osoba.

Shashi Kumar [3] je predložio sistem namenjen offline verifikacije potpisa zasnovan na fuziji globalnih i osobina rešetke korišćenjem neuronskih mreža, dok su J. Mahmud i C.M. Rahman [4] pokušali da verifikuju *off-line* potpise

koristeći poboljšanu analizu određenih parametara i neuronsku mrežu. Modul za izvlačenje parametara je bio sposoban da im smanji domen i da detektuje nepromenljive osobine potpisa. Za ekstrakciju karakteristika potpisa je korišćen quadtree pristup sa analizom gustine, strukturalnom analizom i analizom momenta. Za verifikaciju na osnovu ekstrahovanih osobina potpisa korišćene su neuronske mreže koje su prethodno trenirane.

Kovari i saradnici [5] su koristili pristup koji je bio zasnovan na poklapanju određenih karakteristika potpisa. Metod je bio u mogućnosti da sačuva i da prednost semantičkim podacima u toku poređenja potpisa. Ekstrakcija osobina je definisana krajnjim tačkama definisanim pravcima poteza prilikom pisanja. Poklapanje potpisa je vršeno DTW algoritmom i MI (Mutual Information) algoritmom.

Gilperez i saradnici [6] su dizajnirali sistem koji verifikaciju vrši na osnovu karakteristika kontura potpisa. Sistem enkodira pravac kontura potpisa i dužinu regija zahvaćenih slovima.

Majhi [7] je koristio metod geometrijske sredine za ekstrakciju karakteristika potpisa. Delovi slike su podeljeni horizontalno i vertikalno i ekstrahovano je 24 karakteristične tačke za svaki deo slike. Za klasifikaciju je korišćena Euklidska metrika. Pragovi su određivani na osnovu prosečne vrednosti i standardne devijacije.

Ming Yeng [8] je prezentovao metodu selekcije karakteristika koje su se prikupljale putem uređaja Contourlet. Karakteristike koje su ovde bile od značaja su pravci i anizotropne informacije.

Abbas je za offline verifikaciju konstruisao prototip koji je koristio neuronsku mrežu sa *backpropagation* algoritmom za učenje. Po smeru prostiranja njegova mreža je bila nepovratna, dok je za treniranje mreže koristio tri algoritma: Vanilla, Enhance i Batch. FAR greške su bile u domenu od 10-40% [9].

Hanmandlua je predložio pristup baziran na fazi modelovanju koje uključuje Takagi-Sugeno (TS) model. U ovom radu su se poredili uglovi među pikselima potpisa koji su obrađivani poštujući referentne tačke i distribucija uglova je povezivana sa jednim fazi algoritmom. Sistem je treniran *backpropagation* algoritmom i FRR greška je iznosila između 5 i 16% [10].

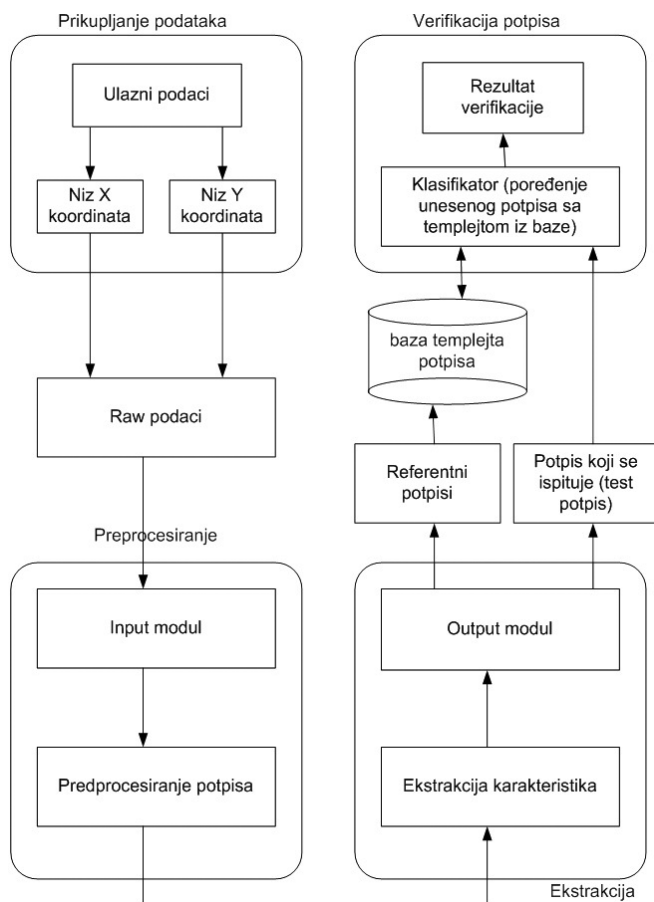
Zhang je predložio KPCSR (Kernel Principal Component Selfregression) model za problem *off-line* verifikacije i prepoznavanja potpisa. Model je razvijen iz KPCR (Kernel Principal Component Regression) modela. Ovaj model je radio direktno sa bitmap slikama, birajući podskup glavnih komponenta iz prostora jezgra za ulazne parametre kako bi precizno okarakterisao potpis svake osobe i pokazao je zadovoljavajuće performanse [11].

Edson i Justino su koristili HMM (Hidden Markov Models) za otkrivanje nasumičnih, običnih i uvežbanih lažnih potpisa. Za ekstrakciju tri karakteristike korišćena je šema segmentisane mreže: gustina piksela, distribucija piksela i

aksijalni nagib. Za dinamičko definisanje optimalnog broja stanja za svaki model (osobu) je upotrebljena procedura unakrsne validacije[12].

### 3. SISTEM ZA VERIFIKACIJU POTPISA

Aplikacija Signature Verification predstavlja rešenje otvorenog koda pisano u JAVA programskom jeziku namenjeno verifikaciji potpisa. Pun naziv projekta je *Discriminative Verification of Handwritten Signatures* i rađen je kao diplomski rad tri studenta Visveswaraiah tehničkog univerziteta u Majorsu (Ajay R, Keshav Kumar HK i Sachin Sudheendra. Aplikacija je trenutno dostupna na Google code pod GNU GPL licencom. U ovom radu je doradena tako da kao ulaz prima i slike potpisa što olakšava verifikaciju u brojnim slučajevima.



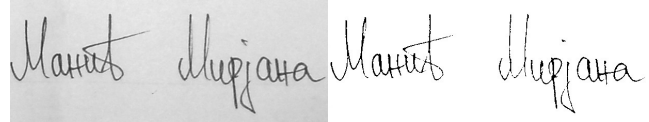
Slika 1: Arhitektura sistema za verifikaciju potpisa

#### 3.1. Proces verifikacije potpisa

##### 3.1.1. Prikupljanje potpisa i preprocesiranje

Kod treniranja i verifikacije potpis je moguće iscrtavati mišem ili olovkom na tabletu, ali i dodati fajl sa iscrtanim potpisom. Za potrebe testiranja druge varijante potpisi su crnom olovkom iscrtavani na čistom belom papiru nakon čega se potpis fotografisao sa Sony DSC-S700 aparatom. Preprocesiranje je rađeno u Photoshop-u gde nije korišćen globalan treshold jer su

se potpisi slikali sa različite udaljenosti (te su iz tog razloga neki deblji, a neki tanji), pod različitim osvetljenjem i sl., već se svaki obrađivao posebno tako da bude što tanji, ali da zadrži sve konture. Za deo aplikacije kod koga se potpisi prikupljaju tako što se iscrtavaju na ekranu nije bilo potrebno nikakvo preprocesiranje.



Slika 2: Potpis pre i posle obrade

##### 3.1.2. Izdvajanje karakteristika

Karakteristike potpisa koje se kod ovog sistema izvlače su u oba slučaja koordinate tačaka potpisa.

##### 3.1.3. Klasifikacija

Klasifikacija predstavlja proces odlučivanja o tome ko je osoba koja se potpisuje ili da li je ona osoba kojom se naziva. Vrš se tako što se podaci test osobe obrađuju kako bi formirali templejt, koji se onda poredi sa svim templejtima u bazi ili, u slučaju verifikacije, sa templejtom jedne osobe. Rezultat poređenja predstavlja meru sličnosti između templejta test osobe i templejta iz baze što u slučaju identifikacije dovodi do identifikacije osobe koja je donosilac potpisa, a u slučaju verifikacije do potvrđivanja ili odbijanja datog identiteta.

Kod sistema predstavljenom u ovom radu se kod poređenja dva niza tačaka prvo sprovodi DTW nakon čega se sličnost dva niza ocenjuje sa  $ER^2$ .  $ER^2$  ima nedostatak da dozvoljava samo jedan na jedan poklapanje između dva niza, kao i Euklidova norma. Ukoliko dva niza nisu dobro pozicionirana ili imaju drugačije dužine,  $ER^2$  se ne može direktno primenjivati. Potpisi obično nisu lepo poravnati i različitih su dužina, čak i ako ih piše ista osoba. Opštepoznato je da DTW može odrediti optimalan položaj između dva niza sa različitim dužinama. Zato se  $ER^2$  kombinuje sa DTW kako bi se iskoristile prednosti oba.

Prvo se koristi DTW kako bi se utvrdio optimalan položaj dva niza. Tada se nizovi rastežu kako bi imali iste dužine, što se vrši na sledeći način:

Ukoliko je tačka  $x_i$  poravnata sa  $k$  ( $k > 1$ ) tačaka niza  $Y$ , tada rastežemo niz  $X$  duplirajući  $x_i$   $k-1$  puta. Isto važi za niz  $Y$ . Na primer, na slici se niz  $X$  isteže da bi postao  $(x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_{n-1}, x_{n-1}, x_n)$ , a  $Y$  da bude  $(y_1, y_2, y_2, \dots, y_{n-2}, y_{n-1}, y_n)$ .

Nakon istežanja, dva niza imaju istu dužinu, te se lako može primeniti jednačina  $ER^2$  u cilju računanja sličnosti nizova.

##### 3.1.3.1. DTW

Kruskal i Liberman su 1983. godine predstavili tehniku za poređenje dve krive linije koja je nazvana dinamičko

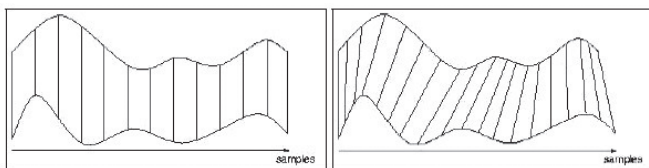
vremensko podešavanje (Dynamic time warping) kojom je omogućeno poklapanje ne samo krivih sa nasumičnim razlikama, već i onih sa razlikama u „brzini“ od jednog segmenta do drugog. Ovu metodu su preporučili za upotrebu u prepoznavanju govora koji je vrlo varijabilan u vremenu, ali je tehnika našla primenu u prepoznavanju rukopisa, gestova, robotici i data majningu.

Iz njihovog rada se može zaključiti da je poređenje dva uzorka metodom dinamičkog podešavanja optimalno u smislu da minimizira kumulativnu udaljenost između sekvenci koje odgovaraju uparenim tačkama dve vremenske serije. Metod se naziva vremensko podešavanje jer na uzorcima deformiše (isteže i skuplja) vremenske ose tako da se upareni odsecci pozicioniraju na isto mesto zajedničke vremenske ose. Distanca između dva uzorka dobijena ovom metodom naziva se DTW distanca.

Mera udaljenosti između vremenskih serija je potrebna kako bi se utvrdila sličnost između serija i kako bi se mogla izvršiti njihova klasifikacija. Euklidska udaljenost je efikasna mera udaljenosti koja se ovde može koristiti i predstavlja sumu kvadrata rastojanja između svake dve n-te tačke dve serije. Glavni nedostatak upotrebe Euklidske udaljenosti za podatke koji se tiču vremenskih serija je to što su rezultati vrlo neintuitivni. Ukoliko su dve vremenske serije identične, ali je jedna malo pomerenjena duž vremenske linije, tada bi po Euklidovoj udaljenosti one bile potpuno različite jedna od druge. DTW je nastao [14] kako bi se prevazišlo ovo ograničenje i kako bi se dala intuitivna mera udaljenosti između vremenskih serija ignorišući globalne i lokalne pomeraje u vremenu.

Na slici svaka vertikalna linija povezuje tačke jedne vremenske serije sa odgovarajućim tačkama druge vremenske serije. Ukoliko su obe vremenske serije na slici identične, sve linije bi bile pravilne vertikalne linije i ne bi bilo potrebno podešavanje kako bi se ove dve vremenske serije poravnale. Warp razdaljina je mera razlike između dve vremenske serije nakon što su podešene što predstavlja sumu razlika među svakim parom tačaka povezanih vertikalnim linijama na slici. Prema tome, dve vremenske serije koje su identične će imati DTW udaljenosti jednake nuli.

Na prvoj slici ispod je prikazano merenje udaljenosti klasičnim metodama, dok je na drugoj primenjen DTW koji je dosta intuitivniji. Metoda korišćena u prvom slučaju je Euklidska udaljenost.



Slika 3: Razlika između klasičnog i merenja udaljenosti uz DTW [15]

DTW problem je definisan na sledeći način:  
Imamo dve vremenske serije X i Y dužina |X| i |Y|:

$$X = x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_i, \dots, x_{|X|}$$

$$Y = y_1, y_2, y_3, y_4, \dots, y_j, \dots, y_{|Y|}$$

Zadatak je konstruisati warp putanju W

$$W = w_1, w_2, \dots, w_k \quad \max(|X|, |Y|) \leq K \leq |X| + |Y|$$

gde je K dužina warp putanje i gde je k-ti element te putanje

$$w_k = (i, j)$$

gde je i indeks iz vremenske serije X, a j indeks serije Y.

Warp putanja mora početi na početku svake vremenske serije  $w_1 = (1, 1)$  i završiti se na kraju obe vremenske serije  $w_k = (|X|, |Y|)$ . Ovo osigurava da je svaki indeks obe vremenske serije iskorišćen za warp putanju. Postoji još jedno ograničenje kojim se insistira na tome da i i j budu monotono rastući na warp putanji i iz tog razloga se linije koje na slici predstavljaju warp putanju ne preklapaju. Svaki indeks svake vremenske serije mora biti upotrebljen što se zapisuje na sledeći način:

$$w_k = (i, j), w_{k+1} = (i', j') \quad i < i' \leq i+1, j \leq j' \leq j+1$$

Optimalna warp putanja je ona sa minimalnim rastojanje gde je DTW distanca :

$$\text{Dist}(W) = \sum_{k=1}^{k=K} \text{Dist}(w_{ki}, w_{kj})$$

Dist (W) je rastojanje (obično Euklidovo rastojanje) warp putanje W, a Dist ( $w_{ki}, w_{kj}$ ) je rastojanje između dve tačke iz dva niza (jedna iz X, jedna iz Y) u k-tom elementu warp putanje.

Za pronalaženje minimalne warp putanje se koristi pristup zasnovan na dinamičkom programiranju. Umesto da se ceo problem rešava odjednom, pronalaze se rešenja podproblema i više puta se koriste za rešavanje neznatno većeg problema dok se ne nađe rešenje za celu vremensku seriju. Dvodimenzionalna matrica troška D se konstruiše tamo gde je vrednost D(i, j) minimalna warp putanja koja može biti konstruisana od dve vremenske serije  $X' = x_1, x_2, \dots, x_i$  i  $Y' = y_1, y_2, \dots, y_j$ . Vrednost na D(|X|, |Y|) će sadržati warp putanju minimalnog odstojanja između vremenskih serija X i Y.

X osa predstavlja vreme vremenske serije X, a Y osa predstavlja vreme vremenske serije Y. Slika prikazuje primer matrice troška i warp putanju minimalnog rastojanja od D(1, 1) do D(|X|, |Y|).

Da bi se pronašla warp putanja sa minimalnim rastojanjem, mora biti popunjeno svako polje matrice troška. Razlog korišćenja dinamičkog programiranja je to što se ukoliko su poznate minimalne warp putanje za sve deliće vremenskih serija koje se nalaze jednu tačku iza (i, j), tada je vrednost D(i, j) minimalno rastojanje svih mogućih warp putanja do tačke (i-1, j-1), plus rastojanje između tačaka  $x_i$  i  $y_j$ . Pošto warp putanja mora biti povećana za 1 ili ostati na istom mestu duž



i i j ose, rastojanje optimalne warp putanje do tačke (i-1, j-1) se nalazi u matrici na D(i-1, j), D(i, j-1) i D(i-1, j-1). Dakle, vrednost polja u matrici troška je

$$D(i, j) = \text{cost}(x_i, y_j) + \min \{D(i-1, j), D(i-1, j-1), D(i, j-1)\}$$

Nakon što se popuni cela matrica, pronalazi se warp putanja između D(1, 1) i D(|X|, |Y|). Warp putanja se traži unazad počevši od D(|X|, |Y|). Pretraga se vrši evaluacijom polja na levo, dole i dijagonalno ka donjem levom ćošku. Čelija koja ima najmanju vrednost se dodaje na početak dotadašnje pronađene warp putanje i pretraga se nastavlja od tog polja. Kraj pretrage je kada se dođe do polja D(1, 1).

Ograničenja DTW su uslov kontinuiteta, uslov ograničenosti i uslov monotonosti. Uslov kontinuiteta određuje koliko poklapanje može da odstupa od linearnog poklapanja. Ovo ograničenje je ključ DTW-a i obavezno je. Uslov je prvi formulisao Vuori [14]. Ako su N<sub>1</sub> i N<sub>2</sub> brojevi tačaka u prvoj i drugoj krivoj respektivno, i-ta tačka prve krive i j-ta tačka druge se mogu poklapati ukoliko je

$$(N_2 / N_1) i - cN_2 \leq j \leq (N_2 / N_1) i + cN_2$$

Parametar c određuje odstupanje poklapanja od linearnog poklapanja. Ukoliko je c=1, uslov kontinuiteta nema efekta (svaka tačka prve krive se poklapa sa svakom tačkom druge), a ukoliko je c=0, rezultujuće poklapanje je isto što i linearno poklapanje. Uslov ograničenosti je opcioni i ukoliko se uvažava postoji poklapanje prve i poslednje tačke krivih nezavisno od toga da li je to tako po uslovu kontinualnosti i da li tačke imaju najmanju razdaljinu ili ne.

Uslov monotonosti je uslov koji sprečava poklapanja unazad, odnosno ukoliko neka i-ta tačka prve krive u procesu poklapanja bude poklopljena sa nekom j-tom tačkom druge krive, nije dozvoljeno da se tačka prve krive sa indeksom iznad i poklapa sa nekom tačkom druge krive sa indeksom manjim od j. Isto važi i za poklapanje tačaka druge krive sa tačkama prve.

### 3.1.3.2. ER<sup>2</sup>

U velikom broju istraživanja se analizira dve ili više statističkih varijabli s ciljem da se utvrdi:

- postoji li povezanost među varijablama
- koliko je veza među varijablama snažna
- može li se varijabla koja je predmet statističke analize prognozirati pomoću opaženih vrednosti druge varijable (drugih varijabli)

Regresiona analiza se bavi ispitivanjem zavisnosti jedne varijable od jedne ili više nezavisnih varijabli s ciljem da se utvrdi analitički izraz takve povezanosti, odnosno model koji služi u analitičke i prediktivne svrhe.

Prilikom statističkih istraživanja kvantitativnog slaganja između dve ili više pojava koriste se metode regresione i korelacione analize. Kod regresione analize se unapred određuje

koja pojava će imati ulogu zavisne promenljive a koja nezavisne promenljive. Ovo se utvrđuje na osnovu teorijskih ili empirijskih znanja ili pretpostavci o prirodi analiziranih pojava.

Cilj regresije jeste utvrđivanje prirode veze, odnosno oblika zavisnosti između posmatranih pojava. To se postiže upotrebom odgovarajućeg regresionog modela. Korelaciona analiza se bavi ispitivanjem da li između varijacija posmatranih pojava postoji slaganje i ako postoji u kom je to stepenu. Regresiona i korelaciona analiza ne dovode do otkrivanja postojanja uzročno-posledičnih veza između pojava koje se ispituju, već se to utvrđuje kroz kvalitativnu i kvantitativnu analizu. Regresiona analiza je jedan od najvažnijih i najčešće korišćenih statističkih metoda i ima veliku primenu kako u društvenim (na primer ekonomiji) tako i u prirodnim naukama. Prosta linearna regresija predstavlja linearnu povezanost između dve posmatrane pojave. To mogu na primer biti nivo vode u reci i količina padavina.

Najjednostavniji odnos dve deterministički povezane varijable je linearni odnos:  $y = ax + b$ . Ukoliko imamo dva niza  $X=(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$  i  $Y=(y_1, y_2, y_3, \dots, y_n)$ , linearna regresija statistički analizira distribuciju tačaka  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$  u X-Y prostoru. Ukoliko su X i Y linearno povezani nizovi ( $Y = a + bX$ ) možemo očekivati distribuciju ovih tačaka duž jedne prave koja se naziva regresiona prava.

Da bi izvršili regresiju niza Y duž X prvo uspostavljamo model:

$$Y = a + bX + u$$

gde je  $u=(u_1, u_2, \dots, u_n)$  faktor greške. Tada procenjujemo parametre a i b tako da se minimizuje suma kvadrata grešaka tj od svih pravaca  $y = ax + b$ , najverovatniji pravac regresije je onaj za koji je suma kvadrata odstupanja:

$$\sum_{i=1}^n u_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - (a + bx_i))^2$$

minimalna. Sa geometrijske tačke gledišta, procenjuje se regresiona linija koja je određena sa a i b tako da linija povezuje tačke u X-Y prostoru što je bliže moguće. Suma kvadrata odstupanja je minimalna kada istovremeno važi:

$$\delta(Q/a)=0 \text{ i } \delta(Q/b)=0$$

Nakon računanja dobija se da je  $a = Y' - bX'$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X')(y_i - Y')}{\sum_{i=1}^n (x_i - X')^2}$$

gde su  $X' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$  i  $Y' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$

Pošto su sve vrednosti na osnovu kojih se računaju a i b u gornjim jednačinama poznate, može se reći da su ovim dve vrednosti određene. Mera koja pokazuje koliko se

dobro prava određena jednačinom  $Y=aX+b$  uklapa u tačke određene parovima  $(x_i, y_i)$  se naziva koeficijent determinacije i izračunava se na sledeći način:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n u_i^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - Y')^2}$$

$R^2$  ima sledeće osobine:

- refleksivnost, tj.  $R^2(X, X)=1$
- simetričnost  $R^2(X, Y)=R^2(Y, X)$ , odnosno bilo da se radi regresija X po Y ili Y po X, koeficijent determinacije je isti
- koeficijent determinacije se nalazi u intervalu između 0 i 1. Što je vrednost bliža jedinici, to tačke više padaju duž regresione prave, tj. jača je linearna veza niza X i niza Y. Ukoliko je  $R^2=1$  tada dva niza imaju savršen linearan odnos dok  $R^2=0$  znači da linearni odnos uopšte ne postoji.

Linearna regresija se obično primenjuje na jednodimenzionalne nizove. Međutim, u praksi se ovakvi slučajevi sreću mnogo ređe, odnosno češće se sreću multidimenzionalni nizovi. Na primer, potpis dobijen kroz on-line sistem je multidimenzionalan jer uključuje koordinate (x i y), pritisak, nagib olovke i slično. Da bi se poredila ovakva dva niza, samim tim i dva potpisa, uvodi se  $ER^2$  (Extended R-squared) koji se računa na sledeći način:

$$ER^2 = \frac{\left[ \sum_{j=1}^M \left( \sum_{i=1}^n (x_{ij} - X'_j)(y_{ij} - Y'_j) \right) \right]^2}{\sum_{i=1}^M \sum_{i=1}^n (x_i - X')^2 \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^n (y_i - Y')^2}$$

gde je M broj dimenzija koje se posmatraju, a i srednje vrednosti nizova X i Y.

$ER^2$  ima iste osobine kao  $R^2$ : refleksivnost, simetričnost i vrednost  $ER^2$  se nalazi u intervalu (0,1). Jedina razlika je u tome što  $ER^2$  može meriti višedimenzionalne nizove. Kao i  $R^2$   $ER^2$  govori koliko su nizovi slični. Nasuprot tome, DTW i Euklidova norma mogu samo dati rastojanja sa relativnim značenjem.[13]

#### 4. IMPLEMENTACIJA

Proces verifikacije potpisa se u aplikaciji odvija kroz sledeće korake:

- učitavanje nizova X i Y iz baze u nizove Xr1, Yr1 (r označava da je u pitanju referentni niz iz baze, 1 da je u pitanju prvi od dva referentna potpisa iz baze, X i Y predstavljaju koordinate tačaka potpisa)
- učitavanje nizova X i Y drugog potpisa iz baze u nizove Xr2, Yr2

- primena DTW algoritma na Xr1, Yr1, Nr1, Xt, Yt, Nt gde su poslednja tri parametra niz X i Y koordinata tačaka potpisa, a Nt dužina potpisa koji se testira (otud t)
- na iste parametre kao u prethodnom koraku primeniti  $ER^2$  i rezultat upisati u promenljivu RES1
- Primena DTW algoritma na Xr2, Yr2, Nr2, Xt, Yt, Nt
- računanje  $ER^2$  nad istim parametrima i rezultat upisati u promenljivu RES2
- konačan rezultat verifikacije (mera poklapanja dva potpisa) se računa kao prosečna vrednost rezultata poređenja prvog i drugog referentnog potpisa iz baze sa test potpisom, dakle rezultat= (RES1 + RES2)/2

#### 4.1. Implementacija DTW algoritma

Koraci u izvršavanju DTW algoritma:

- prvo kreiramo matricu odstojanja po formuli
 
$$d[i, j] = (u[i] - v[j])^2$$
- zatim se inicijalizuje prvi element DTW matrice
 
$$D[1, 1] = d[1, 1]$$
- računaju se vrednosti u prvoj vrsti matrice D
 
$$D[i, 1] = d[i, 1] + D[i-1, 1]$$
 za vrednosti i od 2 do N
- računaju se vrednosti prve kolone matrice D
 
$$D[1, j] = d[1, j] + D[1, j-1]$$
 za vrednosti j od 2 do M
- računanje ostalih vrednosti matrice D
 

for i=2 to N, j=2 do M

$$D[i, j] = d[i, j] + \min \begin{cases} D[i-1, j] \\ D[i-1, j-1] \\ D[i, j-1] \end{cases}$$

- totalni trošak je jednak vrednosti D[N, M]
- Varijable koje se pojavljuju u ovoj klasi su sledeće:
- u, v - vektori dužina M i N koji se porede (u ovom slučaju to su dužine referentnih i test nizova tačaka)
  - d [M] [N] - matrica rastojanja gde je  $d [i, j] = |u[i] - v[j]|^2$
  - D [M] [N] - akumulativna matrica rastojanja gde je  $D [i, j] = d [i, j] +$  vrednost najmanjeg prethodnika
  - R - Maksimalan dozvoljen warp raspon jednak  $\max |i - j|$
  - C - ukupan trošak
  - K - dužina minimalne putanje troška
  - w [K] [2] - matrica (i, j) parova koja predstavlja trajektoriju minimalne putanje troška.

#### 4.2. Implementacija ER<sup>2</sup>

Algoritam za računanje rezultata korišćenjem ER<sup>2</sup>:

- računanje srednje vrednosti referentnih i testnih koordinata

$$xrBar = \text{mean}(XR, NR)$$

$$yrBar = \text{mean}(YR, NR)$$

$$xtBar = \text{mean}(XT, NT)$$

$$ytBar = \text{mean}(YT, NT)$$

- računanje numeratora ER<sup>2</sup> formule

For i = 0 to NR-1 do

$$\text{Insum1} += (XR[i] - xrBar) * (XT[i] - xtBar)$$

For i = 0 to NR-1 do

$$\text{Insum2} += (YR[i] - yrBar) * (YT[i] - ytBar)$$

$$\text{finalNum} = \text{Insum1} + \text{Insum2}$$

- računanje denominatora ER<sup>2</sup> formule

For i = 0 to NR-1 do

$$\text{Xsum1} += (XR[i] - xrBar)^2$$

For i = 0 to NR-1 do

$$\text{Ysum1} += (YR[i] - yrBar)^2$$

$$\text{Sum1} = \text{Xsum1} + \text{Ysum1}$$

For i = 0 to NT-1 do

$$\text{Xsum2} += (XT[i] - xtBar)^2$$

For i = 0 to NT-1 do

$$\text{Ysum2} += (YT[i] - ytBar)^2$$

$$\text{Sum2} = \text{Xsum2} + \text{Ysum2}$$

$$\text{finalDeno} = \text{Sum1} * \text{Sum2}$$

- deljenje numeratora sa denominatorom kako bi se dobio konačan rezultat koji se nalazi između 0 i 1.

#### 5. EVALUACIJA PERFORMANSI APLIKACIJE

Potpisi variraju od pokušaja do pokušaja što je kod nekih osoba izraženije nego kod drugih, dok kod svake osobe potpis varira u toku vremena. Ovde se misli na neki relativno dug vremenski period. Dobar sistem za verifikaciju potpisa bi trebalo da zadovoljava sledeće uslove:

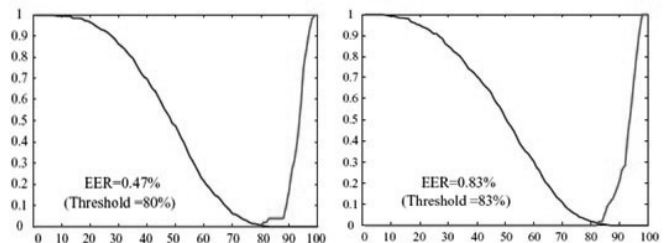
- potpisi koje je dala ista osoba i koji su vizuelno slični moraju da prođu verifikaciju
- kada se sistem testira na velikim bazama podataka, mora pokazati statistički mali procenat greške
- sistem ne sme da dozvoli da falsifikovan potpis prođe verifikaciju
- ne sme se desiti da potpis koji je vizuelno različit od referentnog potpisa prođe verifikaciju

Postoje dve vrste grešaka koje se javljaju prilikom verifikacije potpisa: greška pogrešnog odbijanja i greška pogrešnog prihvatanja. Greška pogrešnog odbijanja je greška

koje se odbacuje potpis koji je dat od strane osobe čiji je referentni potpis, dok je greška pogrešnog prihvatanja slučaj da falsifikovan potpis prolazi verifikaciju.

Ukoliko prihvatimo svaki potpis kao originalan, tada imamo 0% pogrešnog odbijanja i 100% pogrešnog prihvatanja, a ako odbacimo svaki potpis kao lažan, imaćemo 100% pogrešnog odbijanja i 0% pogrešnog prihvatanja. Međutim, statističkom procenom verifikacionog sistema, bilo na bazi potpisa ili drugačije procenat pogrešnog prihvatanja mora biti funkcija procenta pogrešnog odbijanja. Kriva nastala na taj način se naziva trade-off kriva greške.

U ovoj sekciji su dati rezultati testiranja kod koga su za treniranje i verifikaciju korišćeni fajlovi jer je ta opcija nova i dodata u sklopu praktičnog dela ovog rada. Testiranje na potpisima iscertavanim mišem je sprovedeno od strane autora aplikacije i dobijeni rezultati su prikazani na slici:



Slika 4: Rezultati testiranja aplikacije sa potpisima pisanim mišem

ERR (Equal Error Rate) - izjednačeno odstupanje: Kada se prikaže grafički, ERR predstavlja trenutak kada su greška pogrešnog prihvatanja (FAR) i greška pogrešnog odbijanja (FRR) izjednačene. Sa slike se vidi da su kod normalizovanih potpisa FAR i FRR jednake 0.47% u slučaju kada je prag postavljen na 80%, a kod nenormalizovanih potpisa 0.83% sa pragom od 83%.

Za testiranje bazirano na fajlovima su korišćeni potpisi 9 osoba koje su dale po 4 originalna potpisa gde su dva korišćena za treniranje sistema, a druga dva za verifikaciju. Takođe, za svaku osobu su napravljena po dva nasumična i dva uvežbana falsifikata potpisa, čime je ukupan broj potpisa 72.

#### 6. ZAKLJUČAK

Ovim radom je obuhvaćena vrlo široka tematika identifikacije putem rukopisa, predstavljeni su značajni dosadašnji pristupi ovoj problematici i napravljena je podela na osnovu vremena prikupljana podataka o pisanju, kao i na osnovu toga da li je tekst koji se piše fiksni ili ne. Zatim je fokus pomeren na podkategoriju ove oblasti koja se bavi identifikacijom na osnovu potpisa da bi na kraju bio predstavljen sistem koji vrši verifikaciju potpisa. Sistem je bio u mogućnosti da potpise prikuplja samo tako što bi se oni iscertavali na ekranu što predstavlja veliku manu jer u današnje vreme malo ljudi ima grafičku tablu ili tablet računara da bi ovakav potpis ličio na originalan. Dakle, potpis je bilo moguće iscertavati uglavnom

mišem. Pošto je sistem otvorenog koda, doprogramiran je tako da kao ulaz i kod trening i kod verifikacione faze može da primi slike potpisa što znatno povećava preciznost sistema. Takođe je urađeno testiranje sistema na 9 osoba gde je za svaku osobu raspolagano sa po 8 potpisa (4 originalnog autora i po dva za nasumični i trenirani falsifikat). Sistem je pokazao dobre rezultate, odnosno prilikom verifikacije potpisa originalnog autora stepen sličnosti datog potpisa sa referentnim iz baze je iznosio 92.11%, kod nasumičnog falsifikata je iznosio 66.19% dok je kod uvežbanog falsifikata iznosio 90.44%. Ono što je primećeno je da će sistem zbog prirode DTW algoritma dati veći stepen podudaranja za potpis koji je i u bazi i kod testa u formi "ime prezime" zbog uglavnom malih oscilacija u visini, dok će kod potpisa koji su u drugoj formi sa dosta krivulja stepen poklapanja biti manji. Na osnovu dobijenih rezultata se može uvesti prag tolerancije koji ne bi trebao biti manji od 92%.

Najveći nedostatak sistema je to što je *off-line* te samim tim po prirodi stvari razmatra minimalnu količinu parametara čime je podložniji prevarama on nekog on-line sistema.

Uočeni nedostaci ovog sistema se odnose na veoma mali broj referentnih potpisa (sistem za treniranje koristi samo dva potpisa), nemogućnost izmene referentnih potpisa i nizak nivo sigurnosti. Na osnovu ranijih istraživanja utvrđeno je da što je veći broj referentnih potpisa, to je verifikacioni sistem precizniji. Takođe, poznato je da se potpis menja tokom vremena, što ovom aplikacijom nije predviđeno.

Predlog je da se za treniranje sistema omogući što veći broj potpisa (bar četiri), kao i da se omogući ažuriranje baze potpisa čime bi se omogućila ažurnost sistema u cilju što preciznije verifikacije. To se može postići i prilagođavanjem sistema mrežnom okruženju čime bi korisnik mogao poslati fajl sa potpisom koji bi bio obrađen od strane sistema i snimljen u bazu. Takođe bi bilo korisno omogućiti da sistem prima neobrađene fotografije, te da ih sam priprema za trening fazu.

Realizovani sistem se može koristiti kako samostalno, tako i kao deo multimodalnog biometrijskog sistema, a u cilju poboljšanja sveukupne performanse identifikacije i verifikacije osoba.

## ZAHVALNICA

Ovaj rad je deo projekta Primena multimodalne biometrije u menadžmentu identiteta, finansiranog od strane Ministarstva za prosvetu i nauku, Br TR-32013

## 7. LITERATURA

- [1] M. Bulacu, L. Schomaker "Automatic handwriting identification on medieval documents", Artificial Intelligence Institute, University of Groningen, The Netherlands
- [2] R. Sabourin, G. Genest, F. J. Preteux, "Off-line signature verification local granulometric size distributions", IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 19 (9), 1997
- [3] S. Kumar et. al., "Off-line Signature Verification Based on Fusion of Grid and Global Features Using Neural Networks", International Journal of Engineering Science and Technology Vol. 2(12), 2010
- [4] J. Mahmud, C. Mofizur Rahman, "On Analysis of Multi Dimensional Features for Signature Verification", International Conference on Computational Intelligence for Modelling, Control and Automation and International Conference on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce, pp. 735-740, 2005
- [5] B. Kovari, Z. Kertesz, A. Major, "Off-line signature verification based on feature matching", Eleventh International Conference on Intelligent Engineering System, pp. 93 – 97, 2007
- [6] A. Gilperez, F. Alonso-Fernandez, S. Pecharroman, J. Fierrez, J. Ortega-Garcia, "Off-line signature verification using contour features", Biometric Recognition Group – ATVS Escuela Politecnica Superior - Universidad Autonoma de Madrid
- [7] B. Majhi, Y. Santhosh Reddy, D. Prasanna Babu, "Novel Features for Offline Signature Verification", International Journal of Computer Communications and Controls, vol. 1, no. 1, pp. 17 – 24, 2006
- [8] M. Yang, Z. Yin, et.al., "A contourlet based method for handwritten signature verification", National Conference on Real-Time Imaging, pp. 227-236, 2002
- [9] R. Abbas, "Back propagation neural network prototype for off-line signature verification", thesis Submitted to RMIT, 2003
- [10] M. Hanmandlua, Mohd. Hafizuddin, Mohd. Yusofb, V. K. Madasu, "Off-line signature verification and forgery detection using fuzzy modelling", Pattern Recognition 38, 341-356, 2004
- [11] B. Zhang, "Off-line signature recognition and verification by kernel principal component selfregression", Proceedings of the 5th International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA'06), 4 – 6, 2006
- [12] J Edson, R. Justino, F. Bortolozzi and R. Sabourin, "The interpersonal and intrapersonal variability influences on off-line signature verification using HMM", Proc. XV Brazilian Symp. Computer Graphics and Image Processing, pp. 197-202, 2002
- [13] H. Lei, S. Palla, V. Govindaraju, "ER2: an Intuitive Similarity Measure for On-line Signature Verification", CUBS, Center for Unified Biometrics and Sensors, State University of New York at Buffalo, Amherst, NY 14260, USA
- [14] V. Vuori, M. Aksela, J. Laaksonen and E. Oja, "Adaptive character recognizer for a hand-held device: Implementation and evaluation setup", Proceedings of the 7th International Workshop on Frontiers in Handwriting Recognition (IWFHR7)
- [15] R. Niels, "Dynamic Time Warping - An intuitive way of handwriting recognition?", Master thesis, Radboud University Nijmegen, 2004



Joksović Maja, Asseco SEE  
maja.joksovic@asseco-see.rs

Oblasti interesovanja: Softverski inženjering, Inteligentni sistemi, Biometrijski sistemi



Miroslav Minović, Fakultet Organizacionih Nauka u Beogradu,  
miroslav.minovic@mmklab.org

Oblasti interesovanja: HCI, Multimediji, Biometrijski sistemi, Mobilno računarstvo