

**SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY**

Evidenčné číslo: FEI-5384-5907

**SIEŤOVÝ SYSTÉM V OTVORENOM KÓDE NA
EFEKTÍVNE ROZPOZNÁVANIE MARKANTOV V
DAKTYLOSKOPICKÝCH STOPÁCH - PRE METÓDU
"NEURÓNOVÉ SIETE"
DIPLOMOVÁ PRÁCA**

2016

Bc. Gergely Czakó

**SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY**

Evidenčné číslo: FEI-5384-5907

**SIEŤOVÝ SYSTÉM V OTVORENOM KÓDE NA
EFEKTÍVNE ROZPOZNÁVANIE MARKANTOV V
DAKTYLOSKOPICKÝCH STOPÁCH - PRE METÓDU
"NEURÓNOVÉ SIETE"**

DIPLOMOVÁ PRÁCA

Študijný program :	Aplikovaná informatika
Číslo študijného odboru:	2511
Názov študijného odboru:	9.2.9 Aplikovaná informatika
Školiace pracovisko:	Ústav informatiky a matematiky
Vedúci záverečnej práce:	Ing. Alexander Hambalík, PhD.

2016

Bc. Gergely Czakó



ZADANIE DIPLOMOVEJ PRÁCE

Študent: **Bc. Gergely Czakó**
ID študenta: 5907
Študijný program: Aplikovaná informatika
Študijný odbor: 9.2.9. aplikovaná informatika
Vedúci práce: Ing. Alexander Hambalík, PhD.
Miesto vypracovania: Ústav informatiky a matematiky

Názov práce: **Sieťový systém v otvorenom kóde na efektívne rozpoznávanie markantov v daktyloskopických stopách – pre metódu "neurónové siete"**

Špecifikácia zadania:

Práca má zmapovať vývoj a súčasný stav zisťovania a spracovania odtlačkov prstov (dlani) z pohľadu markantov, ktoré väčšinou rozpoznávajú len expertné systémy. Kiešiteľ má navrhnuť prostredie, v ktorom sa potrebnými algoritmi dajú rozlíšiť aj komplexnejšie tvary markantov v takej forme, ktorá dovolí ich následné kvalitatívne a kvantitatívne spracovanie.

Úlohy:

1. Naštudujte problematiku snímania, generovania, spracovania a rekonštrukcie odtlačkov prstov (dlani) pomocou najnovších biometrických metod.
2. Špecifikujte požiadavky na automatizované spracovanie odtlačkov prstov (dlani) z pohľadu komplexnejších markantov a sieťových technológií.
3. Navrhnite a implementujte sieťový systém v otvorenom kóde na automatizované spracovanie odtlačkov prstov (dlani) metódou, ktorá využíva neurónové siete tak, aby umožnil odhaliť aj komplexnejšie markanty (vzory) ako súčasné metódy.
4. Otestujte systém v praxi a vyhodnoťte získané výsledky.
5. Vypracujte potrebnú dokumentáciu.

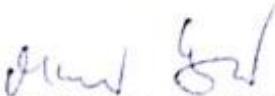
Zoznam odbornej literatúry:

1. Lee, H. – Gaenslen, R. *Advances in fingerprint technology*, 2nd ed. 2001. LLC: CRC Press, 2001. ISBN 0-8493-0923-9.
2. Jain, A. – Maio, D. – Maltoni, D. *Handbook of Fingerprint Recognition, Second Edition*. London, UK: Springer, 2009. 496 s. ISBN 978-1-84882-253-5.
3. Časopisecká literatúra podľa zadania vedúceho.
4. Internet.

Riešenie zadania práce od: 21. 09. 2015
Dátum odovzdania práce: 20. 05. 2016



Bc. Gergely Czakó
student


prof. RNDr. Otokar Grošek, PhD.
vedúci pracoviska


prof. RNDr. Gabriel Juhás, PhD.
predajant študijného programu

SÚHRN

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

Študijný program :

Aplikovaná informatika

Diplomová práca:

Sieťový systém v otvorenom kóde na efektívne rozpoznávanie markantov v daktyloskopických stopách - pre metódu "neurónové siete"

Autor:

Bc. Gergely Czakó

Vedúci záverečnej práce:

Ing. Alexander Hambalík, PhD.

Miesto a rok predloženia práce:

Bratislava 2016

Cieľom práce bolo naštudovať problematiku rozpoznávania a spracovania odtlačkov prstov a na základe získaných poznatkov navrhnúť a implementovať sieťový systém v otvorenom kóde na efektívne rozpoznávanie markantov v daktyloskopických stopách.

Teoretická časť práce obsahuje priblíženie metód používaných v biometrickom rozpoznávaní a spracovaní odtlačkov. Naštudované kroky predspracovania obrazov odtlačkov, ako aj spôsoby extrakcie markantov pomocou neurónovej siete, sú podrobne zošetrane a vysvetlené.

Praktická časť práce sa venuje návrhu, implementácií a testovaniu aplikácie, ktorá bude slúžiť na automatické spracovanie a následnú identifikáciu markantov v daktyloskopických stopách. Pri predspracovaní obrazu sa používajú vybrané metódy na získanie vhodnej rekonštrukcie papilárnych línii. Softvér následne pristupuje k extrakcii špecifických markantov pomocou neurónovej siete.

Výsledky potvrdzujú, že neurónová siet je vhodný na identifikáciu markantov v daktyloskopických stopách.

Kľúčové slová: neurónové siete, sieťový systém, markant, daktyloskopia, odtlačky prstov

ABSTRACT

SLOVAK UNIVERSITY OF TECHNOLOGY IN BRATISLAVA
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND INFORMATION
TECHNOLOGY

Study Programme:	Applied Informatics
Diploma Thesis:	Open source network system for effective recognition of minutiae in fingerprints – with method neural network
Autor:	Bc. Gergely Czakó
Supervisor:	Ing. Alexander Hambalík, PhD.
Place and year of submission:	Bratislava 2016

The goal of this thesis was to analyze fingerprint recognition and processing methods and from the gathered data to design and implement a system on open-source technologies for effective recognition using minutiae recognition in fingerprints, also known as dactyloscopy.

The theoretical part of the work contains analysis of methods used in biometric recognition and in fingerprint processing. The part also contains a pipeline of fingerprint pre-processing and methods of minutiae extraction using neural networks.

The design, implementation and testing of a system is described in the next part of the work, which is used as an automatic fingerprint processor and minutiae recognizer. The system uses a chosen method for gathering date for papillary lines reconstruction in the pre-processing phase.

Afterwards the system extracts specific minutiae using neural networks. In the last part the results are validated and the methods used during the fingerprint processing are confirmed and evaluated.

Key words: neural network, network system, fingerprint, dactyloscopy, markant

Vyhľásenie autora

Podpísaný Gergely Czakó čestne vyhlasujem, že som Diplomovú prácu Sieťový systém v otvorenom kóde na efektívne rozpoznávanie markantov v daktyloskopických stopách - pre metódu "neurónové siete" vypracoval na základe poznatkov získaných počas štúdia a informácií z dostupnej literatúry uvedenej v práci.

Uvedenú prácu som vypracoval pod vedením Ing. Alexander Hambalík, PhD..

V Bratislave dňa 18.05.2016

.....
podpis autora

Pod'akovanie

Tento cestou by som chcel vyjadriť pod'akovanie môjmu vedúcemu diplomovej práce Ing. Alexander Hambalík, PhD. za odborné vedenie diplomovej práce a podnetné prípomienky pri jeho vypracovaní.

Obsah

Úvod	13
1 Teoretické východiská práce	14
1.1 Biometria a biometrické systémy	14
1.1.1 Charakteristika a výhody biometrických systémov.....	15
1.1.2 Využitie biometrického systému	16
1.2 Daktyloskopia	18
1.2.1 Využitie metódy daktyloskopie.....	19
1.2.2 Rozpoznávanie odtlačkov	20
1.3 Metódy predspracovania obrazu	24
1.3.1 Segmentácia obrazu.....	24
1.3.2 Gáborov filter	25
1.3.3 Smerová mapa	26
1.3.4 Binarizácia.....	26
1.3.5 Zužovanie hrúbky papilárnych líní	27
1.4 Neurónové siete	28
1.4.1 Typy neurónových sietí.....	28
1.4.2 Vlastnosti neurónových sietí	29
1.4.3 Typy učenia neurónových sietí.....	30
1.4.4 Využitie neurónových sietí.....	31
1.4.5 Výhody neurónových sietí	32
1.4.6 Použitie neurónových sietí v oblasti biometrie	32
2 Návrh riešenia	33
2.1 Požiadavky a opis aplikácie	33
2.2 Use case diagram systému	34
2.3 Activity diagram systému	35
2.3.1 Používateľská časť	35
2.3.2 Spracovanie vstupných a výstupných dát.....	35
2.3.3 Detekčná časť	36
2.4 Návrh dátového modelu systému.....	39
2.4.1 Vstupy aplikácie.....	39
2.4.2 Výstupy aplikácie	39

2.4.3	Dátový model systému	40
2.5	Použité softvérové riešenie	42
2.6	Používateľské rozhranie.....	43
2.6.1	Nastavenie vstupných dát.....	43
2.6.2	Zobrazenie výstupov	44
3	Implementácia	45
3.1	Back-end	45
3.1.1	Obrazové predspracovanie	46
3.1.2	Trénovanie neurónovej siete	50
3.1.3	Extrakcia základných markantov	52
3.1.4	Extrakcia komplexných markantov.....	52
3.2	Používateľská časť	53
4	Výsledky a testovanie	56
4.3	Výsledky a testovanie obrazového predspracovania	56
4.4	Výsledky a testovanie neurónových sietí.....	60
Záver	67
Zoznam použitej literatúry	68
Prílohy	I
Technická dokumentácia	II
Používateľská príručka.	V
Štruktúra elektronického nosiča	X

Zoznam obrázkov a tabuliek

Obrázok 1: Blokové schémy verifikačných a identifikačných biometrických systémov [5]	15
Obrázok 2: Ilustračný obrázok odtlačku prsta.....	19
Obrázok 3: markant 1. úrovne ARCH	21
Obrázok 4: Markant 1. úrovne RADIAL	21
Obrázok 5: Markant 1. úrovne WHORL.....	21
Obrázok 6: Markant 1. úrovne ULNAR.....	21
Obrázok 7: Markanty 2. úrovne	22
Obrázok 8: Markant 3. úrovne potné póry	23
Obrázok 9: Binarizácia odtlačku prsta.....	26
Obrázok 10: Zúženie papilárnych línii [10]	27
Obrázok 11: Dopredná siet	28
Obrázok 12: Rekurentná siet.....	29
Obrázok 13 Proces učenia	30
Obrázok 14: Use case digram systému	34
Obrázok 15: Activity diagram systému.....	38
Obrázok 16: Dátový model systému	40
Obrázok 17: UI – Nastavenie vstupných dát	43
Obrázok 18: UI - Zobrazenie výstupov	44
Obrázok 19: Proces spracovania odtlačku prsta	46
Obrázok 20: Výsledok segmentácie - vľavo bez filtra, vpravo po aplikovaní filtra	47
Obrázok 21: Schéma navrhnutej siete	50
Obrázok 22: Dáta na učenie NN na markant ukončenie [14].....	51
Obrázok 23: UI - úvodná obrazovka. verzia 1.0.....	53
Obrázok 24: UI - nastavenie parametrov. verzia 1.0.....	54
Obrázok 25: UI - zobrazenie výsledkov. verzia 1.0.....	55
Obrázok 26: Výstup segmentácia obrazu.....	56
Obrázok 27: Výstup smerová mapa - veľkosť bloku 15, 31, 45	57
Obrázok 28: Výstup Gáborov filter.....	57
Obrázok 29: Výstup binarizácia obrazu.....	58
Obrázok 30: Výstup zužovanie papilárnych línii.....	58
Obrázok 31: Nájdené markanty - červené rozdvojenie, čierne ukončenie	62
Obrázok 32: Nájdené markanty - červené rozdvojenie, čierne ukončenie	63
Obrázok 33: Nájdený markant prekríženie	64
Obrázok 34: Nájdený markant prerušenie	65
Obrázok 35: Nájdený markant premostenie	65
Obrázok 36: Nájdené markanty pri nesprávnom trénovaní	66
Obrázok 37: UI - úvodná obrazovka verzia 1.0.....	V
Obrázok 38: UI - nastavenie nových parametrov verzia 1.0	VI
Obrázok 39: UI - detail nastavených parametrov verzia 1.0	VII
Obrázok 40: UI - zobrazenie výstupov procesu verzia 1.0	VIII

Tabuľka 1: Nastavené vstupné parametre pre test dĺžka predspracovania	59
Tabuľka 2: Čas spracovania závislosti od rozlíšenia obrazu	59
Tabuľka 3: Vstupné parametre pre trénovanie siete na základné markanty.....	60
Tabuľka 4: Vstupné parametre pre trénovanie siete na komplexné markanty.....	60
Tabuľka 5: Trénovanie siete na komplexné markanty	61

Zoznam skratiek a značiek

- NN [Neural network] - Neurónová sieť
- FANN [Fast Artificial Neural Network] – knižnica na prácu s neurónovými sieťami
- PPI [Pixels per inch] - Počet pixelov na palec
- NIST [National Institute of Standards and Technology] - Národný inštitút pre štandardy a technológie
- NCIC [National crime information center] – Národný informačné centrum zločinu
- UI [User interface] – používateľské rozhranie
- MLP [Multi Layer Perceptron] – viacvrstvová dopredná neurónová sieť
- GUI [Graphical User Interface] – grafické používateľské rozhranie

Úvod

Identifikácia osôb na základe daktyloskopických metód, je v dnešnom svete čím ďalej tým viac používaná. V súčasnosti je drvivá väčšina daktyloskopických biometrických systémov založená na porovnávaní špecifických tvarov papilárnych línii. Jedinečnosť odtlačkov prsta spočíva v rôznorodosti tvarov markantov. Rozpoznávanie komplexných tvarov v odtlačku je netriviálny problém. Vhodný nástroj na tento účel sa java neurónové siete. Navrhnutý systém obsahuje aj modul predspracovania odtlačkov prstov, ktorého účelom je odstránenie zdrojov degradácie štruktúry odtlačku.

Cieľom práce bolo navrhnúť sieťový systém na spracovanie odtlačkov a odhalenie vzorov papilárneho terénu odtlačku pomocou neurónových sietí. Neurónové siete majú využitie vo viacerých odvetviach a majú schopnosť rýchlo a efektívne identifikovať v odtlačkoch základné a komplexné tvary markantov. Práve kvôli týmto vlastnostiam sa java ako vhodný nástroj na efektívne rozpoznávanie markantov v daktyloskopických stopách.

Spracovanie odtlačkov prsta pomocou neurónových sietí dosahuje najlepšie výsledky spredspracovanými obrazmi odtlačkov prstov. Z týchto dôvodov v teoretickej časti si v krátkosti priblížime a vysvetlíme postup predspracovania. Vysvetlíme si základné pojmy a presný postup algoritmov na predspracovanie odtlačkov prsta.

V praktickej časti opíšeme návrh a implementáciu sieťového systému na spracovanie odtlačkov a následné efektívne rozpoznanie markantov v daktyloskopických stopách. Výstupom práce je vhodne implementovaný sieťový systém zo vzdialeným prístupom cez web rozhranie na spracovanie odtlačkov, ktoré v sebe zahŕňa proces predspracovania pre odstránenie chýb v odtlačkoch a neurónovú sieť. V práci uvádzame pracovný postup pri návrhu a implementácii jednotlivých krokov neurónovej siete ako je trénovanie, tvorba dát a samotné spustenie neurónovej siete na rozpoznanie markantov. V závere práce budú uvedené praktické výsledky.

1 Teoretické východiská práce

1.1 Biometria a biometrické systémy

V súčasnosti žijeme v pokročilej dobe, kde vlastníctvo informácií a údajov predstavuje mnohokrát určitú výhodu majiteľa. Kvôli tomu vzniká obava, že by chcel niekto k týmto údajom neoprávnene pristúpiť. Krádež dát z počítača môže mať katastrofálny dopad na existenciu firmy alebo jednotlivca. V dnešnej dobe prostredníctvom biometrie, dokážeme pristúpiť do určitých kancelárií, budov, trezorov alebo dokážeme ich pomocou pristúpiť k zariadeniam, serverom a údajom [1].

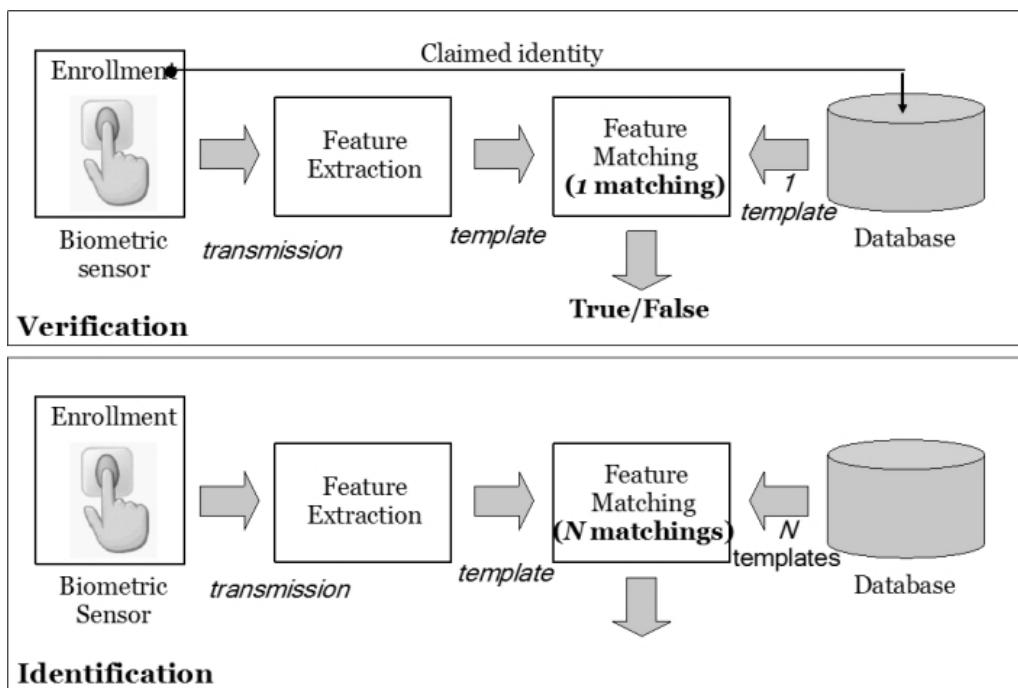
Biometriou sa označuje súbor metód určených na identifikáciu alebo verifikáciu osôb podľa jedinečných fyzických (fyziologických) znakov alebo zvykových (behaviorálnych) črt jedinca. Medzi biometrické systémy patrí identifikácia pomocou odtlačkov prstov – daktyloskópia [2].

Biometrické znaky môžeme rozdeliť na dve hlavné skupiny [3]:

1. Anatomicko-fyziologické biometrické znaky:
 - daktyloskopické odtlačky prstov, dlaní a nôh
 - tvár
 - ucho
 - pach tela
 - oko
 - DNA
 - Rozmer a hmotnosť ľudského tela
 - Topológia žíl
2. Behaviorálne biometrické znaky:
 - Ľudský hlas
 - Podpis
 - Písмо
 - Chôdza
 - Stopy zubov
 - Písanie na klávesnici

1.1.1 Charakteristika a výhody biometrických systémov

Biometria sa snaží kvalitatívne a kvantitatívne vyhodnocovať tieto atribúty, skúma ich vlastnosti a v podstate je zdrojom myšlienok, nápadov a techník ako, čo najefektívnejšie implementovať prostriedky na rozpoznávanie identity. Cieľmi biometrie sú predovšetkým zvýšenie užívateľského komfortu, zvýšenie bezpečnosti a väčšia efektivita rozpoznávania [4].



Obrázok 1: Blokové schémy verifikačných a identifikačných biometrických systémov [5]

Biometrické systémy je možné rozdeliť do 2 skupín (Obrázok 1) [2]:

- *Identifikačné systémy* - identifikovať človeka, ktorého identitu nepoznáme, podľa jeho neopakovateľných a nenapodobiteľných znakov. Takýto postup sa bežne využíva napr. v kriminalistike (identifikácia nájdenej mŕtvoly podľa fotografie, odtlačkov prstov, analýzou vzorky DNA a pod.)
- *Verifikačné systémy* - verifikovať, či človek je naozaj identický s osobou, za ktorú sa vydáva, napr. predložením identifikačného či cestovného dokladu

Výhodou biometrickej identifikácie osôb je [2]:

- **univerzálnosť** - biometrický prvok existuje u všetkých ľudí
- **jedinečnosť** - biometria je taký prvok, ktorý bezpečne a s úplnou istotou odlišuje jedného človeka od všetkých ostatných
- **stálosť** - každý človek si tento prvok zachováva prakticky po celý život
- **bezpečnosť** – biometrické črty osoby nie je možné preniesť na inú osobu ako je to v prípade ID karty, hesla alebo PIN
- **praktickosť** – nie je potrebné nosiť žiadnen identifikátor, pamätať si heslo alebo PIN

1.1.2 Využitie biometrického systému

Biometria využíva jedinečné a opakovateľne identifikovateľné vlastnosti človeka (odtlačok prsta, črty tváre, DNA, tvar očného pozadia). Jednotlivé biometrické znaky človeka sa prevedú elektronickej podoby a je s nimi možné narábať, ako s jedinečným kódom. Tieto údaje sú prenositeľné a overiteľné a je ich možné zakomponovať do identifikačných dokladov a pod. Základné biometrické údaje sa používali už skôr (výška, farba očí) napríklad v pasoch. Rozvoj informačných technológií umožnil sledovať aj oveľa zložitejšie štruktúry a tvary [1].

Biometrické systémy nájdú v súčasnej dobe uplatnenie v mnohých oblastiach týkajúcich sa bezpečnosti, či už ide o prístup do rôznych vyhradených priestorov, overenie identity pre prístup k informačným systémom alebo uzamykanie samotných zariadení proti neoprávnenému použitiu. Snímanými biometrickými prvkami môžu byť odtlačky prstov, snímky očnej sietnice, dúhovky, odtlačky dlaní, snímky cievneho riečiska dlane, záznamy hlasu, snímky tváre/hlavu a mnohé ďalšie. Najpoužívanejšimi sú práve odtlačky prstov, ktoré majú spomedzi biometrických črt dominantné postavenie, nielen kvôli tomu, že sú sledované a skúmané najdlhšie, čo sa týka história, ale hlavne pre ich jedinečnosť, anatomickú stálosť a v súčasnosti aj pomerne jednoduchý spôsob ich získavania [5].

Popis krokov činnosti biometrického systému [12]:

1. **Snímanie** – je prvá činnosť biometrického systému, ktorá digitalizuje snímaný objekt (pokožku, sietnicu oka, hlas) pomocou vstupného zariadenia – snímača.
2. **Počiatočné spracovanie dát** – spočíva v normalizácii, odstránení nežiadúcich artefaktov alebo eliminácii zdrojov poškodenia dát. V prípade obrazu odtlačku prstu sa vykonáva korekcia rotácie odtlačku alebo stenčenie čiar.
3. Z upravených dát sa v procese **extrakcie črt** vyberú len kritické časti, ktoré sa budú využívať na porovnávanie. Z týchto dát sa nedá jednoducho zrekonštruovať pôvodný zosnímaný obsah.
4. Vo fáze **finálneho spracovania** prejdú extrahované dátá procesom korekcie, ktorý tak pripraví dátá na klasifikáciu a porovnávanie.
5. V ďalšej fáze sa z príslušných údajov **vytvárajú vzory**, resp. používateľské modely pre účely budúceho porovnania identity a ukladajú sa do databázy. Zosnímané odtlačky prejdú cez fázu kontroly kvality a extrakciu črt. Z týchto črt sa následne vytvorí spomínaný vzor. Je dôležité aby bol úsporný a zároveň jedinečný.
6. **Fáza výpočtu prahovej hodnoty** môže byt chápana ako nastavenie určitej systémovej hranice, ktorú musí pravdepodobnosť zhody medzi dvomi biometrickými údajmi prekonať, aby bolo možné osobu rozpoznať.
7. **Porovnanie vzoru so zosnímanými údajmi** je jedným z najdôležitejších procesov systému. Jeho výsledkom je skóre určujúce pravdepodobnosť zhody. Aby sa redukoval čas potrebný na nájdenie príslušného vzoru v databáze, tak sa zavádzajú klasifikačné techniky, pomocou ktorých nemusíme prehľadať celú databázu, ale len jej časť.

1.2 Daktyloskopia

Daktyloskopia (z gr. daktylos – prst a skopeo – pozerať) je náuka o obrazcoch papilárnych línii na vnútornej strane článkov prstov (v širšom zmysle aj dlani) človeka. Tvary papilárnych línii, ich priebeh a smer sú u jednotlivých osôb veľmi odlišné [2].

Daktyloskopia je zatial najobjektívnejší a najhodnovernejší identifikačný prostriedok zisťovania totožnosti osôb a neznámych mŕtvol založený na vedeckých základoch.

Podstata daktyloskopie a jej identifikačný dôkazný význam tkvie v troch vedeckých, biologických a fyziologických princípoch [6]:

- **Individuálnosť** - Nie sú na svete dvaja jedinci, ktorí by mali rovnaké obrazce papilárnych línii
- **Nemennosť** - Obrazce papilárnych línii zostávajú po celý život rovnaké a nemenné
- **Neodstráiteľnosť** - Papilárne línie sú neodstráiteľné, pokial' nie je odstranená zárodočná vrstva kože

Podľa literatúry [7] v daktyloskopii poznáme 3 zákony:

1. Zákon o nemenlivosti obrazcov papilárnych línii:

V priebehu ľudského života sú papilárne línie viac menej nemenné. Nemenné zostávajú aj počas starnutia, pri ich raste, rozširovaní alebo pri ďalšom vývoji pokožky človeka. Tieto etapy v ľudskom živote neporušujú skladbu, postupnosť a vzdialenosť papilárnych línii

2. Zákon o neodstráiteľnosti papilárnych línii:

Papilárne línie sú neodstráiteľné, pokial' nie je odstranená alebo zničená zárodočná vrstva kože. Pokial' nie je odstranená zárodočná vrstva kože, papilárne línie sa vždy obnovia.

3. Zákon o jedinečnosti papilárnych línii:

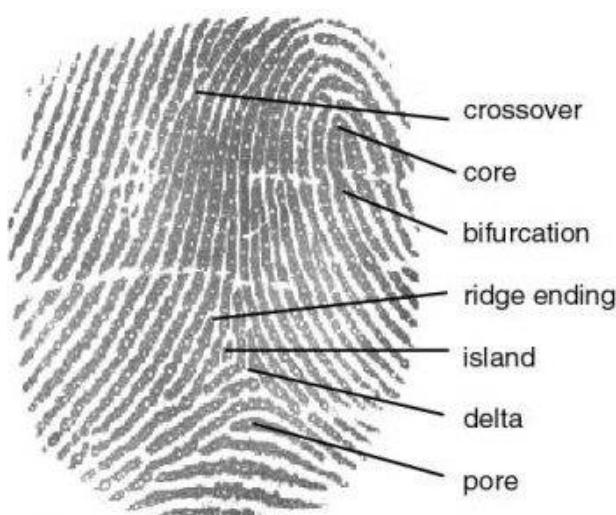
Hovorí, že na celom svete sa nenájdú dvaja ľudia, ktorí by mali zhodné obrazce papilárnych línii. Je to zaručené obrovským počtom markantov na jednom prste a to aj pri jednovaječných dvojčatách.

Pri identifikácii osoby sa v daktyloskopii používa postup porovnávania daktyloskopických znakov na dvoch objektoch, kde jeden objekt je známy a druhý je neznámy (hľadaný objekt je neznámy a porovnáva sa v databáze známych objektov). Prvým krokom k identifikácii osoby je preskúmanie odtlačku prsta znalcom, ktorý určí, či je odtlačok vhodný pre ďalšie skúmanie. Následne nato začne znalec podrobne skúmať odtlačok prsta a začne hľadať markanty. V poslednom kroku sa znalec rozhodne na základe kvality odtlačku, či je odtlačok zhodný s porovnávajúcim objektom alebo nie [3].

1.2.1 Využitie metódy daktyloskopie

Daktyloskopia, ako sme spomenuli je dnes veľmi dôležitá metóda overovania a získavania dôležitých a klúčových informácií v kriminalistike, v dokazovaní pravosti dokumentov, kultúrnych pamiatok, a najmä dokazovaní zločinu. Je azda najpresnejšou a najdôveryhodnejšou metódou, ako docieliť pravdu. Pre fakt, že podobné odtlačky prstov sa nájdu vo svete len naozaj veľmi ťažko, s každým kútikom, smerovaním, záťahom čiar, a s presnými vlastnosťami všetkých papilár, stále ide a ešte dlho pôjde o najpresnejšiu metódu. Význam a podstata daktyloskopie je uložená v troch hlavných bodoch [8].

1. Neopakovateľnosť a odlišnosť – pre každého jedinečné
2. Nepremenlivosť – ich podoba sa po celý život nemení
3. Neodstraniteľnosť – papilárne línie nie je možné odstrániť



Obrázok 2: Ilustračný obrázok odtlačku prsta

1.2.2 Rozpoznávanie odtlačkov

Odtlačky prstov, dlaní alebo nôh môžeme deliť do troch hlavných úrovní, ktoré idú od hrubých detailov po jemné detaily. Pri dobrej kvalite odtlačku môžu byť hrubé detaily odvodené od jemnejších detailov [9].

1. Úroveň detailov

Pri prvej úrovni sa zistujú väčšie detaily v odtlačku prsta, dlani alebo chodidla. Tento krok výrazne zrýchľuje proces identifikácie osoby, pretože redukuje počet potenciálnych osôb, ktorým môže daný odtlačok patriť. Na celom svete sa používa 5 základných vzorov odvodených od Henryho systému klasifikácie, ktoré sú začlenené v skratke NCIC [9].

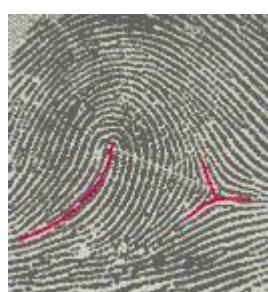
Pri klasifikácii jednotlivých odtlačkov sa dnes celosvetovo využívajú 4 základné vzory [6]:



Obrázok 3: markant 1. úrovne ARCH

ARCH (oblúk)

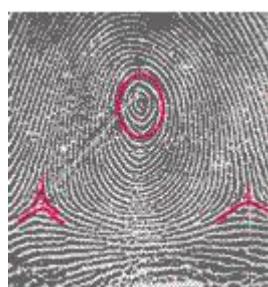
- papilárne línie tvoria jednoduché oblúky. Obrazec neobsahuje žiadne delty. Niektoré zdroje rozpoznajú aj zúžený oblúk.



Obrázok 4: Markant 1. úrovne RADIAL

RADIAL (ľavá slučka)

- papilárne línie tvoria slučku, ktorá vedie vľavo. Vpravo od stredu slučky sa nachádza delta. Medzi deltou a stredom musí byť najmenej jedna počítateľná – prebiehajúca línia



Obrázok 5: Markant 1. úrovne WHORL

WHORL (vŕt)

- papilárne línie tvoria kruhové, oválne, špirálové, dvojslučkové obrazce a obsahujú najmenej dve delty s najmenej jednou počítateľnou samostatnou líniou.



Obrázok 6: Markant 1. úrovne ULNAR

ULNAR (pravá slučka)

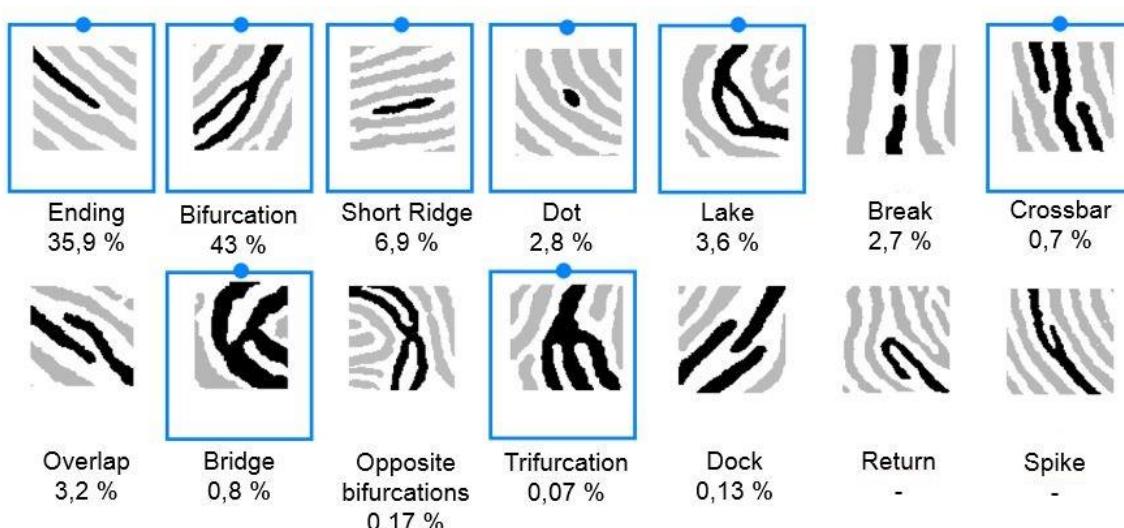
- papilárne línie tvoria slučku, ktorá vedie vpravo. Vľavo od stredu slučky sa nachádza delta. Medzi deltou a stredom musí byť najmenej jedna počítateľná – prebiehajúca línia.

2. Úroveň detailov

Vďaka prvej úrovni detailov môžeme vylúčiť určité typy odtlačkov na základe piatich základných vzorcov. Nemožno však vďaka nim identifikovať osobu, keďže tieto údaje nie sú dostačujúce pre identifikáciu osoby. Pri bližšom pohľade na odtlačok si môžeme všimnúť jemných detailov (markantov), ktoré nadobúdajú rôzne tvary. Tieto tvary jasne identifikujú svojho nositeľa, pretože majú stály tvar a nachádzajú sa na stálom mieste [4].

Na presné identifikovanie osoby je potrebné, aby sa tieto markanty zhodovali. Každý štát má iný minimálny počet markantov potrebných pre identifikáciu osoby. Niektoré štáty vyžadujú, aby odtlačok prešiel ešte skúseným okom znalca [10].

Slovenská republika má minimálny počet markantov potrebných na identifikáciu človeka stanovených na 10. Pri počte 7 – 9 zhodujúcich sa markantov sa nemôže človek identifikovať, ale môžu sa tieto odtlačky použiť pre vylúčenie iných odtlačkov [7].



Obrázok 7: Markanty 2. úrovne

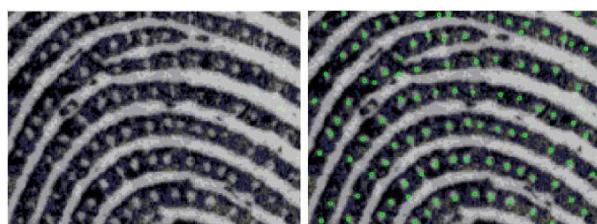
Na obrázku 7 vidieť rozdelenie markantov. Medzi základné vzory papilárnych línií patria:

- Vidlica - bifurcation
- Ukončenie – ending

Ostatné komplexnejšie markanty sú: izolovaný bod [dot], fragment [short ridge], jazero [lake], prerušenie [break], prekríženie [crossbar], prekrytie [overlap], premostenie [bridge], protiľahlé vidlice [opposite bifurcations], trifurkácia [trifurcation], ukotvenie [dock], otočenie [return] a hák [spike]. Všetky vzory papilárnych línii sú zobrazené na obrázku 7.

3. Úroveň detailov

Do tretej úrovne detailov zaraďujeme tie najmenšie detailly ako sú potné póry alebo jazvy. Niektoré štaty zahrňujú do identifikácie osoby aj úrovne tretej úrovne [10].



Obrázok 8: Markant 3. úrovne potné póry

1.3 Metódy predspracovania obrazu

Spracovanie odtlačkov prstov sa dá rozdeliť do dvoch hlavných fáz. Prvou je obrazové predspracovanie, ktoré slúži na lepšie vyhľadávanie markantov. Táto fáza nám vytvorí kvalitnejší odtlačok prsta, vďaka čomu môžeme lepšie lokalizovať markanty a následne ich extrahovať. Bez použitia predspracovania by sme neboli schopní nájsť hľadané markanty, pretože papilárne línie môžu byť poškodené napríklad reznou ranou, tlak prsta na snímač môže byť príliš veľký alebo príliš malý, vďaka čomu sa obraz nezosníma správne alebo senzor môže snímať v malom rozlíšení, čím nebudeme schopní rozlíšiť jemné detaily a mnoho ďalších dôvodov [10].

Predspracovanie odtlačku prsta tvoria metódy:

- Segmentácia daktyloskopického vzoru
- Vytvorenie smerovej mapy
- Gáborov filter
- Binarizácia
- Kostra odtlačku

1.3.1 Segmentácia obrazu

Segmentácia je proces oddelenia odtlačku prsta od nežiaduceho pozadia. Pozadie sa vyznačuje svetlejšou farbou, kde môžu byt zanechané častice prachu alebo rôzne nečistoty pri skenovaní. Tým pádom je v pozadí menšia intenzita striedania tmavších a bledších pixlov. Naopak pri popredí (samotnom odtlačku) je väčšie striedanie tmavších pixlov (vrcholy) a bledších pixlov (údolia). Vďaka tejto premenlivosti jednoducho rozlíšime pozadie od popredia [10].

Postup pri segmentácii [11]:

Obrázok sa rozdelí na štvorcové bloky zadanej dĺžky $W \times W$. Dĺžka bloku by mala zaberat' jeden prechod medzi papilárnou líniou a medzerou. Intenzita šedej farby sa počíta pre každý blok samostatne. Intenzitu si vypočítame podľa vzorca [11]:

$$V(k) = \frac{1}{W^2} \sum_{i=0}^{W-1} \sum_{j=0}^{W-1} (I(i,j) - M(k))^2 \quad (1)$$

- $V(k)$ je premenlivosť šedej farby pre blok k
- W je veľkosť hrany bloku
- $I(i, j)$ je úroveň intenzity farby v bode so súradnicami (i, j)
- $M(k)$ je priemerná hodnota intenzity šedej farby v bloku k

Následne sa vypočítaná intenzita šedej farby v danom bloku porovnáva s priemernou intenzitou šedej farby v danom bloku. Keď je vypočítaná intenzita väčšia, blok sa označí ako pozadie, keď je vypočítaná intenzita menšia, blok sa označí ako popredie [10].

1.3.2 Gáborov filter

Často sa stretneme s odtlačkom prsta, ktorý nie je v 100% kvalite. Koža môže byt príliš zošúchaná alebo inak mechanicky alebo chemicky poškodená. Tak isto sa môže stať, že pri snímaní odtlačku sa vyvíja nadmerný tlak, čím sa nám spájajú papilárne línie.

Pre opäťovné spojenie a zvýraznenie papilárnych línií sa používa Gáborov filter. Na zvýraznenie papilárnych línií sa počíta ich sínusoidu, vďaka ktorej je schopný doplniť aj poškodené časti [11].

Pre správny výpočet sínusoidy potrebuje Gáborov filter poznat' orientáciu papilárnych línií, ktorá sa vypočíta zo smerovej mapy odtlačku prsta.. Tá zaručí, že sínusoida bude mať správny smer a bude dopĺňať poškodené časti v správnom smere. Obrázok sa rozdelí na bloky $W \times W$, kde sa orientácia papilárnej línie vypočíta pre každý blok zvlášť.

Pre ešte lepšie zväčšenie kvality odtlačku prsta sa môže Gáborov filter doplniť o frekvenčnú mapu, ktorá hovorí, ako sa striedajú papilárne línie s medzeralami [11].

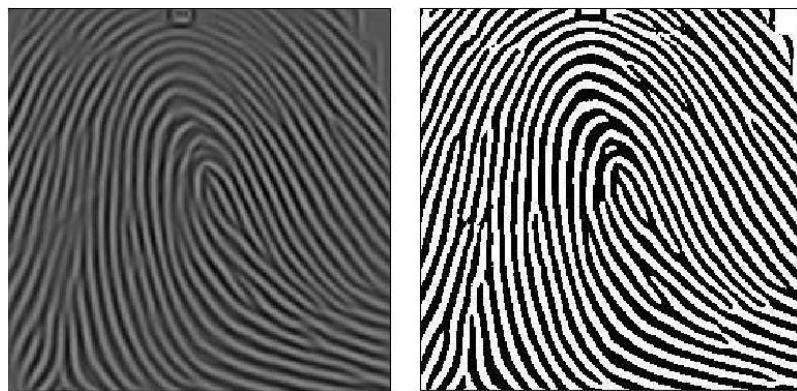
1.3.3 Smerová mapa

Smerová mapa (lokálna orientácia) predstavuje orientáciu papilárnej línie. Táto orientácie je daná uhlom $\theta_{i,j}$, ktorý zviera s dotyčnicou papilárnej línie s horizontálnou osou [5].

Smerová mapa patrí do detailov prvej úrovne, keďže sa zaobráva celkovou papilárnou líniou. Existuje viacero spôsobov pre výpočet smerovej mapy. V našej práci používame výpočet za pomoci gradientov [10].

1.3.4 Binarizácia

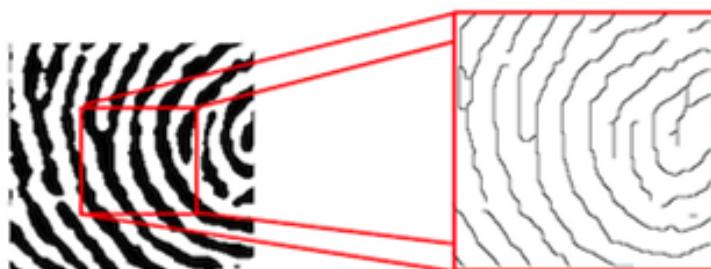
Pre správne extrahovanie markantov z odtlačku prsta potrebujeme zaručiť, aby mali obrazové body hodnotu 0 alebo 255 (čierny a biely). Výstup z Gáborovho filtra za použitia smerovej mapy nám dáva už zväčša čiernobiely výstup, ale na niektorých miestach sa ešte môžu vyskytnúť odtiene sivej farby. V odtlačku sa ponechajú pixely čiernej a bielej farby a pixlom, ktoré majú farby v odtieni šedej sa priradí buď čierna alebo biela farba. Poznáme dva druhy binarizácie a to adaptívna binarizácia a globálna binarizácia [12].



Obrázok 9: Binarizácia odtlačku prsta

1.3.5 Zužovanie hrúbky papilárnych líníí

Posledným krokom obrazového predspracovania je zúženie papilárnych líníí. Je to krok, kedy sa všetky papilárne línie zúžia na jedno-pixelovú dĺžku. Tento krok je potrebný pre správne fungovanie algoritmov určených na vyhľadávanie markantov. Zúžením papilárnych líníí nám môžu vzniknú falošné markanty. Taktiež sa menia súradnice markantov po aplikovaní zúženia. Pretože papilárne línie majú rôznu hrúbku, nemôžeme použiť algoritmus, ktorý nám tieto papilárne línie zúži naraz. Výsledkom by bola rôzna hrúbka papilárnych líníí. Zúženie sa aplikuje postupne, aby sme vždy dostali jedno-pixelovú hrúbku [6].



Obrázok 10: Zúženie papilárnych líníí [10]

1.4 Neurónové siete

Neurónová sieť je výpočtový model, zostavený na základe abstrakcie vlastností biologických nervových systémov. Základnou časťou neurónovej siete je model neurónu s N vstupmi a M výstupmi, ktorý spracúva informáciu podľa určitých pravidiel.

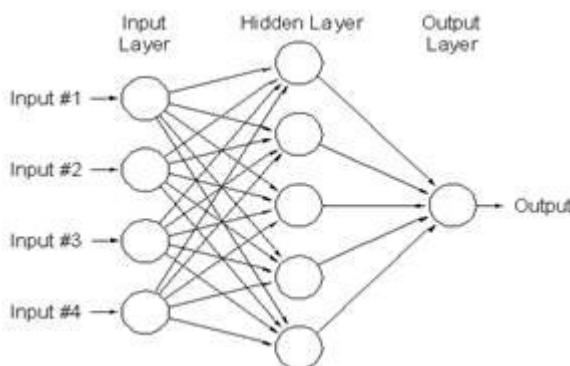
Rozdelenie podľa architektúry [12]:

- Perceptrón
- Viacvrstvová sieť
- Rekurentná sieť
- Hopfieldova sieť
- Kohonenova sieť
- Radial base

1.4.1 Typy neurónových sietí

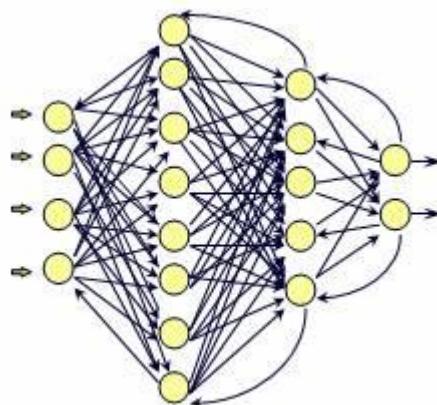
Poznáme viacero typov umelých neurónových sietí. Ich delenie je podľa pospájania neurónov synapsami [13].

Dopredná sieť sa vyznačuje tým, že neuróny sú pospájané od vstupu po výstup v jednom smere [13].



Obrázok 11: Dopredná sieť

Rekurentná siet' sa vyznačuje tým, že neuróny sú pospájané ako v doprednej siete, ale v tejto sú povolené aj prepojenia s predchádzajúcou vrstvou. Rekurentná siet' je komplexnejšia, ale je zložitejšia na matematický popis [13].



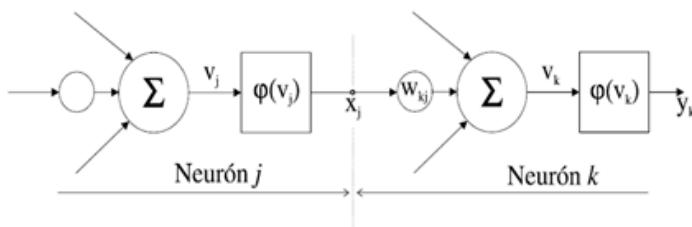
Obrázok 12: Rekurentná siet'

1.4.2 Vlastnosti neurónových sietí

Základnou vlastnosťou neurónových sietí je schopnosť abstrakcie pravidiel medzi vstupnými a výstupnými hodnotami prezentovanými vo vhodnej forme a následnou aplikáciou získaných pravidiel na akékoľvek vstupné hodnoty. Neurónové siete sa využívajú v regulačnej a simulačnej technike. Proces abstrakcie sa nazýva učenie, a môže prebiehať s učiteľom alebo bez učiteľa. Počas tohto procesu sa aktualizujú hodnoty váhových spojení. V literatúre je popísaných niekoľko učiacich algoritmov. Po ukončení učenia, sa už hodnoty váh nemenia a siet' produkuje výstupy podľa uvedeného pravidla aplikovaného na vstupné hodnoty [12].

1.4.3 Typy učenia neurónových sietí

Poznáme dva druhy učenia neurónových sietí. Prvou je učenie so spätnou väzbou. Vtedy sa neurónovej sieti nastavujú váhy tak, aby sa výstup rovnal výstupu. Druhým učením je učenie bez spätej väzby. Vtedy sa váhy nastavujú len pomocou vstupných údajov. Môžu sa nastavovať pomocou vopred matematicky vypočítaných hodnôt váh. Pri učení ale aj chode neurónovej siete treba dbať na to, aby hodnoty vstupov a výstupov neprekračovali maximálne hodnoty neurónu, lebo v takom prípade neurón zhorí [13].



Obrázok 13 Proces učenia

Matematický predpis úpravy jednotlivých váh v krokoch:

$$w_{kj}(n + 1) = w_{kj}(n) + \Delta w_{kj}(n) \quad (2)$$

$w_{kj}(n)$ – hodnota neurónu kj v čase n

$\Delta w_{kj}(n)$ – úprava váhy

Učenie korigujúce chybu je definované týmito vzorcami:

$$e_k(n) = d_k(n) - \Delta y_k(n) \quad (3)$$

$$J = E \left[1/2 \sum e_k^2(n) \right] \quad (4)$$

$$\varepsilon(n) = \frac{1}{2} \sum e_k^2(n) \quad (5)$$

$$w_{kj}(n) = \eta e_k(n) x_j(n) \quad (6)$$

$e_k(n)$ – chybový signál

J – stredná kvadratická chyba

$\varepsilon(n)$ – suma kvadratických chýb

$w_{kj}(n)$ – hodnota neurónu v čase n

Pri učení s učiteľom sú sieti poskytované správne odpovede, aby vedela podľa toho korigovať svoje parametre. Známkovane učenie ohodnocuje výstupy a podľa týchto ohodnotení si sieť koriguje parametre. Pri samoorganizácii sa sieť modifikuje sama reakciou na vstupné dátá bez akéhokoľvek učiteľa [14].

Pri vytváraní neurónovej siete nie je možné podľa nejakého predpisu presne určiť optimálne množstvo neurónov. Hľadanie tohto optimálneho počtu preto prebieha formou viacnásobného testovania neurónovej siete s rôznym počtom neurónov [14].

1.4.4 Využitie neurónových sietí

Podľa literatúry [12] uvádzame tieto možnosti využitia neurónových sietí:

- **Rozpoznanie vzoriek** – obrázkov (fotky, odtlačky, zreničky, atď...), písma.
- **Univerzálny systémový invertor** – dokážu nájsť $F(x)-1$ pre $F(x)$ aj v takých prípadoch, kedy sa to matematicky nedá realizovať.
- **Univerzálny systémový approximátor** – vie napodobniť správanie každého systému ako fyzikálneho tak i masové správanie sa trhu.
- **Umelá inteligencia** - podporuje rozhodovanie, rozpoznanie signálov, v tomto prípade sa kombinuje s klasickými počítačovými algoritmami.

1.4.5 Výhody neurónových sietí

Podľa literatúry [12] neurónové siete majú tieto výhody:

- Paralelné spracovanie informácií, umožňujúce pri vhodnom hardvéri rozdeliť výpočet na niekoľko súbežných procesov .
- Nevyžaduje informáciu o štruktúre procesu, na ktorý je aplikovaná .
- Možnosť adaptácie na zmenu parametrov, pokiaľ sa aplikuje aj s učiacim algoritmom .
- Sú vhodné pre úlohy identifikácie, approximácie, klasifikácie a triedenia vzorov.
- Siete sú rýchle ak sa implementujú bez učiaceho algoritmu.
- Umožňuje abstrahovať riadiace pravidlá iného regulátora (napr. človeka, alebo regulátora s dlhými výpočtovými časmi) a nahradíť ich.
- Poskytujú redukciu rozmeru dát do menej rozmerného priestoru.
- Sú univerzálnym approximátorom, schopným approximovať akúkoľvek spojité funkciu s ľubovoľnou presnosťou.

1.4.6 Použitie neurónových sietí v oblasti biometrie

Odtlačok prsta predstavuje komplexný obrazový vzor obsahujúci množstvo lokálnych charakteristických znakov (markantov). Globálne vzory sú ľahko rozpoznateľné aj pri nižšej kvalite snímku, čo však neplatí pre lokálne znaky, pre ktoré s klesajúcou kvalitou obrazu stúpa náročnosť ich detekcie. Ďalšou prekážkou v úspešnom a spoľahlivom rozpoznaní odtlačkov je jedinečnosť a drobné rozdiely v obrazoch odtlačkov spôsobené procesom snímania. Odtlačky jedného prsta sa preto automatizovanému systému nemusia javiť ako totožné [14].

Neurónové siete sú vďaka princípu fungovania silným nástrojom na rozpoznávanie komplikovaných vzorov, a preto sa používajú v biometrii na riešenie vyššie spomínaných problémov. Vďaka schopnosti tolerovať odchýlky do istej miery sú ideálnym nástrojom na klasifikáciu [14].

2 Návrh riešenia

Cieľom práce je navrhnúť systém, ktorý bude slúžiť ako pomôcka na rozpoznávanie markantov pomocou neurónových sietí. V práci sa zameriame na konkrétny postup predspracovania odtlačkov prsta na ktoré sa následne aplikuje natrénovaná neurónová sieť pre rozpoznávanie markantov.

2.1 Požiadavky a opis aplikácie

Cieľom práce je vytvoriť automatizovaný sietový systém na efektívne rozpoznávanie markantov v daktyloskopických stopách metódou neurónové siete. Na základe teoretických poznatkov navrhnutý systém musí umožniť uloženie, stiahnutie a vymazanie obrázkov odtlačkov prsta. Systém rovnako musí umožniť používateľovi nastavenie, uloženie a vymazanie vstupných parametrov.

Systém pre prácu s neurónovými sietami potrebuje natrénované siete a preto musí systém byť schopný spustiť trénovanie siete. Používateľ po nastavení vstupných parametrov bude mať možnosť spustiť trénovanie siete. Trénovanie nie je povinné.

Neurónové siete na rozpoznávanie markantov potrebujú ako vstup kostru odtlačku prsta a preto navrhnutý systém musí umožniť vykonať obrazové predspracovanie odtlačkov prsta. Na predspracovanie sme podľa teoretických poznatkov navrhli postup, ktorého výstupom bude kostra odtlačku prsta pre neurónovú sieť.

Dosiahnuté výsledky je potrebné ukladať a prezentovať používateľovi s možnosťou tieto výsledky stiahnuť. Navrhnutý systém ponúkne používateľovi prehľadné zobrazenie procesov s možnosťou zobrazit všetky výsledky procesov.

Na základe popísaných požiadaviek bude navrhnutý systém rozdelený na časti:

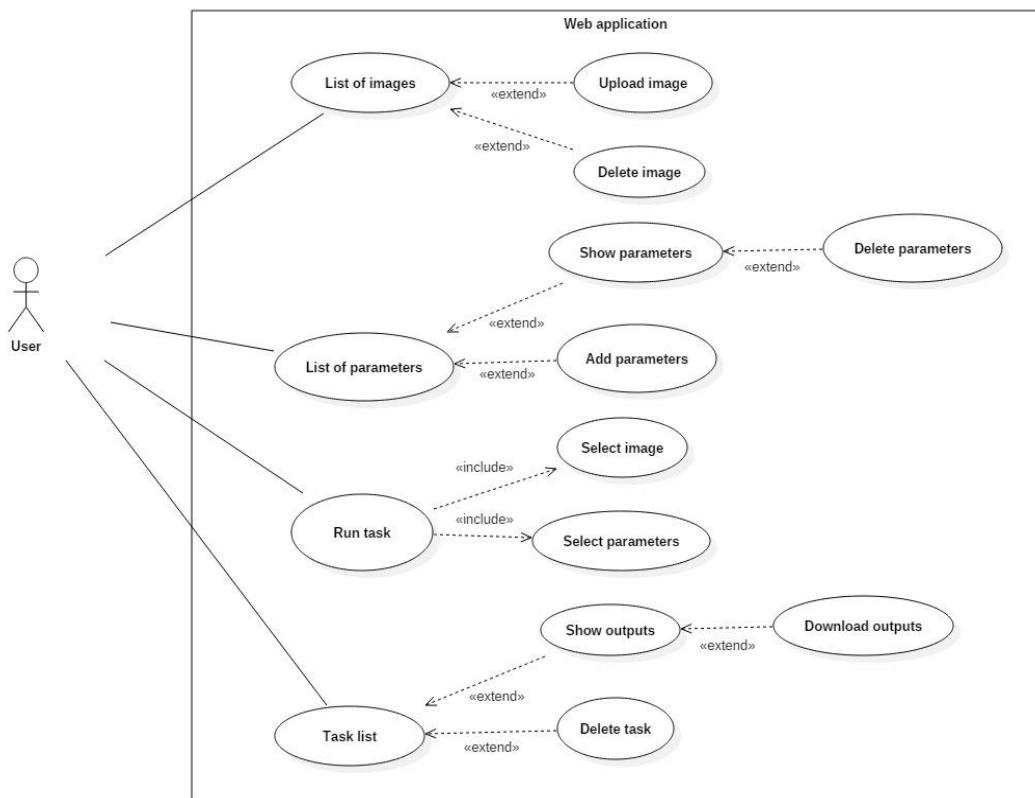
- Uloženie vstupných obrázkov a nastavenie vstupných parametrov
- Spustenie algoritmov na predspracovanie obrazu odtlačkov prsta
- Trénovanie neurónovej siete na databáze odtlačkov prsta
- Spustenie neurónovej siete na rozpoznávanie markantov
- Zobrazenie výstupov

2.2 Use case diagram systému

V tejto časti si stručne opíšeme fungovanie systému, výsledkom čoho bude use case diagram.

Po príchode na stránku používateľ bude mať možnosť uložiť do systému obrázky odtlačkov prsta v ktorom chce identifikovať markanty. Ďalej bude mať možnosť nastaviť vstupné parametre pre predspracovanie obrazov odtlačkov prsta a vstupné parametre pre trénovanie neurónovej siete. Po uložení obrázka a nastavení parametrov bude mať možnosť vybrať obrázok a nastavené parametre pre proces rozpoznávania. Po výbere obrázka a parametrov si používateľ môže zvoliť trénovanie neurónovej siete. Po dokončení procesu systém poskytne možnosť zobraziť výstupy s možnosťou tieto výstupy stiahnuť.

Na základe opisu aplikácie môžeme navrhnúť use case diagram.



Obrázok 14: Use case diagram systému

Jediný aktér aplikácie je samotný používateľ, ďalším aktérom bude administrátor, ktorý má administrátorské práva. Administrátorskú časť za nás bude riešiť nás samotný webový framework a preto sa s administrátorskou časťou nebudeme ďalej zaoberať.

2.3 Activity diagram systému

Diagram aktivít nám poskytne workflow celého systému od ktorej sa budeme pri implementácii odrážať. Workflow systému si môžeme rozdeliť do 3 častí:

1. Používateľská časť systému
2. Spracovanie vstupných a výstupných dát
3. Detekčná časť aplikácie

2.3.1 Používateľská časť

Používateľská časť slúži na nastavenie parametrov a uloženie obrázkov. Do používateľskej časti patrí aj zobrazenie a stiahnutie výstupov. Workflow používateľskej časti sa skladá z 4 častí:

1. Uloženie a výber obrázka
2. Nastavenie a výber vstupných parametrov
3. Potvrdenie a spustenie procesu predspracovania a extrakcie
4. Zobrazenie a stiahnutie výsledkov

2.3.2 Spracovanie vstupných a výstupných dát

Používateľom zadané dátá je potrebné spracovať, analyzovať a uložiť výsledky.

Proces spracovania vstupných dát sa skladá z 4 častí:

1. Uloženie vstupných obrázkov
2. Nastavenie a uloženie parametrov
3. Spustenie procesu spracovania odtlačku prsta
4. Spracovanie a uloženie výstupov

2.3.3 Detekčná časť

Táto časť systému vykonáva obrazové predspracovanie odtlačkov prsta a rozpoznávanie markantov pomocou neurónovej siete. Keďže proces môže byť časovo náročný, musí sa táto časť vykonávať asynchronne. Detekčná časť sa skladá z 3 častí:

1. Predspracovanie obrazu odtlačkov prsta
2. Trénovanie neurónovej siete
3. Extrakcia markantov pomocou neurónovej siete

Predspracovanie odtlačkov prsta

Pre rozpoznávanie markantov pomocou neurónovej siete je potrebné nekvalitné a neupravené obrázky odtlačkov prsta pomocou obrazového predspracovania upraviť. V praxi sa stretávame s odtlačkami prstov, ktorých kvalita je nevyhovujúca pre hľadanie markantov. Na základe týchto skutočností systém pri spustení spracovania skontroluje kvalitu nahratého obrázka, ktorý musí mať zúžené papilárne línie veľkosti 1 pixla a hodnoty všetkých pixlov musí byť 0 alebo 255 (čierna alebo biela). Ak obrázok nespĺňa tieto podmienky, tak sa spustia algoritmy na obrazové predspracovanie odtlačkov prsta. Preto sme integrovali osvedčené techniky a postupy, ktoré sú často využívané v biometrických systémoch. Teoretické východiská pre implementáciu boli formulované v časti 1.3.

Navrhnuté kroky obrazového predspracovania:

1. Segmentácia obrazu
2. Vytvorenie smerovej mapy
3. Gáborov filter
4. Binarizácia
5. Zúženie papilárnych líní

Trénovanie neurónovej siete

Po obrazovom predspracovaní je podľa voľby používateľa spustené trénovanie neurónovej siete. Trénovanie siete nie je povinné vykonať pre správny beh aplikácie.

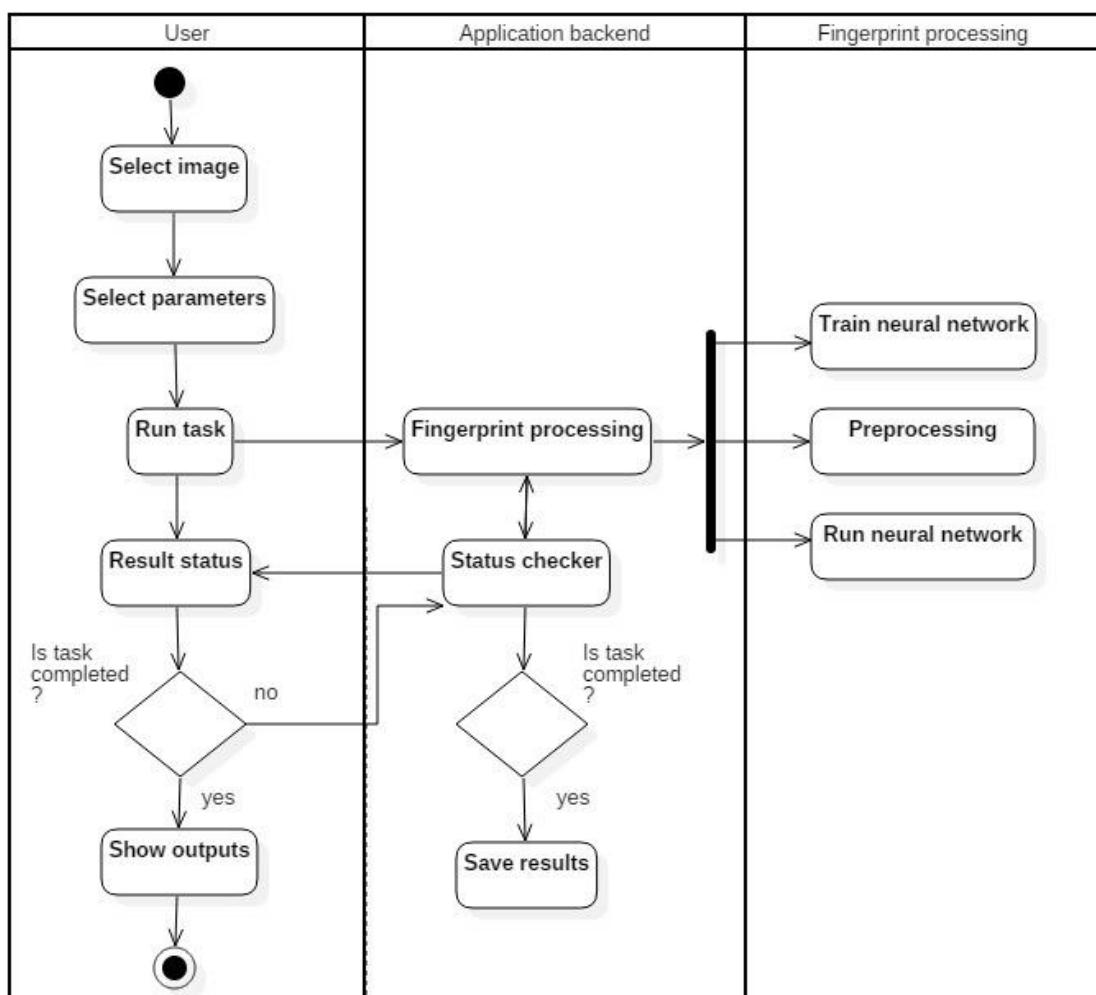
Trénovanie neurónovej siete prebieha na databáze, ktorá je tvorená množinou obrazov. Tieto obrazy obsahujú zvolený typ markantu v rôznych jeho tvarových variáciách a orientáciách. Dáta sa postupne načítavajú a prevádzajú do formátu, s ktorým dokáže neurónová sieť pracovať. Po skončení procesu je natrénovaná sieť uložená vo forme konfiguračného súboru na pevný disk.

Extrakcia markantov pomocou neurónovej siete

Po obrazovom predspracovaní a natrénovaní siete sa spustí proces extrakcie neurónovou sieťou. Táto fáza systému predstavuje jadro celej práce a na svoju činnosť využíva výstupy predchádzajúcich dvoch častí. Vstupom teda pre neurónovú sieť bude predspracovaný obrázok odtlačku prsta (kostra odtlačku prsta) a natrénovaná sieť.

V prvej fáze sa načítajú natrénované siete pre základné a komplexné markanty. V druhej fáze sa pomocou neurónovej siete identifikujú a označujú markanty v odtlačkoch prsta. Výstupom procesu bude obrázok odtlačku prsta v ktorom budú farebne vyznačené odhalené markanty.

Na základe tejto analýzy sme si navrhli diagram aktivít.



Obrázok 15: Activity diagram systému

2.4 Návrh dátového modelu systému

V tejto fáze navrhнемe dátový model systému. Pomocou diagramu aktivít určíme vstupy a výstupy systému, ktoré nám pomôžu s návrhom dátového modelu.

2.4.1 Vstupy aplikácie

Náš systém pracuje s obrázkami odtlačkov prsta a preto systém musí umožniť uložiť a spracovať obrázky, čiže obrázok nám predstavuje prvý vstup do procesu spracovania. Systém pracuje s viacerými formátmami obrázku a preto je potrebné definovať vstup ako dokument.

Ďalším vstupom do systému budú parametre pre rôzne časti spracovania. Pre trénovanie a predspracovanie obrazu ta je potrebné vhodne nastaviť a definovať vstupné parametre.

Po analýze vstupných parametrov môžeme definovať vstupy aplikácie, pre ktoré navrhнемe dátový model:

1. Vstupný obrázok (dokument)
2. Vstupné parametre

2.4.2 Výstupy aplikácie

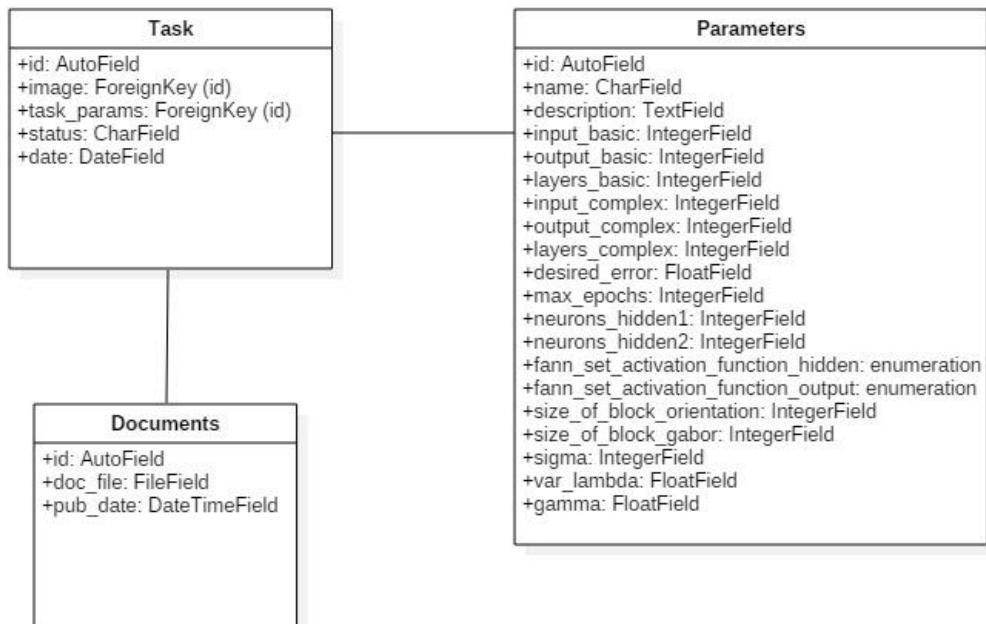
Pre každý spracovaný obrázok budeme uchovávať výsledok spracovania a to osobitne pre každý proces. Navyše budeme potrebovať uchovávať informácie o spracovaní, ktoré priamo nepatria do výstupov, ale pre podrobnejšie informácie o spracovaní odtlačkov prsta je vhodné ich poskytnúť používateľovi.

Po tejto analýze môžeme definovať výstupy aplikácie:

1. Výstupný obrázok
2. Výstupné súbory spracovania

2.4.3 Dátový model systému

Na základe analýzy v predchádzajúcich častiach sme navrhli nasledujúci dátový model.



Obrázok 16: Dátový model systému

Ako vidieť na obrázku 16 dátový model je pomerne jednoduchý a skladá sa z 3 tabuľiek. V ďalšej fáze si opíšeme jednotlivé tabuľky.

Task – táto tabuľka bude uchovávať informácie o spustených a dokončených procesoch. Každý proces [task] bude mať *id* (id úlohy asynchronného procesu), priradený obrázok z tabuľky *Documents* a parametre z tabuľky *Parameters*. Pole *status* bude uchovávať stav procesu, ktorý sa pri spustení nastaví na *RUNNING* a po skončení sa zmení na *COMPLETED*. Takýmto spôsobom aplikácia informuje používateľa o stave procesu.

Documents – táto tabuľky slúži na uchovávanie obrázkov, ktoré bude aplikácia spracovať. Tabuľka bude obsahovať obrázok a dátum uloženia.

Parameters – táto tabuľka slúži na ukladanie parametrov pre predspracovanie obrazu a pre trénovanie neurónovej siete. V tabuľke sa uchovávajú hodnoty, ktoré sú povinné pre správne fungovanie aplikácie.

Vysvetlenie parametrov v tabuľke:

1. *id* – poradové číslo nastavených parametrov (auto inkrement)
2. *name* – názov nastavených parametrov
3. *description* – popis nastavených parametrov
4. *input_basic* – počet vstupných neurónov pre NN na základné markanty
5. *output_basic* - počet výstupných neurónov pre NN na základné markanty
6. *layers_basic* – počet vrstiev neurónovej siete pre NN na základné markanty
7. *input_complex* – počet vstupných neurónov pre NN na komplexné markanty
8. *output_complex* - počet výstupných neurónov pre NN na komplexné markanty
9. *layers_complex* - počet vrstiev neurónovej siete pre NN na komplexné markanty
10. *desired_error* – definovanie chyby pri trénovaní NN
11. *max_epochs* – maximálny počet epochov
12. *neurons_hidden1* – počet neurónov v skrytej vrstve pre NN na základné markanty
13. *neurons_hidden2* - počet neurónov v skrytej vrstve pre NN na základné markanty
14. *fann_set_activation_function_hidden* – enumerácia pre nastavenie aktivačnej funkcie skrytej vrstvy
15. *fann_set_activation_function_output* - enumerácia pre nastavenie aktivačnej funkcie výstupnej vrstvy
16. *size_of_block_orientation* – veľkosť filtrovaného bloku pre smerovú mapu v procese predspracovania
17. *size_of_block_gabor* - veľkosť filtrovaného bloku pre Gáborov filter v procese predspracovania
18. *sigma* – odchýlka Gaussovej krivky
19. *var_lambda* – frekvencia papilárnych líníí
20. *gamma* – pomer strán

2.5 Použité softvérové riešenie

Na základe analýzy v predchádzajúcich častiach sme navrhli sieťový systém na rozpoznávanie markantov v daktyloskopických stopách pomocou neurónovej siete, čiže systém bude implementovaná ako webová aplikácia. Hlavnou výhodou riešenia formou webovej aplikácie je fakt, že nám odpadáva nutnosť softvér inštalovať, čím sa zvyšuje jeho dostupnosť a použiteľnosť.

Back-end (obslužná časť) systému, čiže samotný proces predspracovania obrazu, trénovanie NN a rozpoznávanie markantov s neurónovými sietami sme naimplementovali v programovacom jazyku C++. Pre prácu s obrázkami v systéme sme použili knižnicu *OpenCV* a pre prácu s umelými neurónovými sietami sme použili knižnicu *FANN*.

Webovú aplikáciu sme naimplementovali v programovacom jazyku Python s použitím webového frameworku *Django*. Systém dáta číta a zapisuje do relačnej súborovej databázy *SQLite3*. Pre front-end (prezentačná časť) systému sme použili jazyk HTML a responzívny CSS framework *Bootstrap*. Systém bude pracovať pod operačným systémom linux.

2.6 Používateľské rozhranie

V tejto časti navrhнем používateľské rozhranie, ktoré musí byť pre používateľa intuitívne a ľahko ovládateľné. V rámci systému do používateľského rozhrania je potrebné navrhnúť 2 časti:

1. Nastavenie vstupných dát
2. Zobrazenie výstupov

2.6.1 Nastavenie vstupných dát

Táto časť slúži používateľovi na nastavenie vstupných dát. Systém má používateľovi poskytnúť možnosť uložiť a vybrať obrázok s ktorým bude pracovať a rovnako má poskytnúť možnosť nastaviť vstupné parametre pre procesy spracovania. Všetky tieto nastavené a uložené vstupné dátá je potrebné sprístupniť na spravovanie používateľovi.

Na základe predchádzajúcej analýzy sme si navrhli používateľské rozhranie na nastavenie vstupných dát.

Fingerprint processing

Open source network system for effective recognition of minutiae in fingerprints – with method neural network

Upload image

Select image file:
 Choose File

List of images:

fingerprint1.jpg
 fingerprint2.jpg

Parameters:

parameters1
 parameters2

Train Neural network - create and save new netfiles fo FANN

Select image for delete:

Task list

Task ID	Image	State	Algorithm parameters	Date	Action
1	image1.jpg	RUNNING	parameters1	May 11,2016	<input type="button" value="Detail"/> <input type="button" value="Delete"/>
2	image2.jpg	COMPLETED	parameters2	May 11,2016	<input type="button" value="Detail"/> <input type="button" value="Delete"/>

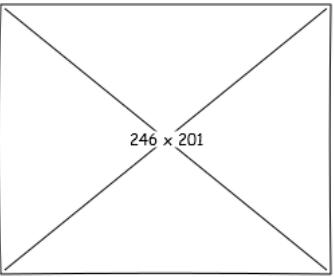
Obrázok 17: UI – Nastavenie vstupných dát

2.6.2 Zobrazenie výstupov

Táto časť rozhrania poskytne používateľovi detailný prehľad výstupov s možnosťou tieto výstupy stiahnuť na pevný disk. Navrhli sme používateľské rozhranie na zobrazenie všetkých výstupov procesu spolu so vstupnými dátami.

Task details - output

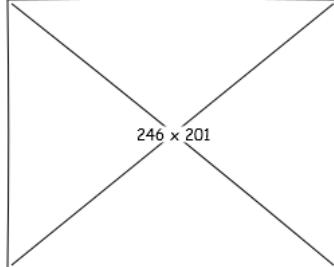
Task ID: 1
Status: COMPLETED
May 11, 2016

Input:
Input image:


Parameters for NN:

- Number of inputs basic NN: 9
- Number of outputs basic NN: 2
- Number of layers basic NN: 3
- Number of inputs complex NN: 2601
- Number of outputs complex NN: 3
- Number of layers complex NN: 3
- Number of hidden neurons for basic NN: 15
- Number of hidden neurons for complex NN: 3500
- Desired error: 0,00001
- Max number of epochs: 5000
- Activation function hidden: FANN_SIGMOID
- Activation function output: FANN_SIGMOID

Outputs:


Previous Next

Output log:
Output log

Download basic netfile
Download complex netfile
Download all outputs

Obrázok 18: UI - Zobrazenie výstupov

3 Implementácia

V predchádzajúcej časti sme si pripravili kompletný návrh systému a v tejto časti nasleduje implementácia systému.

Ako bolo popísané v časti návrhu obslužná časť (back-end) systému bola implementovaná v programovacom jazyku C++ a prezentačná časť (front-end) v programovacom jazyku Python s použitím webového frameworku *Django*. V rámci implementácie a testovania bola aplikácia rozbehnutá na jednom serveri s operačným systémom Ubuntu 12.04 (32-bit).

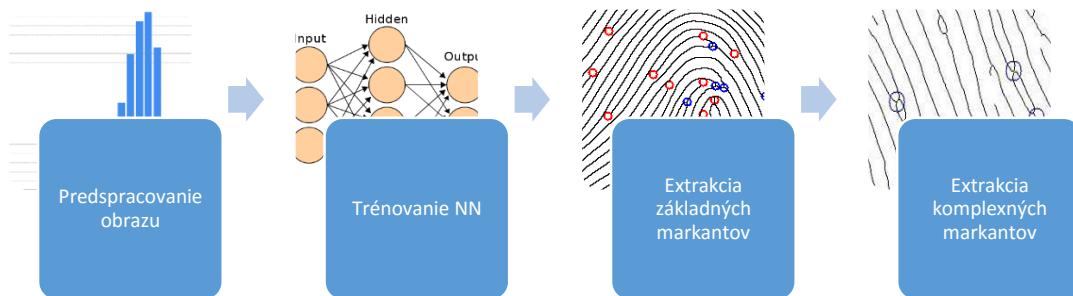
3.1 Back-end

Pre back-end (obslužná časť) bolo potrebné nainštalovať knižnice na prácu z obrázkami a s neurónovými sieťami. Na prácu z obrázkami bola zvolená knižnica *OpenCV 2.4.9* a na prácu s neurónovými sieťami knižnica *FANN 2.2.0*. Postup inštalácie a nastavenie bude popísaný v technickej dokumentácii.

Táto časť aplikácie vykonáva všetky hlavné procesy. Z dôvodu, že celý proces rozpoznávania markantov trvá niekoľko minút sme vyvinuli systém, ktorý dokáže vykonávať procesy paralelne v asynchronnom režime. Po spustení nového procesu sa vytvorí *Task* a spustí sa rozpoznávanie markantov. O skončení procesu je používateľ informovaný zmenou stavu procesu z *RUNNING* na *COMPLETED*.

Podľa návrhu sme implementovali back-end, ktorý sa skladá z 4 hlavných častí:

1. Obrazové predspracovanie
2. Trénovanie neurónovej siete
3. Extrakcia základných markantov
4. Extrakcia komplexných markantov



Obrázok 19: Proces spracovania odtlačku prsta

3.1.1 Obrazové predspracovanie

Dôležitou časťou systému je predspracovanie obrazu, ktorá slúži na prípravu odtlačku prsta pre extrakciu pomocou natrénovanej neurónovej siete.

Pred začatím procesu predspracovania bola implementovaná kontrola nahratého obrázka. V prípade výberu upraveného obrázka systém obrazové predspracovania vynechá a pokračuje s neurónovými sieťami. Pre tento prípad musí byť vybraný obrázok odtlačku prsta, ktorý má hodnoty pixlov 0 alebo 255 (biele alebo čierne) a súčasne má zúžené papilárne línie na hrúbku 1 pixla (kostra odtlačku prstá).

Proces predspracovania obrazu prebieha na neupravenej obrázke a skladá sa z 5 krokov:

1. Segmentácia obrazu
2. Smerová mapa
3. Gáborov filter
4. Binarizácia
5. Zužovanie hrúbky papilárnych línii

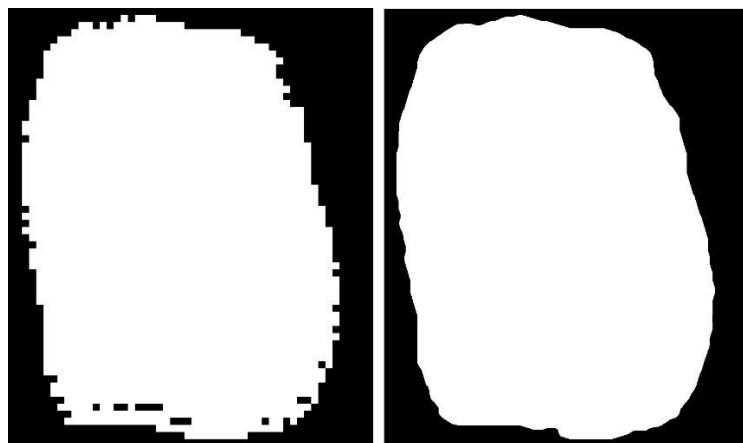
Segmentácia obrazu

Segmentácia obrazu slúži na oddelenie odtlačku prsta od nežiaduceho pozadia. V segmentácii sme si určili rozlíšenie nahratého obrázka, ktoré je potrebné pre správne určenie veľkosti bloku. Jeden blok nám zachytáva prechod medzi papilárnou líniou a medzerou. Veľkosť bloku pre segmentáciu sme si vypočítali pomocou vzorca *šírka obrázka / 50*. Tento vzorec sme si odvodili z teoretických poznatkov.

Po určení veľkosti bloku sme si vypočítali pre každý blok priemernú intenzitu šedej farby. Ďalej sme si vypočítali pre každý blok premenlivosť šedej farby podľa vzorca (1), ktorá bola popísaná v časti 1.3.1. Po výpočtoch sme porovnávali premenlivosť šedej farby s intenzitou šedej farby v danom bloku. Ak hodnota premenlivosti šedej farby bola menšia ako priemerná hodnota šedej farby, tak sme priradili blok k poprediu.

Po segmentácii obrazu sme získali masku odtlačku prsta. Táto maska obsahuje chyby, ktoré boli spôsobené v poškodených častiach odtlačku prsta, čiže časti kde sú poškodené papilárne línie algoritmus priradil k pozadiu. Pre odstránenie týchto chýb sme aplikovali *Wienerov filter*, ktorá aplikuje filter na získanú masku. Tento filter slúži na odstránenie šumu z obrázka.

Znázornenie rozdielu masky pred a po aplikovaní *Wienerovho filtra*:



Obrázok 20: Výsledok segmentácie - vľavo bez filtrovania, vpravo po aplikovaní filtrovania

Smerová mapa

Dôležitá časť predspracovania obrazu je vytvorenie smerovej mapy odtlačku prsta, ktorá slúži ako vstup do Gáborovho filtra. Funkcia vypočítava lokálne smery papilárnych línii a priemeruje ich pomocou Gaussovho filtra. Vytvorí sa smerová mapa odtlačku prsta.

Veľkosť bloku pre vytvorenie smerovej mapy je jeden zo vstupných parametrov aplikácie, ktorý určí používateľ. Tieto vstupné hodnoty pre veľkosť bloku musia byť nepárne čísla.

Pre orientáciu sme si vypočítali gradienty, ktoré sú kolmé vektory na papilárne línie. Gradienty sme si vypočítali na osi x a y pomocou funkcie *Sobel()*. Po výpočtoch dostávame maticu, do ktorej sa uložili smery blokov. Orientácia je v uzavretom intervale 0 až π .

Gáborov filter

Najdôležitejšia časť obrazového predspracovania je aplikovanie Gáborovho filtra na obrázok odtlačku prsta, ktorý nám oddelí papilárne línie od pozadia a doplní poškodené časti.

Pre Gáborov filter je potrebné si určiť veľkosť bloku, ktorý zadáva ako vstupný parameter používateľ systému. Táto hodnota by mala byť nepárna. V týchto blokoch sa budú brať hodnoty pixlov pre výpočet konkrétneho pixlu. Ďalej nám táto hodnota určovala veľkosť bloku potrebného pre funkcie *getGaborKernel()*.

Po vypočítaní základných parametrov sme začali prechádzať obrázok pixel po pixli. Pre každý pixel sme si vytvorili blok, kde daný pixel bol v strede bloku. V tomto bloku sme si za pomoci metódy *getGaborKernel()* vypočítali hodnoty jadra Gáborovho filtra a následne sme za pomoci konvolúcie vypočítali hodnotu pre konkrétny pixel. Konvolúcia prebiehala tak, že sme násobili výstupný blok z Gáborovho filtra s blokom odtlačku prsta a tieto hodnoty sme spočítavali. Výsledná hodnota určovala intenzitu pixla [10].

Binarizácia

Po aplikovaní Gáborovho filtra dostávame obrázok odtlačku prsta takmer v čiernobielom prevedení. Binarizácia pridelí jednotlivým pixlom hodnotu 0 alebo 255 a tým zaručí, že výsledný odtlačok bude v čiernobielom prevedení.

Na binarizáciu obrázka sme použili metódu *threshold()*. Používa sa Globálna binarizácia obrázka, ktorý má vstupné parametre na určenie bielej a čiernej farby. V prípade pixla s hodnotou menšou ako zadaný parameter funkcia priradí hodnotu 0 a pixlom väčšie ako vstupný parameter priradí hodnotu 255.

Zužovanie hrúbky papilárnych línii

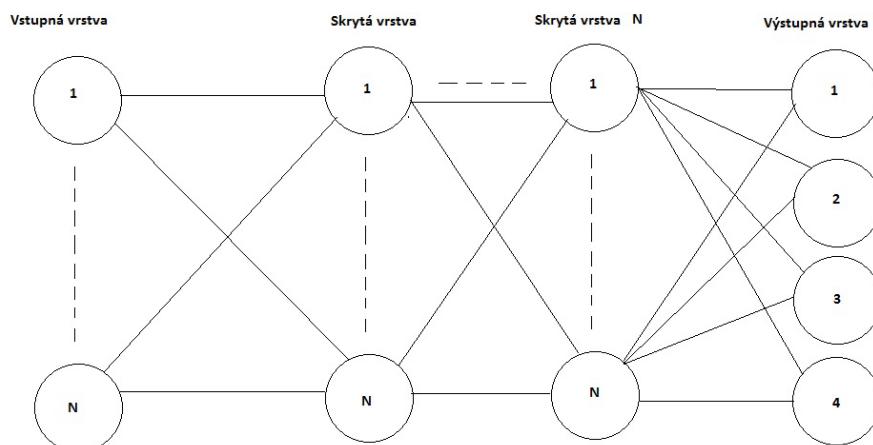
Predspracovanie obrazu ukončuje proces zužovania hrúbky papilárnych línii. V tomto kroku sa papilárne línie zúžia na hrúbku 1 pixla. Pre tento krok bolo potrebné aplikovať binarizáciu aby hodnoty pixlov boli 0 a 255. Na zúženie papilárnych línii sme aplikovali *Guo-Hall* algoritmus, ktorý nám postupne zužoval línie, kým nemali hrúbku 1 pixla.

3.1.2 Trénovanie neurónovej siete

Pre správne fungovanie neurónovej siete je potrebné v systéme siet' vhodne natrénovať. Trénovanie NN nie je povinnou časťou procesu rozpoznávania markantov, ak boli už skôr siete natrénované. Používateľ má možnosť určiť, či systém má natrénovať novú siet' s novými parametrami alebo sa použije skôr natrénovaná siet'.

Pre trénovanie NN je potrebné vhodne nastaviť vstupné parametre. Tieto parametre boli v práci popísané v časti 2.4.3. Po nastavení vstupných parametrov používateľ zvolí trénovanie sietí, ktorý prebieha v 2 procesoch. Prvá je natrénovanie siete na rozpoznávanie základných markantov a druhá na rozpoznávanie komplexných markantov. Pre tieto procesy potrebujeme definovať rôzne vstupné parametre.

Hlavná architektúra siete bola zvolená viacvrstvový perceptrónová dopredná siet' (*MLP – Multi Layer Perceptron*). Táto architektúra má vlastnosť rozpoznávať vzorky, ktoré sa nám hodia na rozpoznávanie markantov v dakyloskopických stopách.



Obrázok 21: Schéma navrhнутej siete

Trénovanie na základné markanty vyžaduje nastavenie parametrov:

1. Počet vstupných neurónov (*input_basic*)
2. Počet výstupných neurónov (*output_basic*)
3. Počet vrstiev (*layers_basic*)
4. Počet neurónov v skrytej vrstve (*neurons_hidden1*)

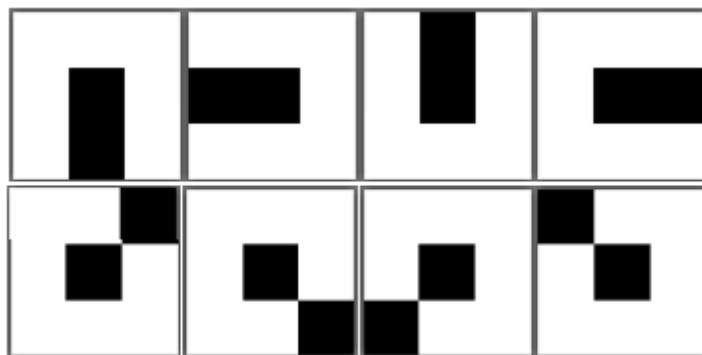
Trénovanie na komplexné markanty vyžaduje nastavenie parametrov:

1. Počet vstupných neurónov (*input_complex*)
2. Počet výstupných neurónov (*output_complex*)
3. Počet vrstiev (*layers_complex*)
4. Počet neurónov v skrytej vrstve (*neurons_hidden2*)

Pre tieto siete je potrebné definovať ďalšie parametre, ktoré budú platné pre trénovanie obidvoch sietí:

1. Požadovaná maximálna chyba (*desired_error*)
2. Maximálny počet epochov (*max_epochs*)
3. Aktivačná funkcia skrytej vrstvy (*fann_set_activation_function_hidden*)
4. Aktivačná funkcia výstupnej vrstvy (*fann_set_activation_function_output*)

Po nastavení vstupných parametrov trénovanie prebieha na databáze, ktorá obsahuje obrázky markantov v rôznych tvarových variáciách a orientáciách.



Obrázok 22: Dáta na učenie NN na markant ukončenie [14]

Dáta sú z databázy načítavané postupne a prevádzané do formátu, s ktorým NN dokáže pracovať. Po ukončení procesu trénovania sa uložia natrénované siete *basic.net* a *complex.net*.

3.1.3 Extrakcia základných markantov

V tejto fáze sa rozpoznávajú základné tvary markantov pomocou neurónovej siete.

Podmienkou pre neurónovú sieť je prítomnosť natrénovanej siete na rozpoznávanie základných markantov, čiže prvým vstupom bude natrénovaná sieť *basic.net*.

Proces rozpoznávania základných markantov sa vykonáva na kostre odtlačku prsta. Neupravené obrázky odtlačkov prsta neurónová sieť nedokáže spracovať a tým pádom neidentifikuje žiadne markanty. Pre správne hľadanie a rozpoznávanie markantov bude ďalším vstupom do procesu kostra odtlačku prsta.

Po zadaní vstupných dát začína proces rozpoznávania markantov, konkrétnie v tejto prípade rozpoznávanie základných markantov. Rozpoznávanie základných markantov siet' vykonáva v menších blokoch postupne pre celý obrázok odtlačku prsta. Veľkosť prehľadávaného bloku sa nastavuje v časti trénovanie siete.

Výstupom procesu rozpoznávania základných markantov pomocou NN bude skúmaný obrázok odtlačku prsta s farebne vyznačenými markantmi, ktoré NN rozpoznala.

Konkrétnie príklady a výsledky rozpoznávania si znázorníme v časti Výsledky.

3.1.4 Extrakcia komplexných markantov

V tejto fáze sa rozpoznávajú komplexné tvary markantov pomocou neurónovej siete.

Ako v predchádzajúcom prípade aj pre túto sieť je podmienkou prítomnosť natrénovanej siete na komplexné markanty, čiže vstupom do procesu bude natrénovaná sieť *complex.net*.

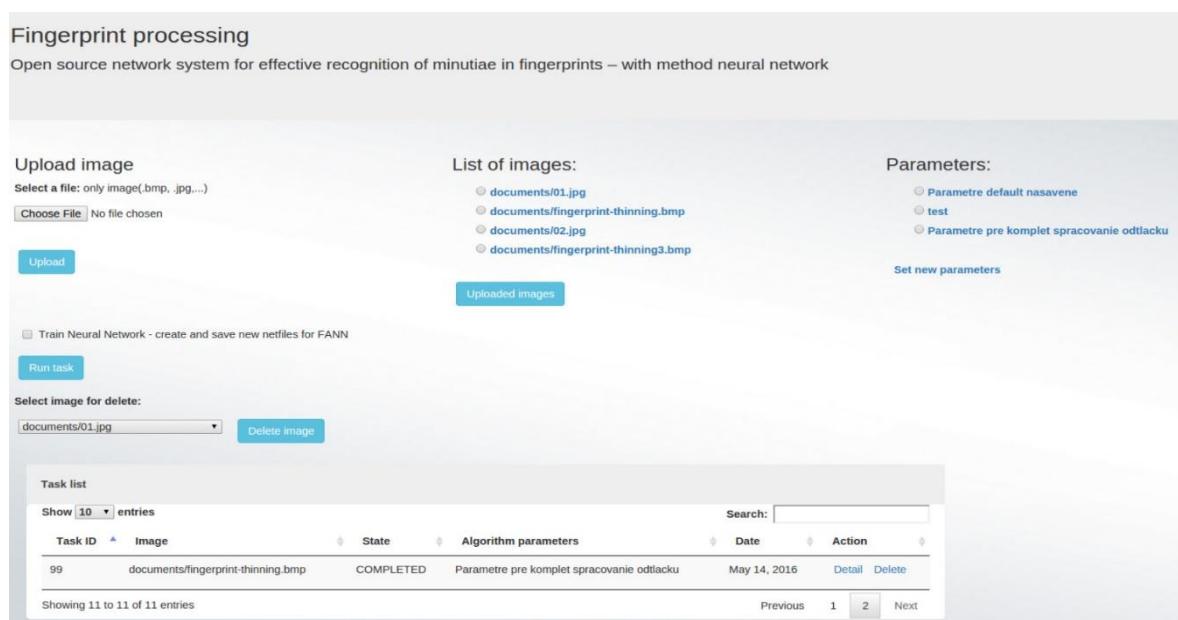
Proces rozpoznávania komplexných markantov prebieha rovnako ako v predchádzajúcej časti pre rozpoznávanie základných.

Výstupom procesu rozpoznávania komplexných markantov pomocou NN bude skúmaný obrázok odtlačku prsta s farebne vyznačenými markantmi, ktoré NN rozpoznala. Konkrétnie príklady a výsledky rozpoznávania si znázorníme v časti Výsledky.

3.2 Používateľská časť

Používateľská časť slúži na nastavenie a správu vstupných dát a rovnako na prezentovanie výsledkov používateľovi. Ako bolo spomenuté používateľská časť systému sme implementovali v programovacom jazyku Python s použitím webového frameworku *Django*. V rámci webového frameworku *Django* sme na vytvorenie obrazoviek použili jazyk HTML a responzívny CSS framework *Bootstrap*.

Pre systém je potrebné nainštalovať niekoľko menších systémov, ktoré podrobne popíšeme v technickej dokumentácii. V tejto časti si popíšeme stručnú implementáciu a ukážeme si GUI model systému. Používateľské rozhranie sme implementovali podľa vytvoreného návrhu.



Task list					
Show 10 entries					
Task ID	Image	State	Algorithm parameters	Date	Action
99	documents/fingerprint-thinning.bmp	COMPLETED	Parametre pre komplet spracovanie odtlacku	May 14, 2016	Detail Delete
Showing 11 to 11 of 11 entries					
Previous 1 2 Next					

Obrázok 23: UI - úvodná obrazovka. verzia 1.0

Úvodná obrazovka ponúka používateľovi možnosť uložiť obrázok v časti *Upload image* a rovnako možnosť nastaviť vstupné parametre v časti *Parameters*. Obrazovka obsahuje zoznam obrázkov, zoznam nastavených parametrov a zoznam procesov. Zoznam procesov sa zobrazí v prehľadnej tabuľke, kde je možné zobraziť *Detail* procesu a tieto procesy vymazať zvolením akcie *Delete*.

V zozname procesov máme doplnenú aj informáciu o stave procesu, ktorá sa zmení po dokončení spracovania. Obrazovka sa aktualizuje každú minútu automaticky.

Preprocessing parameters

Parameters title:

Description:

Size of block orientation:
31

Size of block Gabor:
39

Sigma:
7

Lambda:
15

Gamma:
1

Save parameters

back to homepage

Neural network parameters

Number of inputs Basic NN:
9

Number of outputs Basic NN:
2

Number of layers Basic NN:
3

Number of hidden neurons for Basic NN:
15

Number of inputs Complex NN:
2601

Number of outputs Complex NN:
3

Number of layers Complex NN:
3

Number of hidden neurons for Complex NN:
3500

Desired error:
0.0001

Max epochs:
5000

Set activation function hidden:
FANN_LINEAR

Set activation function output:
FANN_LINEAR

Obrázok 24: UI - nastavenie parametrov. verzia 1.0

Zvolením akcie *Set new parameters* na úvodnej obrazovke sa zobrazí obrazovka pre nastavenie vstupných parametrov. Vstupné parametre sme definovali podľa navrhnutého dátového modelu. Nastavené parametre sa po zvolení tlačidla *Save parameters* uložia do systému.

Task details - output

Task ID: 88
Status: COMPLETED
May 13, 2016

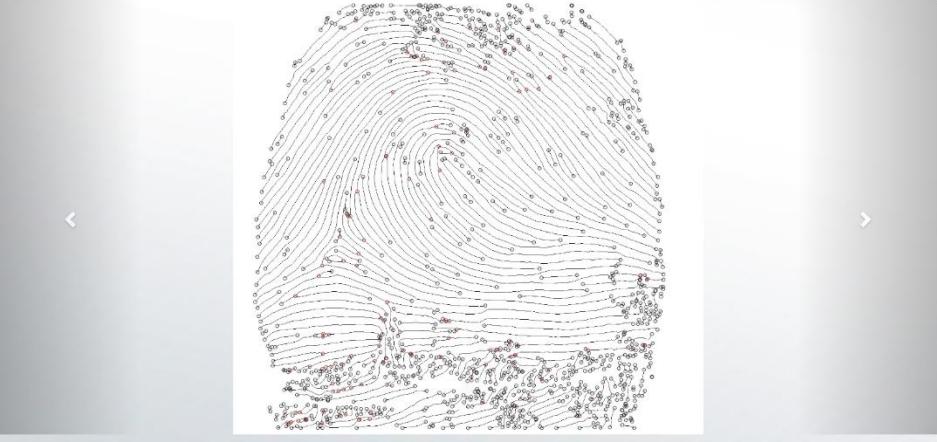
Input:
Fingerprint processing input image:


Parameters for Neural network:

- Number of inputs Basic NN: 9
- Number of outputs Basic NN: 2
- Number of layers Basic NN: 3
- Number of hidden neurons for Basic NN: 15
- Number of inputs Complex NN: 2601
- Number of outputs Complex NN: 3
- Number of layers Complex NN: 3
- Number of hidden neurons for Complex NN: 3500
- Desired error: 0.0001
- Max number of epochs: 5000
- Activation function hidden: FANN_SIGMOID_SYMMETRIC
- Activation function output: FANN_SIGMOID_SYMMETRIC

Parameters for preprocessing:

- Size of block for orientation map: 31
- Size of block for Gabor filter: 39
- Sigma: 7
- Lambda: 15.0
- Gamma: 1.0

Outputs:
Fingerprint processing outputs:


Output log:

```
Image Processing
Task ID: 88
Picture resolution: 1399x1294
Start processing
Orientation map... Done
Gabor filter... Done
Run neural Basic... Done
Run neural Complex... Done
```

[Download basic net files](#)
[Download complex net files](#)
[Download all output images](#)

[back to homepage](#)

Obrázok 25: UI - zobrazenie výsledkov. verzia 1.0

Po dokončení procesu sa v zozname procesov zmení stav na *COMPLETED* a zvolením akcie *Detail* sa zobrazia všetky výstupy procesu. Obrazovka znázorňuje vstupné aj výstupné dátá spolu s dodatočnými informáciami. Na tejto obrazovke je možné výstupy analyzovať a stiahnuť. Obrazovka sa aktualizuje automaticky každých 30 sekúnd.

Všetky implementované funkcionality si podrobne popíšeme v používateľskej príručke.

4 Výsledky a testovanie

V tejto časti si popíšeme dosiahnuté výsledky a postup pri testovaní. Na testovanie systému sme použili rôzne obrázky odtlačkov prstov, ktoré boli zo zdrojov: *Google* a *NIST Special Database 27/a*. Táto databáza obsahuje obrázky odtlačkov prsta v rôznych kvalitách a veľkostiach. Funkčnosť aplikácie sme testovali po častiach postupne počas a po implementácií. Všetky testy sme vykonali na virtuálnom prostredí s operačným systémom linux, konkrétnie Ubuntu 12.04 (32-bit) v Oracle VM VirtualBox.

4.3 Výsledky a testovanie obrazového predspracovania

Ako prvé sme testovali proces obrazového predspracovania, ktorý nám dával pomerne dobré výsledky. Postupne si ukážeme výstupy z procesu predspracovania obrazu. Implementáciu sme si popísali v predchádzajúcich častiach práce. Naša práca nerozoberá podrobne predspracovanie obrazu a kvôli tomu neboli podrobnejšie testy vykonávané.

Ako prvý krok predspracovania je segmentácia obrazu s vstupným parametrom rozlíšenie obrázka odtlačku prsta. Nižšie je ukážka výstupu segmentácie obrazu. Na ľavej strane je podľa segmentácie popredie obrázka, čiže odtlačok prsta. Na strednom obrázku máme znázornenú masku odtlačku prsta a na pravej strane máme masku po aplikácii *Wienerovho filtrova*.



Obrázok 26: Výstup segmentácia obrazu

Ďalší krok obrazového predspracovania je vytvorenie smerovej mapy odtlačku prsta. Postup vytvorenia smerovej mapy sme si vysvetlili v predchádzajúcich častiach. Algoritmus má jeden vstupný parameter *veľkosť bloku*. Testy sme vykonali pre veľkosť bloku 15, 31, 45. Na obrázku nižšie máme zobrazené smerové mapy odtlačku prsta pre rôzne veľkosti blokov.



Obrázok 27: Výstup smerová mapa - veľkosť bloku 15, 31, 45

Najdôležitejšia časť obrazového predspracovania je Gáborov filter. Gáborov filter má viac vstupných parametrov. Pre našu potrebu sme podľa teoretických podkladov a skúseností určili najvhodnejšie nastavenie. Vstupom do Gáborovho filtra bola smerová mapa odtlačku prsta a nastavené parametre *veľkosť bloku*, *sigma*, *lambda* a *gamma*. Vstupné parametre a ich účel sme si podrobnejšie popísali v predchádzajúcich častiach. Nižšie je ukážka výstupu z Gáborovho filtra.



Obrázok 28: Výstup Gáborov filter

Po skončení Gáborovho filtra nasleduje binarizácia obrazu odtlačku prsta, ktorý má vstupný obrázok výstup Gáborovho filtra. Nižšie je ukážka výstupu binarizácie obrazu.



Obrázok 29: Výstup binarizácia obrazu

Posledný krok obrazového prespracovania je zužovanie papilárnych línii v odtlačku prsta. Vstup do procesu je výstup z binarizácie obrazu. Nižšie je ukážka výstupu zužovanie papilárnych línii.



Obrázok 30: Výstup zužovanie papilárnych línii

Proces obrazového predspracovania v niektorých prípadoch môže trvať niekoľko minút, a preto sme sa rozhodli tieto časy nameráť a analyzovať. Počas obrazového predspracovania sme namerali čas spracovania jednotlivých krokov predspracovania. Pre presnejšie výsledky sme čas merali pre všetky obrázky s rovnakými vstupnými parametrami:

Tabuľka 1: Nastavené vstupné parametre pre test dĺžka predspracovania

Veľkosť bloku pre smerovú mapu	31
Veľkosť bloku pre Gáborov filter	39
Sigma	7
Lambda	15
Gamma	1

V nasledujúcej tabuľke si ukážeme ako sa menil čas spracovania závislosti od veľkosti obrázka. Znázornené časy sú zaokruhlené nahor.

Tabuľka 2: Čas spracovania závislosti od rozlíšenia obrazu

Rozlíšenie obrazu	777x934	1056x959	1396x1294
Segmentácia obrazu	1 sek.	1 sek.	1 sek.
Smerová mapa	40 sek.	60 sek.	90 sek.
Gáborov filter	140 sek.	210 sek.	360 sek.
Binarizácia	1 sek.	1 sek.	1 sek.
Zužovanie papilárnych línii	1 sek.	1 sek.	2 sek.

V prípade predspracovania viacerých obrázkov paralelne sa tieto časy výrazne navýšia. To bolo spôsobené nevýkonným serverom a virtuálnym prostredím. Práve kvôli tomu navrhujeme do produkcie systém nasadiť na výkonnejší server alebo rozdeliť back-endovú a front-endovú časť.

4.4 Výsledky a testovanie neurónových sietí

Hlavnou časťou systému je rozpoznávanie markantov v daktyloskopických stopách neurónovými sietami. V predchádzajúcich častiach sme si vysvetlili a popísali postup a implementáciu neurónových sietí. V tejto časti si opíšeme získané výsledky a postup pri testovaní neurónových sietí.

Na testovanie a získanie presných výsledkov sme trénovali neurónovú sieť na množine obrázkov odtlačkov prsta v rôznych tvarových variáciách a orientáciách. Naša databáza bola pomerne malá a trénovanie prebehla pomerne rýchlo. Trénovanie prebieha pre základné tvary a pre komplexné tvary markantov. Pre trénovanie neurónových sietí je potrebné nastaviť povinné vstupné parametre, ktoré sme nastavili nasledovne:

Tabuľka 3: Vstupné parametre pre trénovanie siete na základné markanty

Počet vstupných neurónov	9
Počet výstupných neurónov	2
Počet vrstiev	3
Počet neurónov v skrytej vrstve	15
Požadovaná maximálna chyba	0,0001
Maximálny počet epochov	5000
Aktivačná funkcia skrytej vrstvy	FANN_SIGMOID_SYMMETRIC
Aktivačná funkcia výstupnej vrstvy	FANN_SIGMOID_SYMMETRIC

Tabuľka 4: Vstupné parametre pre trénovanie siete na komplexné markanty

Počet vstupných neurónov	2601
Počet výstupných neurónov	3
Počet vrstiev	3
Počet neurónov v skrytej vrstve	3500
Požadovaná maximálna chyba	0,0001
Maximálny počet epochov	5000
Aktivačná funkcia skrytej vrstvy	FANN_SIGMOID_SYMMETRIC
Aktivačná funkcia výstupnej vrstvy	FANN_SIGMOID_SYMMETRIC

Vstupné parametre sme definovali podľa teoretických poznatkov a skúseností z predchádzajúcich projektov. Základné markanty sú jednoduché tvary a na ich identifikáciu stačí prehľadávanie v blokoch veľkosti 3x3. Tento parameter predstavuje v trénovaní počet vstupných neurónov. Počet výstupných neurónov nám určí typ základného markantu, čiže ukončenie a rozdvojenie.

Rozpoznávanie komplexných tvarov je zložitejšia záležitosť a pre identifikáciu markantov je potrebné nastaviť väčší blok, ktorý sme si nastavili na veľkosť 51x51. Veľkosť bloku nám určí počet vstupných neurónov, ktorý v našom prípade je 2601. Siet' na rozpoznávanie komplexných markantov rozpoznáva 3 typy komplexných markantov a preto je počet výstupných neurónov 3, konkrétnie premostenie, prerusenie a prekríženie.

Trénovanie neurónových sietí podľa nastavených parametrov prebieha pomerne rýchlo, konkrétnie trénovanie NN na rozpoznávanie základných markantov trvá 1 sekundu a zastaví sa cca. v 30. epoche. Trénovanie NN na rozpoznávanie komplexných markantov prebieha pomalšie kvôli väčšej databáze. Trénovanie v závislosti od veľkosti trénovacej databázy máme znázornené nižšie v tabuľke.

Tabuľka 5: Trénovanie siete na komplexné markanty

Veľkosť trénovacej databázy	Trénovanie zastavené v epoche	Dosiahnutá chyba	Čas trénovania
24 obrázkov	47.	0.0000825346	170 sek.
48 obrázkov	80.	0.0000478913	340 sek.

V tabuľke vidíme, že trénovanie na väčšej množine obrázkov trvá dlhšie a potrebuje na trénovanie viac epochov. Podľa tohto príkladu sa počet epochov a trvanie zdvojnásobili.

Po natrénovali neurónových sietí nasleduje rozpoznávanie markantov v daktyloskopických stopách. V prvom kroku sa v odtlačku hľadajú a identifikujú základné markanty a nasleduje prehľadávanie a identifikácia komplexných markantov. Tieto procesy sa vykonávajú za sebou v poradí ako bolo popísané.

Rozpoznávanie základných markantov pomocou neurónovej siete v procese spracovania prebehne pomerne rýchlo. Táto sieť identifikuje markanty priebehu 1 sekundy. Výstupom neurónovej siete je obrázok odtlačku prsta na ktorom sú farebne označené nájdené markanty. Nižšie na obrázku je ukážka výstupu z NN na rozpoznávanie základných markantov, konkrétnie ukončenie a rozdvojenie.



Obrázok 31: Nájdené markanty - červené rozdvojenie, čierne ukončenie



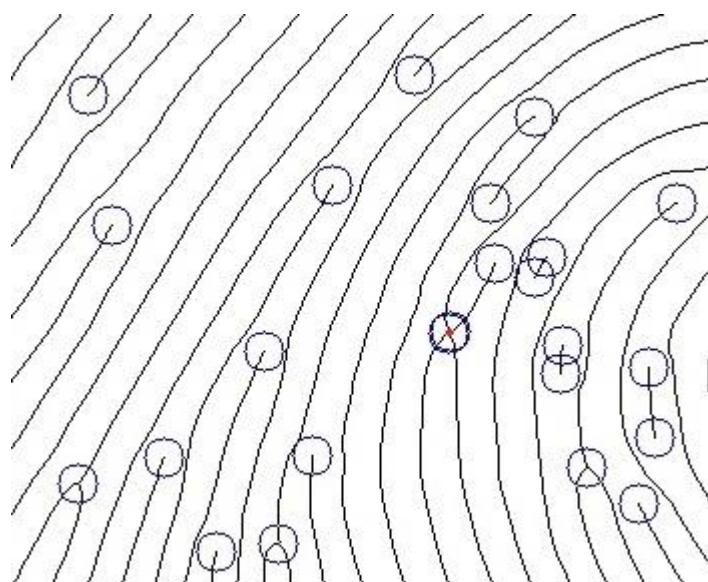
Obrázok 32: Nájdené markanty - červené rozdvojenie, čierne ukončenie

Ako vidíme na obrázkoch 31 a 32 neurónová siet' na rozpoznávanie základných markantov nám úspešne identifikoval základné markanty ukončenie a rozdvojenie. Problémom je identifikácia falošných markantov na okrajoch a na poškodených miestach odtlačku prsta. Pre odstránenie falošných markantov by bolo treba implementovať kontrolu identifikovaných markantov alebo algoritmus na odstránenie falošne identifikovaných markantov.

Rozpoznávanie komplexných markantov v procese spracovanie prebieha dlhšie ako rozpoznávanie základných markantov a to z dôvodu väčších blokov na hľadanie.

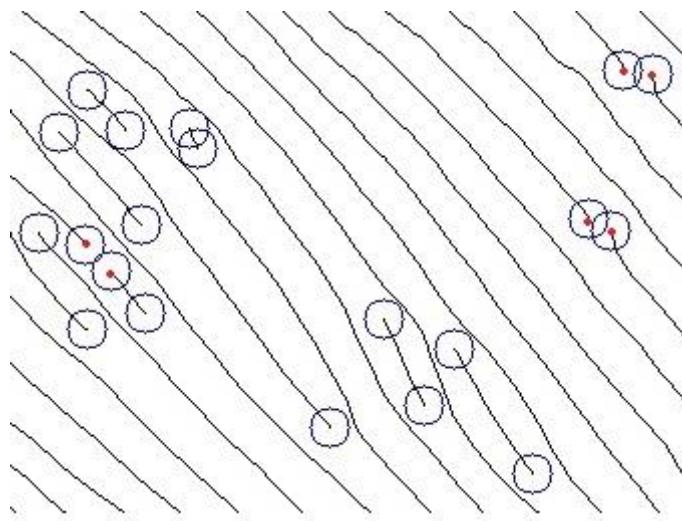
Neurónová siet' na rozpoznávanie komplexných markantov trvá približne 40 sekúnd.

Nižšie máme ukážky identifikácie komplexných markantov neurónovými siet'ami. Pre prehľadnejšie znázornenie sú vyrezané časti odtlačku prsta kde neurónová siet' identifikoval markant.



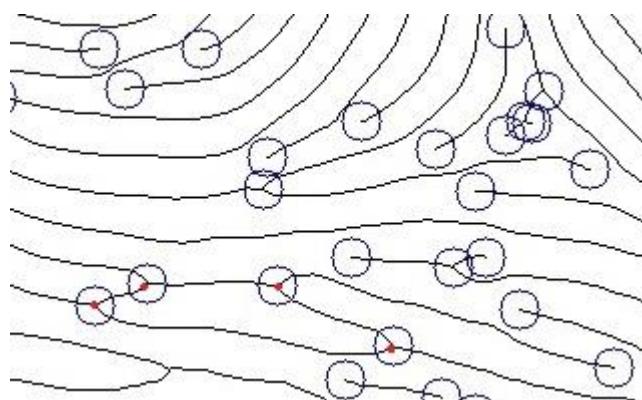
Obrázok 33: Nájdený markant prekriženie

Na obrázku máme vyznačené markanty a vidieť, že neurónová siet' dokázal identifikovať markant prekriženie. Prekriženie sa v populácii vyskytuje zriedkavo a na testovaných obrázkoch sme identifikovali prekriženie iba v tomto prípade.



Obrázok 34: Nájdený markant prerušenie

Na obrázku máme vyznačené nájdené markanty a rovnako aj markant prerušenie. Neurónová siet' nám dokázali v niektorých prípadoch presne identifikovať tento typ markantu.



Obrázok 35: Nájdený markant premostenie

Na obrázku máme vyznačené nájdené markanty a vidíme, že siet' správne identifikoval premostenie v odtlačku prsta.

Tieto výsledky boli dosiahnuté v prípade vhodne zvolených vstupných parametrov. V práci sme si popísali aké sú vhodné nastavenia siete s ktorými dokáže siet' pomerne presne identifikovať markanty.

Pre znázornenie sme spustili neurónovú sieť v prípade parametrov, ktoré boli nesprávne nastavené alebo samotné trénovanie sme vykonali na menšej množine obrázkov. Na obrázku nižšie je vidieť, že v takomto prípade siet' identifikoval len niekoľko markantov a ostatné ignoroval.



Obrázok 36: Nájdené markanty pri nesprávnom trénovaní

Záver

Pri vypracovaní práce sme si naštudovali a osvojili poznatky z problematiky predspracovania obrazov a problematiky rozpoznávania markantov v daktyloskopických stopách pomocou neurónových sietí. Analyzovali a opísali sme algoritmy na predspracovanie ako aj na rozpoznávanie markantov neurónovými sietami. Pre splnenie cieľov práce sme si naštudovali aj problematiku sietových systémov a popísali metódu a postup implementácie webových aplikácií.

Všetky body zadania sme úspešne splnili a systém dokáže pomerne rýchlo a efektívne vykonať predspracovanie obrazu a identifikovať markanty v odtlačkoch prsta pomocou neurónových sietí. Je navrhnutý podľa zadania ako webová aplikácia, ktorá nám ponúka možnosť aplikáciu nasadiť do produkcie a môže slúžiť ako pomôcka pri práci s odtlačkami prstov.

Systém dokáže spracovať rôzne formáty obrázkov a pripraviť ich na ďalšiu prácu. Z výsledkov vyplýva, že zvolené algoritmy na predspracovanie obrazu sa dajú efektívne využívať v našom systéme a dokážu rýchlo a efektívne obraz upraviť.

Vybrané algoritmy na rozpoznávanie markantov pomocou neurónových sietí nám dávali pomerne presné a rýchle výsledky. Vylepšenie tejto časti by mohol byť napr. návrh algoritmu na odstránenie falošných markantov a taktiež vykonanie testov s inými databázami na trénovanie.

Rozpoznávanie komplexných markantov funguje správne a pomerne rýchlo nám dokáže nájsť markanty. Táto časť systému by potrebovala ešte lepšie doladenie a testovanie. Rozpoznávanie komplexných markantov z hľadiska algoritmizácie nie je triviálny problém a preto je náročné na implementáciu. Ako sme opísali rozpoznávanie komplexných markantov nefunguje vždy presne a nenájde niektoré markanty. Na zlepšenie procesu by bolo treba vylepšiť kód alebo navrhnuť iný postup implementácie.

Výsledný systém dosahovala dobré výsledky a umožňuje spracovanie odtlačkov aj v paralelnom móde, čo urýchli používateľovi prácu, ale je potrebné ešte zdôrazniť, že súčasné systémy pravdepodobne nikdy nenaRADIA prácu človeka pri identifikácii markantov. Systém nedokáže hodnotiť získané výsledky a preto bude výsledné rozhodnutie visieť na človeku.

Zoznam použitej literatúry

- [1] Biometria (citovane 2016-05-09)
Dostupné na: <https://sk.wikipedia.org/wiki/Biometria>
- [2] Čo je Biometria ? (citovane 2016-05-09)
Dostupné na <http://www.biometria.sk/co-je-biometria.html>
- [3] KRYPTA P. 2012. *Biometria* (citované 2016-05-09)
Dostupné na: <http://www.epi.sk/odborny-clanok/Biometria.htm>
- [4] MARÁK P. Rozpoznávanie a spracovanie odtlačkov prstov pomocou informačných technológií. Bratislava: FEI STU, 2010. – Bakalárská práca
- [5] MARÁK P. Automatizované spracovanie charakteristických vlastností odtlačkov prstov. Bratislava: FEI STU, 2012. – Diplomová práca
- [6] Daktyloskopia (citovane 2016-05-09)
Dostupné na: <https://sk.wikipedia.org/wiki/Daktyloskopia>
- [7] STRAUS J., a kol. 2008. *Kriminalistická technika*, 2. Vydání, Plzeň, 2008, ISBN: 978-80-7380-052-9
- [8] ODTLACOK.SK. 2009. *Odtlačky prstov* (citovane 2016-05-09)
Dostupné na: <http://www.odtlacok.sk>
- [9] JAIN, A. -- MAIO, D. -- MALTONI, D. *Handbook of Fingerprint Recognition, Second Edition*. London, UK: Springer, 2009. 496 s. ISBN 978-1-84882-253-5.
- [10] MOKRÁŠ R. *Softvérové spracovanie odtlačkov prstov*. Bratislava: FEI STU, 2014. – Bakalárská práca
- [11] THAI R. 2003. *Fingerprint Image Enhancement and Minutiae Extraction*. University of Western Australia, 2003
- [12] Tímový projekt – Dactylos: Možnosti využitia neurónových sietí v oblasti automatizovaných daktyloskopických systémov. Bratislava: FEI STU, 2015
- [13] SINČÁK P. *Úvod do UI* (citované dňa 2016-05-10)
Dostupné na: <http://neuron.tuke.sk/kazi/>

- [14] HOFERICA O. Možnosti využitia neurónových sietí v biometrických systémoch pracujúcich s odtlačkami prstov. Bratislava: FEI STU, 2015. – Bakalárska práca
- [15] TKÁČIK P. Automatizovaný sieťový systém efektívneho rozpoznávania originality obrázkov. Bratislava: FEI STU, 2015. – Diplomová práca

Prílohy

<u>Technická dokumentácia</u>	II
<u>Používateľská príručka</u>	V
<u>Štruktúra elektronického nosiča</u>	X

Technická dokumentácia

V tejto prílohe bude opísaný postup inštalácie a konfigurácie systému, ktorej časti budú nainštalované na spoločnom serveri.

Stručný postup inštalácie:

1. OpenCV 2.4.9
2. FANN 2.2.0 (<http://leenissen.dk/fann/wp/help/installing-fann/>)
3. Python 2.7
4. Webový framework Django 1.9

Súčasti OpenCV, FANN a Python boli nainštalované štandardným spôsobom priamo cez balíčkový systém **apt-get** systému linux.

Inštalácia webového frameworku Django a jeho súčasti:

1. Prvý krok inštalácie je inštalácia PIP – balíčkový systém pre Python balíčkov

```
sudo apt-get update  
sudo apt-get install python-pip
```

2. Po inštalácii PIP si nainštalujeme VirtualEnv:

```
pip install virtualenv
```

3. Vytvoríme si nový priečinok pre projekt a vytvoríme si virtuálne prostredie:

```
mkdir ~/newproject  
cd ~/newproject  
virtualenv newenv
```

4. Vykonáme aktiváciu virtuálneho prostredia a inštalujeme Django webový framework:

```
source newenv/bin/activate
```

5. Následne je potrebné nainštalovať súčasti do aktívneho virtuálneho prostredia.

Zoznam balíčkov uložených v textovom súbore requirements.txt:

```
Django==1.9
Pillow==2.8.1
SQLAlchemy==0.9.9
amqp==1.4.6
anyjson==0.3.3
billiard==3.3.0.19
celery==3.1.17
djangorestframework==2.4.4
drf-compound-fields==0.2.2
gnureadline==6.3.3
ipython==3.1.0
kombu==3.0.24
psycopg2==2.6
pytz==2015.2
wsgiref==0.1.2
yolk==0.4.3
```

6. Zoznam balíčkov si uložíme a spustíme inštalaáciu balíčkov:

```
pip install -r ~/requirements.txt
```

7. Inštaláciu webového frameworku verifikujeme s príkazom:

```
django-admin --version
# zobrazí sa verzia Django
deactivate
```

8. Vytvorenie priečinku pre náš project a aktivácia virtuálneho prostredia:

```
cd newproject
source newenv/bin/activate
```

9. Pomocou príkazu django-admin vytvoríme nový project:

```
django-admin startproject projectname  
cd projectname  
python manage.py migrate
```

10. Pre prácu s webovým frameworkom potrebujeme vytvoriť administrátora:

```
python manage.py createsuperuser  
# nastavenie loginu a hesla administrátora
```

11. V tomto kroku už máme pripravené všetko a stačí spustiť server:

```
python manage.py runserver
```

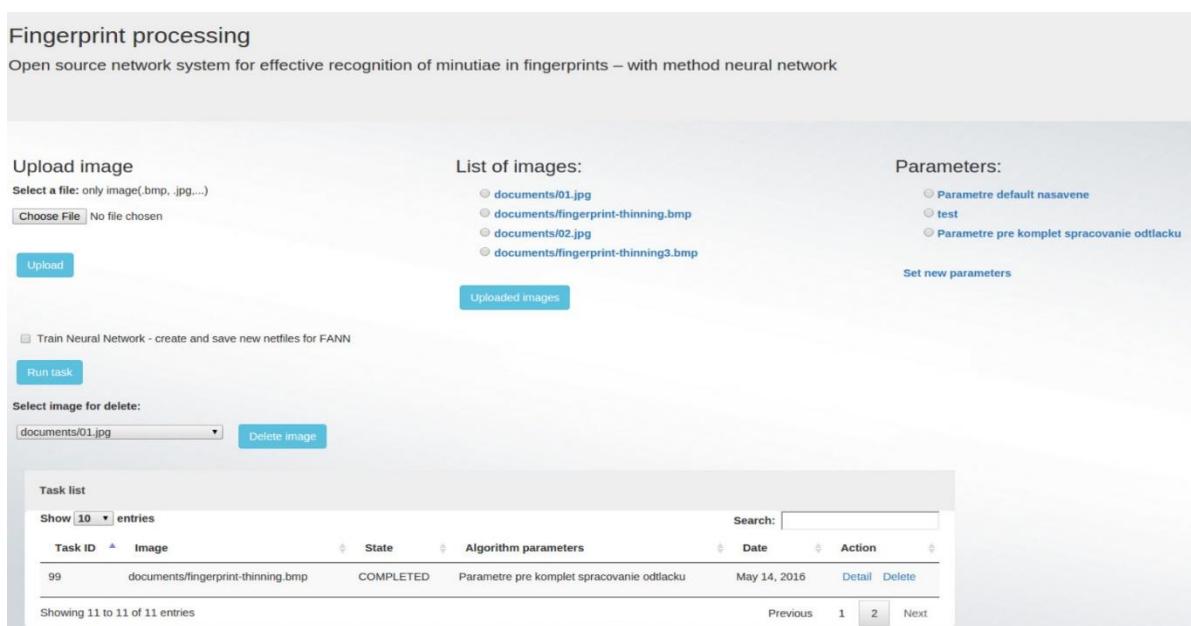
Aplikácia sa spustí na localhoste vo webovom prehliadači na adresе

<http://127.0.0.1/8000>

Odporúčané webové prehliadače: Google Chrome, Firefox, Opera

Používateľská príručka

Na úvodnej obrazovke systému je možné spustiť procesy spracovania obrázkov odtlačku prsta. Pred spracovaním je potrebné vybrať obrázok v ktorom chceme identifikovať markanty a tak isto vybrať aj parametre pre potrebné predspracovanie a trénovanie. Výber možnosti natrénovať novú sieť nie je povinné. Po výbere potrebných vstupných dát a zvolením tlačidla *Run task* sa spustí nový proces. V tabuľke *Task list* sa zobrazujú všetky procesy. V tabuľke je možné procesy vymazať zvolením akcie *Delete* alebo zobraziť prehľad výstupov zvolením akcie *Detail* (Obrázok 40). Úvodná obrazovka sa aktualizuje každú minútu.



Obrázok 37: UI - úvodná obrazovka verzia 1.0

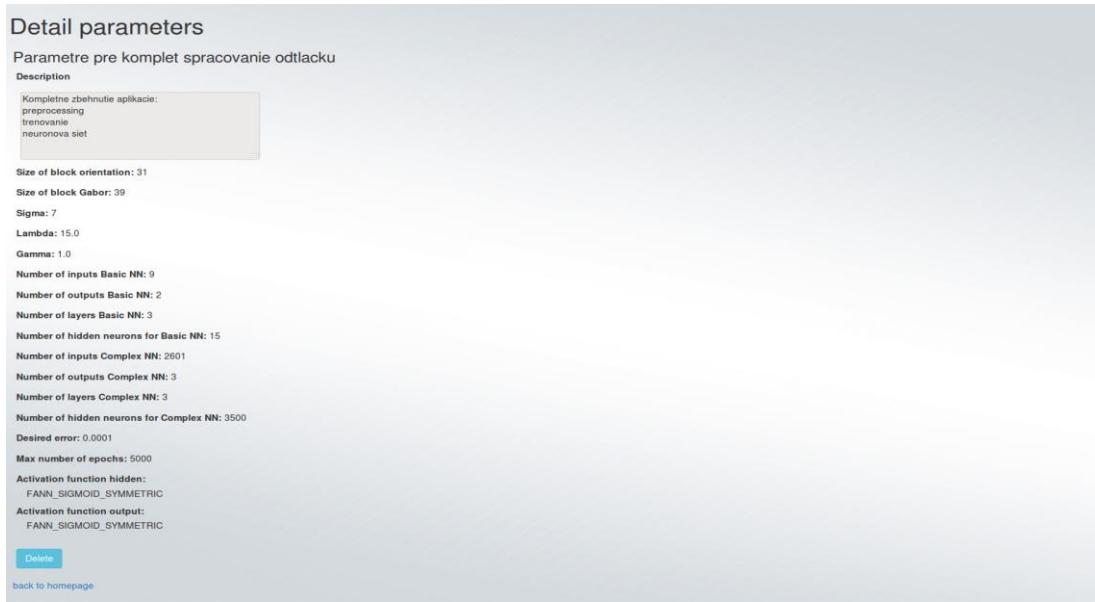
Pre uloženie obrázka zvolíme tlačidlo *Choose File* a vyberieme obrázok pre uloženie do systému. Nahraté obrázky sú zobrazené v zozname *List of images*. Zvolením tlačidla *Uploaded images* sa zobrazia uložené obrázky. Obrázky je možné vymazať výberom z comboboxu *Select image for delete* a následne zvolením tlačidla *Delete*.

Nastavené parametre sa zobrazia v zozname *Parameters*, kde sú zobrazené všetky nastavené parametre s tooltipom popis parametra.

Pre nastavenie parametrov zvolíme *Set new parameters* a na obrazovke *Nastavenie parametrov* (obrázok 38) si nastavíme vstupné parametre. Nastavené vstupné parametre sa uložia do systému zvolením tlačidla *Save parameters*, po ktorom systém presmeruje používateľa na úvodnú obrazovku. Na obrazovke je akcia *back to homepage*, ktorá vráti používateľa na úvodnú obrazovku.

Preprocessing parameters		Neural network parameters	
Parameters title:		Number of inputs Basic NN:	9
Description:		Number of outputs Basic NN:	2
Size of block orientation:	31	Number of layers Basic NN:	3
Size of block Gabor:	39	Number of hidden neurons for Basic NN:	15
Sigma:	7	Number of inputs Complex NN:	2601
Lambda:	15	Number of outputs Complex NN:	3
Gamma:	1	Number of layers Complex NN:	3
Save parameters		Number of hidden neurons for Complex NN:	3500
back to homepage		Desired error:	0.0001
		Max epochs:	5000
		Set activation function hidden:	FANN_LINEAR
		Set activation function output:	FANN_LINEAR

Obrázok 38: UI - nastavenie nových parametrov verzia 1.0



Obrázok 39: UI - detail nastavených parametrov verzia 1.0

Po kliknutí na Parameter v zozname Parametrov sa nám zobrazí detail, kde sú zobrazené nastavené parametre s možnosťou nastavené parametre vymazať zvolením tlačidla *Delete* (obrázok 39). Na obrazovke je akcia *back to homepage*, ktorý vráti používateľa na úvodnú obrazovku.

Task details - output

Task ID: 88
Status: COMPLETED
May 13, 2016

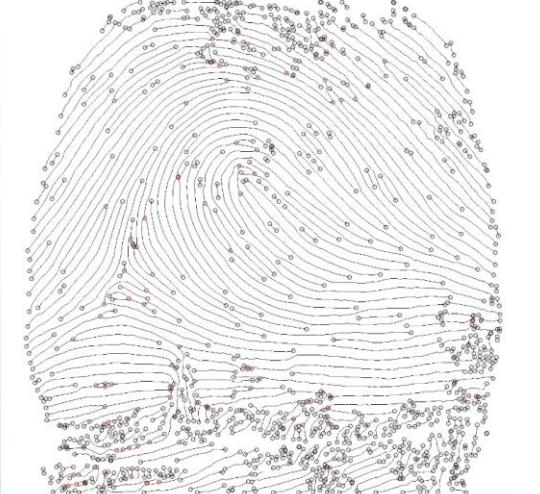
Input:
Fingerprint processing input image:


Parameters for Neural network:

- Number of inputs Basic NN: 9
- Number of outputs Basic NN: 2
- Number of layers Basic NN: 3
- Number of hidden neurons for Basic NN: 15
- Number of inputs Complex NN: 2601
- Number of outputs Complex NN: 3
- Number of layers Complex NN: 3
- Number of hidden neurons for Complex NN: 3500
- Desired error: 0.0001
- Max number of epochs: 5000
- Activation function hidden: FANN_SIGMOID_SYMMETRIC
- Activation function output: FANN_SIGMOID_SYMMETRIC

Parameters for preprocessing:

- Size of block for orientation map: 31
- Size of block for Gabor filter: 39
- Sigma: 7
- Lambda: 15.0
- Gamma: 1.0

Outputs:
Fingerprint processing outputs:


Output log:

```
Image Processing
Task ID: 88
Picture resolution: 1396x1294
Start processing
Segmentation... Done 0:0
Run neural Basic...Done
Run neural Complex...Done
```

[Download basic net files](#)
[Download complex net files](#)
[Download all output images](#)

[back to homepage](#)

Obrázok 40: UI - zobrazenie výstupov procesu verzia 1.0

Na úvodnej obrazovke sa v prehľadnej tabuľke *Task list* zobrazia všetky spustené procesy v stave *RUNNING* a dokončené procesy v stave *COMPLETED*. Stav sa aktualizuje po dokončení procesu *Task*. Zvolením akcie *Detail* sa zobrazia všetky výstupy procesu. V hlavičke obrazovky sa zobrazí *stav, ID procesu a dátum spustenia procesu*.

V prvej časti sú zobrazené vstupy do procesu, čiže obrázok a nastavené parametre. Kliknutím na vstupný obrázok sa obrázok zobrazí v modálnom okne.

V ďalšej časti sú zobrazené výstupné obrázky, ktoré je možné pomocou tlačidiel smer dol'ava a smer doprava prezerat'. Tieto obrázky sa posúvajú aj automaticky pre lepší prehľad.

V poslednej časti v poli *Output log* je výstup procesu spracovania odtlačku a dáva používateľovi informácie o stave procesu. V tejto časti sú tlačidla na stiahnutie výstupov:

- *Download basic netfile* – stiahnutie siete na rozpoznávanie základných markantov
- *Download complex netfile* – stiahnutie siete na rozpoznávanie komplexných markantov
- *Download all output images* - stiahnutie všetkých výstupných obrázkov vo formáte ZIP

Na obrazovke je nastavená automatická aktualizácia každých 30 sekúnd.

Štruktúra elektronického nosiča

Médium obsahuje nasledujúce časti:

- Diplomová práca v PDF
- Priečinok so zdrojovými kódmi back-endu v C++
 - Zdrojové kódy
- Priečinok so zdrojovými kódmi front-endu v Python a HTML
 - zdrojové kódy a trénovacia databáza
- Priečinok s inštalačnými súbormi potrebných knižníc
 - OpenCV 2.4.9 a FANN 2.2.0