

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

Evidenčné číslo: FEI-5382-43046

**SOFTVÉROVÉ SPRACOVANIE ODTLAČKOV PRSTOV**

# **SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE**

## **FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY**

Evidenčné číslo: FEI-5382-43046

### **SOFTVÉROVÉ SPRACOVANIE ODTLAČKOV PRSTOV**

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.



## ZADANIE BAKALÁRSKEJ PRÁCE

Študent: **Róbert Mokráš**  
ID študenta: 43046  
Študijný program: Aplikovaná informatika  
Študijný odbor: 9.2.9 aplikovaná informatika  
Vedúci práce: Ing. Alexander Hambalík, PhD.  
Miesto vypracovania: Ústav informatiky a matematiky FEI

Názov práce: **Softvérové spracovanie odtlačkov prstov**

Špecifikácia zadania:

Práca má zmapovať vývoj a súčasný stav získavania a spracovania odtlačkov prstov a navrhnúť prostredie, v ktorom sa dajú odtlačky kvalitatívne a kvantitatívne spracovať.

Naštudujte problematiku spracovania odtlačkov prstov. Navrhňte a implementujte systém na automatizované spracovanie odtlačkov prstov.

Úlohy:

1. Naštudujte problematiku snímania, generovania, spracovania a rekonštrukcie odtlačkov prstov pomocou najnovších biometrických metód.
2. Špecifikujte požiadavky na automatizované spracovanie odtlačkov prstov.
3. Navrhňte a implementujte systém na automatizované spracovanie odtlačkov prstov tak, aby umožnil odhaliť markanty (vzory).
4. Otestujte systém v praxi a vyhodnoťte získané výsledky.
5. Vypracujte potrebnú dokumentáciu.

Zoznam odbornej literatúry:

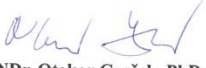
1. Lee, H. – Gaensslen, R. *Advances in fingerprint technology, 2nd ed. 2001*. LLC: CRC Press, 2001. ISBN 0-8493-0923-9.
2. Jain, A. – Maio, D. – Maltoni, D. *Handbook of Fingerprint Recognition, Second Edition*. London, UK: Springer, 2009. 496 s. ISBN 978-1-84882-253-5.
3. Rath, N. – Bolle, R. *Automatic Fingerprint Recognition Systems*. New York: Springer-Verlag, 2003. 458 s. ISBN 0-387-95593-3.

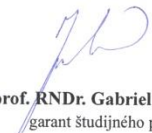
Riešenie zadania práce od: 23. 09. 2013

Dátum odovzdania práce: 23. 05. 2014



  
**Róbert Mokráš**  
študent

  
**prof. RNDr. Otokar Grošek, PhD.**  
vedúci pracoviska

  
**prof. RNDr. Gabriel Juhás, PhD.**  
garant študijného programu

# SÚHRN

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

Študijný program :	Aplikovaná informatika
Bakalárska práca:	Softvérové spracovanie odtlačkov prstov
Autor:	Róbert Mokráš
Vedúci záverečnej práce:	Ing. Alexander Hambalík, PhD.
Miesto a rok predloženia práce:	Bratislava 2014

Cieľom bakalárskej práce je navrhnúť systém na automatické rozpoznávanie odtlačkov prstov. Bakalárska práca sa delí na tri hlavné časti. Prvá časť sa zaoberá teoretickým úvodom v oblasti odtlačkov prstov. Vysvetľuje pojmy ako sú biometria a daktyloskopia a nakoniec popisuje rôzne druhy odtlačkov. Druhá časť teoreticky popisuje metódy určené na spracovanie odtlačkov prstov. Popisuje metódy ako segmentácia daktyloskopického vzoru, histogram odtlačku prsta, Wienerov a Gáborov filter, stenčenie papilárnych línií a samotné vyhľadávanie markantov. Posledná časť sa zaoberá praktickým riešením. Všetky metódy popísané v teoretickej časti sa prevedú do praktickej časti za pomoci programu. Program je vytvorený vo vývojovom prostredí Microsoft Visual Studio 2010 a v programovacom jazyku C++, ktorý obsahuje knižnicu OpenCV. Táto knižnica má v sebe potrebné metódy pre spracovanie odtlačku prsta. Ďalším hlavným delením je delenie na obrazové predspracovanie odtlačku prsta a samotné vyhľadávanie markantov. V obrazovom predspracovaní sa daktyloskopický vzor upravuje, zlepšuje sa jeho kvalita a prevádza sa na jedno-pixlovú dĺžku.

Kľúčové slová: odtlačky prstov, markanty, papilárna línia, vzory, obrazové predspracovanie, pixel

# ABSTRACT

SLOVAK UNIVERSITY OF TECHNOLOGY IN BRATISLAVA

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND INFORMATION TECHNOLOGY

Study Programme:	Applied Informatics
Bachelor Thesis:	Software processing of fingerprints
Autor:	Róbert Mokráš
Supervisor:	Ing. Alexander Hambalík, PhD.
Place and year of submission:	Bratislava 2014

The purpose of bachelor thesis is to design a system that can recognize fingerprints automatically. The bachelor thesis is divided into three main parts. First part deals with theoretical introduction to the area of fingerprints. It explains concepts of biometry, dactyloscopy and describes methods used for processing of the fingerprints. It describes methods such as fingerprint segmentation model, fingerprint's histogram, Wiener's and Gabor's filter, thinning of the ridge and methods for finding minutiae. The final part deals with a practical solution for the problem. All of the methods described in the theoretical part are transcribed to practical part with a help of a program. Program is created in a Microsoft Visual Studio 2010 development environment and in C++ programming language, which contains OpenCV library. This library contains methods need for fingerprint processing. Next main division is a division for fingerprint image preprocessing and finding minutiae. In image preprocessing, the dactyloscopic pattern is being regulated and improved, as well as its quality is being improved and converted to the length of a single pixel.

Key words: fingerprints, minutiae, ridge, designs, image preprocessing, pixel

# Vyhlásenie autora

Podpísaný Róbert Mokráš čestne vyhlasujem, že som Bakalársku prácu Softvérové spracovanie odtlačkov prstov vypracoval na základe poznatkov získaných počas štúdia a informácií z dostupnej literatúry uvedenej v práci.

Uvedenú prácu som vypracoval pod vedením Ing. Alexandra Hambalíka, PhD.

V Bratislave dňa 03.06.2014

.....

podpis autora

# **Pod'akovanie**

Chcel by som vyjadriť úprimné pod'akovanie vedúcemu mojej bakalárskej práce Ing. Alexandrovi Hambalíkovi, PhD. za odbornú pomoc, poskytnutú literatúru a množstvo užitočných rád, ktoré mi pomáhali pri tvorbe bakalárskej práce a potrebného programu.



# Obsah

<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>1 Teoretický úvod</b>	<b>2</b>
1.1 Biometria	2
1.2 Daktyloskopia	4
1.3 Rozpoznávanie odtlačkov	6
<b>2 Teoretické rozpracovanie úlohy</b>	<b>10</b>
2.1 Segmentácia	11
2.2 Normalizácia histogramu odtlačku	12
2.3 Wienerov filter	13
2.4 Gáborov filter	14
2.4.1 Lokálna orientácia papilárnych línií	15
2.4.2 Lokálna frekvencia papilárnych línií	17
2.5 Binarizácia	18
2.6 Stenčenie papilárnych línií	19
2.7 Lokalizácia markantov	20
<b>3 Praktické rozpracovanie úlohy</b>	<b>21</b>
3.1 Segmentácia	22
3.2 Normalizácia histogramu odtlačku	23
3.3 Wienerov filter	24
3.4 Orientačná mapa	25
3.5 Gáborov filter	26
3.6 Binarizácia	29
3.7 Stenčenie papilárnych línií	30
3.8 Lokalizácia základných markantov	31
3.9 Detekcia falošných markantov	32
3.10 Markant prekríženie	33
3.11 Nájsené markanty	34
<b>Záver</b>	<b>35</b>

<b>Zoznam použitej literatúry .....</b>	<b>36</b>
<b>Prílohy .....</b>	<b>I</b>
<b>Príloha A: CD .....</b>	<b>II</b>
<b>Príloha B: Aktivita diagram programu.....</b>	<b>III</b>

# Zoznam obrázkov a tabuliek

Obrázok 1. Daktyloskopický komparátor .....	5
Obrázok 2. Odtlačok prvej úrovne - Pravá slučka .....	6
Obrázok 3. Odtlačok prvej úrovne - Ľavá slučka .....	7
Obrázok 4. Odtlačok prvej úrovne - Vír .....	7
Obrázok 5. Odtlačok prvej úrovne - Oblúk .....	7
Obrázok 6. Odtlačok prvej úrovne - Zúžený oblúk .....	8
Obrázok 7. Markanty druhej úrovne .....	9
Obrázok 8. Potné póry .....	9
Obrázok 9. Histogram odtlačku prsta .....	12
Obrázok 10. V ľavo zašumený obrázok, v pravo obrázok po úprave Wienerovým filtrom .....	13
Obrázok 11. Sínusoida Gáborovho filtra .....	14
Obrázok 12. Orientácia papilárnej línie .....	15
Obrázok 13. Frekvencia odtlačku prsta .....	17
Obrázok 14. Binarizácia odtlačku prsta .....	18
Obrázok 15. Stenčenie papilárnych línií .....	19
Obrázok 16. Crossing Number .....	20
Obrázok 17. Vľavo segmentácia, vpravo segmentácia s použitím Wienerovho filtra .....	22
Obrázok 18. Vľavo je obrázok pred noro normalizáciou histogramu .....	23
Obrázok 19. Graf normalizácie histogramu odtlačku prsta .....	23
Obrázok 20. Obrázok po aplikovaní Wienerovho filtra .....	24
Obrázok 21. Wienerov filter .....	24
Obrázok 22. Orientácia papilárnych línií .....	25
Obrázok 23. Obrázok po aplikovaní Gáborovho filtra .....	26
Obrázok 24. Poškodené časti po aplikovaní Gáborovho filtra .....	27
Obrázok 25. Zaniknuté markanty po aplikovaní Gáborovho filtra .....	27
Obrázok 26. Vľavo spojené okraje papilárnych línií, vpravo nespojené okraje papilárnych línií .....	28
Obrázok 27. Výsledok po binarizácii .....	29
Obrázok 28. Obrázok po binarizácii .....	29
Obrázok 29. Výsledok po stenčení papilárnych línií .....	30
Obrázok 30. Vľavo stenčenie podľa Zhang-Suen, vpravo stenčenie podľa Guo-Hall .....	30
Obrázok 31. Kruhy predstavujú rozdvojenie, kocky predstavujú ukončenie .....	31
Obrázok 32. Odstránenie falošných ukončení .....	32
Obrázok 33. Odstránenie falošných rozdvojení .....	32
Obrázok 34. Prekríženie .....	33
Obrázok 35. Nájdené markanty .....	34
Obrázok 36. Aktivita diagram programu .....	III

# **Zoznam skratiek a značiek**

DNA	Deoxyribonucleic acid
AFIS	Automated fingerprint identification system
NCIC	National crime information center
FBI	Federal bureau of investigation
OpenCV	Open source computer vision
USA	United States of America

# Úvod

Bakalárska práca softvérové spracovanie odtlačkov prstov popisuje automatické rozpoznávanie odtlačkov prstov. Jej cieľom je spracovať odtlačok prsta a rozpoznať v ňom 5 základných markantov, ktorými sú ukončenie, rozdvojenie, izolovaný bod, jazero a fragment. Ďalšou úlohou je rozpoznať špecifické tvary markantov, ktoré doteraz neboli ešte rozpoznané nami známymi algoritmy. V našom prípade je týmto špecifickým markantom prekríženie. V teoretickom úvode si popíšeme ich rozdelenie na základe literárnych zdrojov. V teoretickej časti si popíšeme metódy predspracovania odtlačku prsta a vyhľadávanie markantov. V praktickej časti si rozoberieme postup implementácie teórie do programu. Zameriame sa na vyhľadávanie špecifického daktyloskopického vzoru, ktorým je kríženie. Výsledkom práce bude spustiteľná aplikácia, ktorá nám upraví odtlačok prsta na jedno-pixlovú veľkosť a rozpozná požadované markanty. Program bude písaný v programovacom jazyku C++, ktorý je doplnený knižnicou OpenCV. V praktickej časti budú postupne zverejňované dosiahnuté výsledky po aplikovaní daného postupu.

# 1 Teoretický úvod

## 1.1 Biometria

Biometria je veda a technológia, ktorá sa zaoberá jedinečnými znakmi ľudského organizmu podľa merateľných vlastností ako napríklad časti tela, DNA, pohyby tela a správanie sa človeka. Využíva jednoznačné fyzické znaky (markanty) alebo prejavy správania sa na identifikáciu človeka.

V minulosti sa pre identifikáciu páchateľov používali praktiky ako napríklad odrezanie ucha, odľatie prstov, vypálenie tetovania. Týmto spôsobom sa docielilo, že na páchateľovi vytvorili jedinečný znak, podľa ktorého ho mohli neskôr ľahšie identifikovať. Ako prvý sa popisom osoby začal zaoberať francúzsky policajt Alphonse Bertillion (1853 – 1914). Navrhol taký spôsob identifikácie osôb, ktorý zaznamenával 11 telesných rozmerov, ktoré sa zapisovali na trestné karty páchateľov. Neskôr sa tento postup identifikácie osôb preniesol do Ruska aj USA. Prvé ručné zachytenie obrázka uskutočnil Sir William Herschel, ktorý pracoval pre verejné služby v Indii. Na zadnej strane každej zmluvy nechal zaznamenať odtlačok ruky zamestnanca. Týmto spôsobom mohol rozlíšiť, či vypláca výplatu správnej osobe. Na Slovensku sa biometrii začal venovať ako prvý František Protiwenski. V súčasnosti sa pre identifikáciu osôb používajú rôzne ručné aj automatizované metódy pre rôzne časti tela (Kypta, 2012).

Overovanie totožnosti osoby môžeme rozdeliť na dva hlavné o kruhy. Prvým je identifikácia osoby a druhým je verifikácia osoby.

Identifikácia je proces porovnávania danej osoby s inými osobami v zázname. Príkladom identifikácie je napríklad keď páchateľ zanechá na mieste činu svoje odtlačky, ktoré sa následne porovnávajú s databázou odtlačkov v systéme AFIS. Pri zlej kvalite odtlačku prsta sa môžu odtlačky porovnávať aj manuálne.

Verifikácia je proces overovania určitej osoby. Jedná sa o autentizáciu, ktorá môže prebiehať medzi jednotlivou osobou alebo medzi viacerými osobami. Príkladom je napríklad vstup do budovy alebo systému, kde program alebo určený pracovník vyhodnotí či sa jedná o dotyčnú osobu a povolí jej v stup.

(Kypta, 2012)

Biometrické znaky môžeme rozdeliť na dve hlavné skupiny:

1. Anatomicko-fyzologické 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
- Písmo
- Chôdza
- Stopy zubov
- Písanie na klávesnici

V súčasnosti sa pre identifikáciu osôb nevyužívajú všetky biometrické znaky.

## 1.2 Daktyloskopia

Daktyloskopia pochádza z gréckeho slova *daktylos* – prst a *skopeo* – pozerat'. Je to kriminálna vedecká disciplína, ktorá skúma papilárne línie na končekoch prstoch, dlaniach a na spodnej časti nôh.

(Straus, 2008)

V daktyloskopie poznáme tri zákony:

1. Zákon o nemenlivosti obrazcov papilárnych línií:

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 línií.

2. Zákon o neodstrániteľnosti papilárnych línií:

Papilárne línie sú neodstrániteľné, pokiaľ nie je odstránená alebo zničená zárodočná vrstva kože. Pokiaľ nie je odstránená zárodočná vrstva kože, papilárne línie sa vždy obnovia.

3. Zákon o jedinečnosti papilárnych línií:

Hovorí, že na celom svete sa nenájdu dvaja ľudia, ktorí by mali zhodné obrazce papilárnych línií. 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 (Kypta, 2012).



(Straus, 2008)

Metódy vyhľadávania daktyloskopických stôp:

1. Fyzikálne metódy:

Sú založené na rozdielnej priľnavosti potu k rôznym pevným látkam ako sú napríklad grafit, magnetické prášky, bronzové prášky...

2. Chemické metódy:

Sú založené na chemickej reakcii medzi potom a chemickou zlúčeninou, pričom vznikajú rôzne farebné zlúčeniny

3. Fyzikálno-chemické metódy:

Sú založené na chemickej reakcii v miestach, kde sa nachádza daktyloskopická stopa

4. Špeciálne metódy



Obrázok 1. Daktyloskopický komparátor

## 1.3 Rozpoznávanie odtlačkov

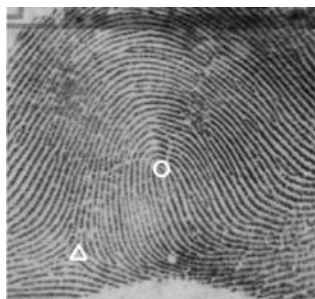
Odtlačky prstov, dlani alebo nôh môžeme deliť do troch hlavných úrovní, ktoré idú od hrubých detailov po jemné detaily. Pri dobrej kvalite odtlačku môžu byť hrubé detaily odvodené od jemnejších detailov (Maltoni, 2003).

### 1. Úroveň detailov

Pri prvej úrovni sa zisťujú 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 (Maltoni, 2003).

Pravá slučka:

Papilárne línie tvoria slučku, ktorá sa tiahne vpravo. Stred slučky sa nazýva jadro a na jeho ľavom konci sa nachádza delta. Medzi jadrom a deltou je vždy jedna prebiehajúca papilárna línia. Výskyt pravej slučky z pomedzi všetkých odtlačkov je cca 31%.



Obrázok 2. Odtlačok prvej úrovne - Pravá slučka

Ľavá slučka:

Papilárne línie tvoria slučku, ktorá sa tiahne vľavo. Stred slučky sa nazýva jadro a na jeho pravom konci sa nachádza delta. Medzi jadrom a deltou je vždy jedna prebiehajúca papilárna línia. Výskyt pravej slučky z pomedzi všetkých odtlačkov je cca 33%.



*Obrázok 3. Odtlačok prvej úrovne - Ľavá slučka*

Vír:

Papilárne línie tvoria oválne, kruhové a špirálovité obrazce. Musia obsahovať najmenej dve delty, v ktorých sa musí nachádzať aspoň jedna prebiehajúca papilárna línia. Výskyt víru z pomedzi všetkých odtlačkov je cca 29%.



*Obrázok 4. Odtlačok prvej úrovne - Vír*

Oblúk:

Papilárne línie tvoria oblúky, pričom sa v oblúku nevyskytujú delty. Výskyt oblúka z pomedzi všetkých odtlačkov je cca 4%.



*Obrázok 5. Odtlačok prvej úrovne - Oblúk*

Zúžený oblúk:

Papilárne línie tvoria zúžený oblúk, pričom sa v zúženom oblúku nachádza aspoň jedna delta. Výskyt zúženého oblúka z pomedzi všetkých odtlačkov je cca 4%.



Obrázok 6. Odtlačok prvej úrovne - Zúžený oblúk

## 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 (Marák, 2012).

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.

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 (Straus, 2008).

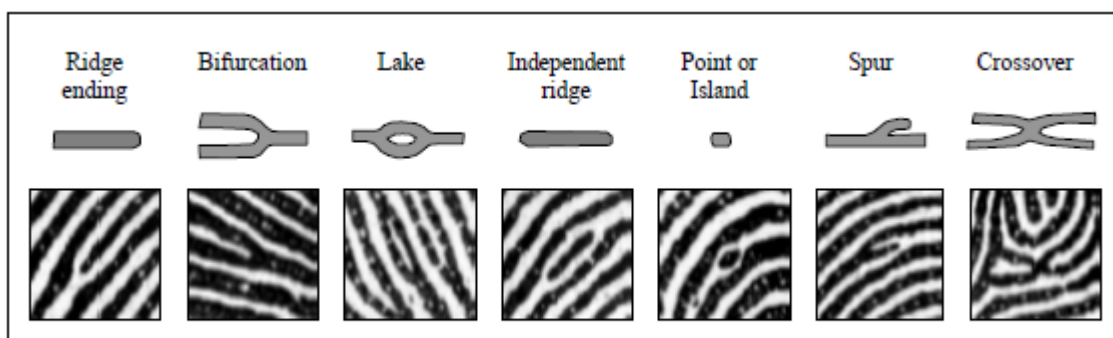


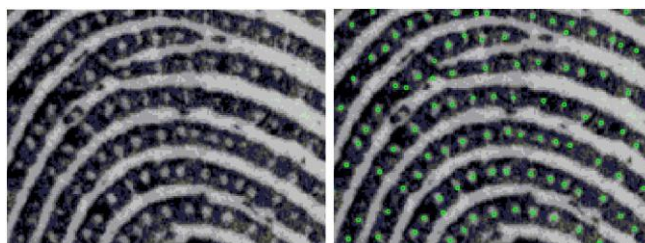
Figure 3.4. Seven most common minutiae types.

Obrázok 7. Markanty druhej úrovne

Ukončenie	Ridge ending	Koniec papilárnej línie
Rozdvojenie	Bifuraction	Papilárna línia sa vetví na dve časti
Jazero	Lake	Rozdvojenie papilárnej línie na malú vzdialenosť a nasledovné spojenie do jednej línie
Nezávislá línia	Independent ridge	Krátka náhodne sa vyskytujúca línia
Bod	Point	Náhodne sa vyskytujúci malý bod
Hák	Spur	Krátky výbežok papilárnej línie
Kríženie	Crossover	Kríženie sa dvoch papilárnych línií

### 3. Úroveň detailov

Do tretej úrovne detailov zaraďujeme tie najmenšie detaily ako sú potné póry alebo jazvy. Niektoré štáty zahrňujú do identifikácie osoby aj úroveň tretej úrovne.



Obrázok 8. Potné póry

## 2 Teoretické rozpracovanie úlohy

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 prstu, vďaka čomu môžeme lepšie lokalizovať markanty a následne ich extrahovať. Bez použitia predspracovania by sme neboli schopný 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.

Predspracovanie odtlačku prsta tvoria tieto metódy:

- Segmentácia daktyloskopického vzoru
- Normalizácia histogramu odtlačku
- Wienerov filter
- Gáborov filter
- Binarizácia
- Kostra odtlačku

Druhou fázou je samotné lokalizovanie markantov a ich extrakcia. Za pomoci algoritmov sa v rýchlej dobe nájde čo najväčší počet hľadaných markantov. Problémom počítačového spracovania je rozlišovanie markantov a tak isto aj ich presnosť.

## 2.1 Segmentácia

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

Postup pri segmentácii (Thai, 2003):

Obrázok sa rozdelí na štvorcové bloky zadanej dĺžky  $W \times W$ . Dĺžka bloku by mala zabrať jeden prechod medzi papilárnou líniou a medzerou. Intenzita šedej farby sa počíta pre každý blok samostatne. Intenzitu si vypočítame podľa vzorca (Thai, 2003):

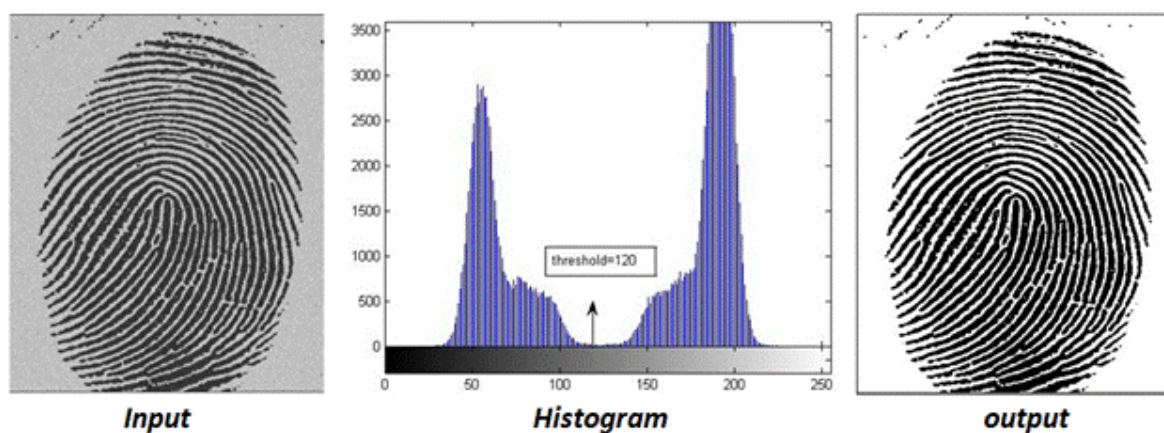
$$V(k) = \frac{1}{W^2} \sum_{i=0}^{W-1} \sum_{j=0}^{W-1} (I(i,j) - M(k))^2 \quad (i)$$

- ❖  $V(k)$  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.

## 2.2 Normalizácia histogramu odtlačku

Pri nesprávnom tlaku na snímací mechanizmus nám môže vzniknúť zlý kontrast medzi bielou a čiernou farbou. Tým pádom nedokážeme presne určiť čo je papilárna línia a čo je medzera. Hranica medzi papilárnou líniou a medzerou nie je až tak výrazná ako by mala byť, čo znamená, že okraje papilárnych línií sú bledšie namiesto tmavších a naopak, okraje medzier sú zasa tmavšej farby.



Obrázok 9. Histogram odtlačku prsta

Na dosiahnutie lepšieho kontrastu medzi papilárnou líniou a medzerou sa používa normalizácia histogramu odtlačku. Jedná sa o závislosť počtu obrazových bodov od intenzity obrazových bodov, ktorá je vyjadrená vo forme grafu z obrázka odtlačku prsta. Závislosť sa vyjadruje v hodnotách od 0 po 255.

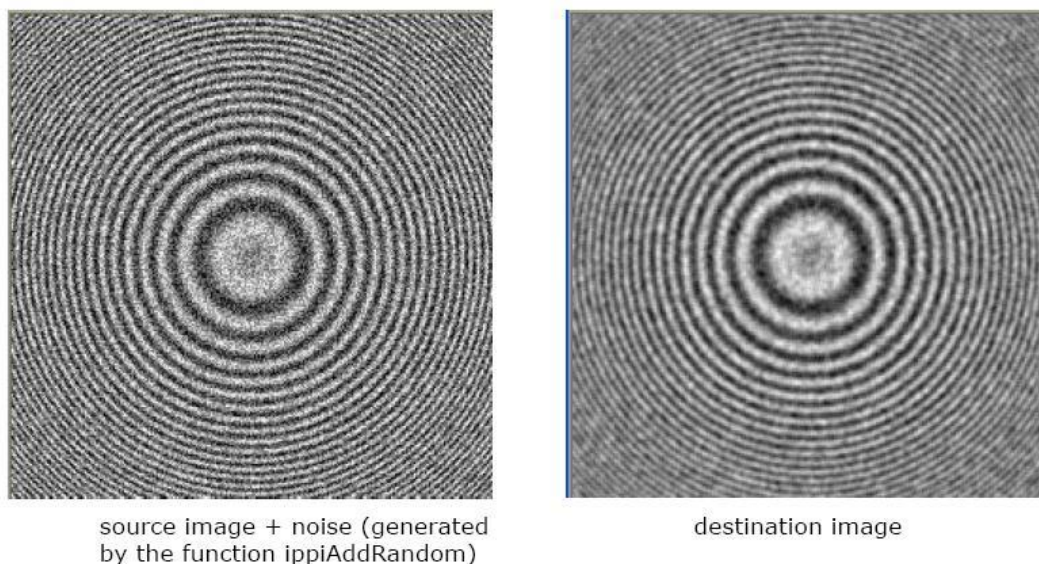
Po aplikovaní normalizácie dostaneme lepší rozdiel medzi papilárnou líniou a medzerou (Marák, 2012).



## 2.3 Wienerov filter

Wienerov filter sa používa na odstránenie aditívneho šumu z obrázka. Patrí medzi lineárne filtre. Tento šum je považovaný za biely Gaussovský šum. Wienerov filter hľadá vysoké frekvencie s vysokou variáciou v najmenších štvorcoch (bloky pixelov).

Hlavnou úlohou Wienerovho filtra je odstránenie detailov tretej úrovne akú sú drobné jazvy a potné póry. Obraz sa mierne rozostrie a potný pór sa zatrie farbou papilárnej línie (Maltoni, 2003).



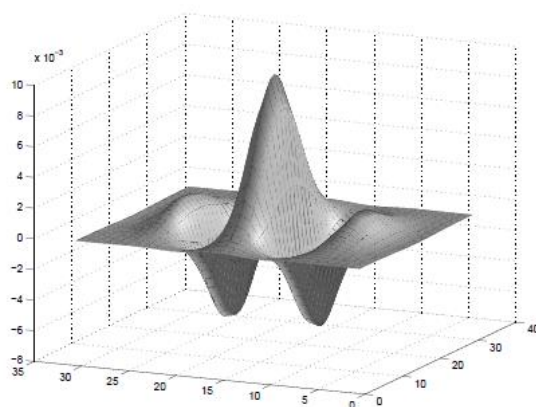
Obrázok 10. V ľavo zašumený obrázok, v pravo obrázok po úprave Wienerovým filtrom

Wienerov filter sa okrem rozostrenia detailov tretej úrovne používa aj pri segmentácii na úpravu masky. Takýto Wienerov filter používa väčšie bloky pixelov ako napríklad 300 x 300 a 150 x 150. Týmto sa docieli plynulejší tvar masky a odstránia sa bloky pixelov z odtlačku prislúchajúce k maske odtlačku.

## 2.4 Gáborov filter

Veľa krát sa môže stať, že odtlačok prsta nie je v 100% kvalite. Koža môže byť príliš zošúchaná alebo inak mechanicky či chemicky poškodená (jedná sa o malé poškodenie). Tak isto sa môže stať, že pri snímaní odtlačku sa vyvíja nadmerný tlak, čím sa nám spájajú papilárne línie. Týmto spôsobom sa nám odtlačok znehodnotí, a niektoré papilárne línie sa spoja, iné zas rozdelia (Marák, 2010).

Pre opätovné 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 (Thai, 2003).



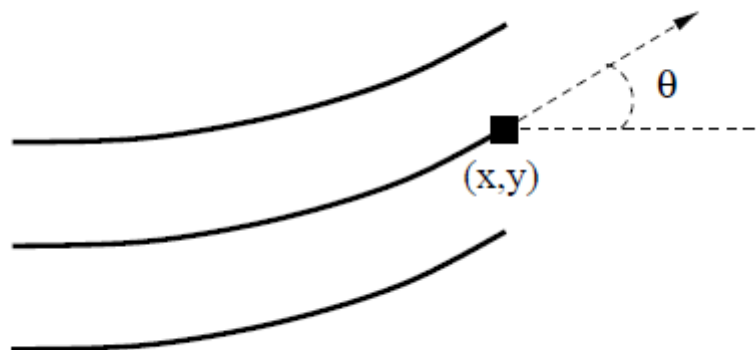
Obrázok 11. Sínusoida Gáborovho filtra

Pre správny výpočet sínusoidy potrebuje Gáborov filter poznať 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 medzerami (Thai, 2003).

### 2.4.1 Lokálna orientácia papilárnych línií

Lokálna orientácia predstavuje orientáciu papilárnej línie. Táto orientácia je daná uhlom  $\theta_{i,j}$ , ktorý zvierá s dotyčnicou papilárnej línie s horizontálnou osou (Marák, 2010). Lokálna orientácia patrí do detailov prvej úrovne, keďže sa zaoberá celkovou papilárnou líniou. Existuje viacero spôsobov pre výpočet smerovej mapy. V našej práci používame výpočet za pomoci gradientov.



Obrázok 12. Orientácia papilárnej línie

Postup (Thai, 2003):

1. Celý obrázok si rozdelíme na bloky  $W \times W$ . Následne sa nastavíme na stred bloku  $(i, j)$ .
2. Pre každý pixel v bloku vypočítame jeho gradient  $\vartheta_x(i, j)$  a  $\vartheta_y(i, j)$ .

Horizontálny Sobelov operátor  $\vartheta_x(i, j)$  násobíme konštantami

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{pmatrix} \quad (ii)$$

Vertikálny Sobelov operátor  $\vartheta_y(i, j)$  násobíme konštantami

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix} \quad (iii)$$

3. Lokálnu orientáciu pixelu  $(i, j)$  vypočítame pomocou nasledujúcich vzorcov:

$$V_x(i, j) = \sum_{u=i-\frac{W}{2}}^{i+\frac{W}{2}} \sum_{v=j-\frac{W}{2}}^{j+\frac{W}{2}} 2\vartheta_x(u, v)\vartheta_y(u, v) \quad (iv)$$

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

$$\theta(i, j) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{V_y(i, j)}{V_x(i, j)} \quad (vi)$$

$V_x(i, j)$  je priemerný odhad orientácie v smere x

$V_y(i, j)$  je priemerný odhad orientácie v smere y

$\theta(i, j)$  je odhad orientácie v celom bloku. Orientácia sa pohybuje v rozsahu  $[0, \Pi]$

4. Na obraz treba aplikovať Gaussov filter, aby sme odstránili nespojitost' v susedných blokoch. Vypočítanú smerovú mapu prevedieme do matice, ktorá je reprezentovaná parametrami  $\varphi_x$  a  $\varphi_y$ .

$$\varphi_x(i, j) = \cos(2\theta(i, j)) \quad (vii)$$

$$\varphi_y(i, j) = \sin(2\theta(i, j)) \quad (viii)$$

Následne na vypočítané matice aplikujeme Gaussov filter. Funkcia  $W(u, v)$  je Gaussov filter o veľkosti  $w_\varphi \times w_\varphi$ . Veľkosť udáva, koľko blokov sa použije na výpočet priemernej orientácie v bloku.

$$\overline{\varphi}_x(i, j) = \sum_{u=-w_\varphi/2}^{w_\varphi/2} \sum_{v=-w_\varphi/2}^{w_\varphi/2} W(u, v) \varphi_x(i - uw, j - vw) \quad (ix)$$

$$\overline{\varphi}_y(i, j) = \sum_{u=-w_\varphi/2}^{w_\varphi/2} \sum_{v=-w_\varphi/2}^{w_\varphi/2} W(u, v) \varphi_y(i - uw, j - vw) \quad (x)$$

5. Konečnú vyhladenú smerovú mapu získame pomocou nasledujúceho vzorca:

$$\overline{\theta}(i, j) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{\overline{\varphi}_y(i, j)}{\overline{\varphi}_x(i, j)} \quad (xi)$$

## 2.4.2 Lokálna frekvencia papilárnych línií

Frekvencia predstavuje taktiež maticu, do ktorej sa ukladá lokálna frekvencia odtlačku prsta daného bloku. Každý odtlačok má jedinečnú hustotu papilárnych línií, ktorá je na špičke prsta hustejšia. Prevrátená hodnota frekvencie určuje priemernú šírku papilárnej línie. Na toto zistenie využíva striedanie papilárnych línií s medzerami, pričom vyhľadáva ich extrémny (Marák, 2012).



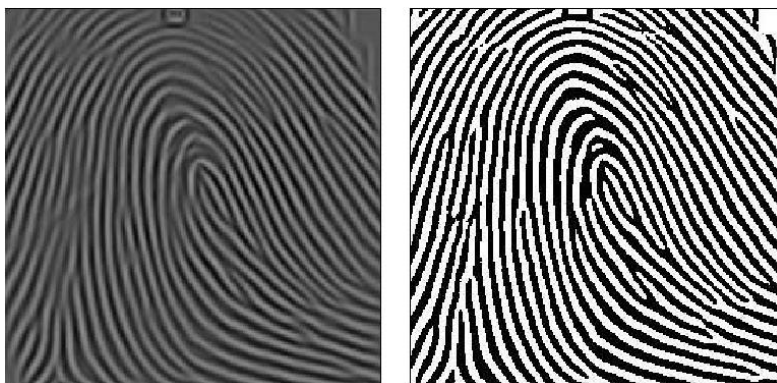
Obrázok 13. Frekvencia odtlačku prsta

## 2.5 Binarizácia

Pre správne extrahovanie markantov z odtlačku prsta potrebujeme zaručiť, aby mali pixli hodnotu 0 alebo 255 (biely a čierny). 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 pixli 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 (Thai, 2003).

**Adaptívna binarizácia** – Odtlačok si rozdelíme na bloky rovnakej dĺžky a šírky a pre každý blok si vypočítame strednú intenzitu pixlov. Potom sa jednotlivé pixli v danom bloku porovnávajú s vypočítanou strednou intenzitou bloku. V prípade, že intenzita jednotlivého pixlu bude vyššia ako stredná intenzita pixlov bloku, tak pixlu sa priradí biela farba. V opačnom prípade sa pixlu priradí čierna farba. Tento spôsob binarizácie nám dáva lepší výstup, keďže sa stredná intenzita ráta pre jednotlivé bloky a nie pre celý obrázok.

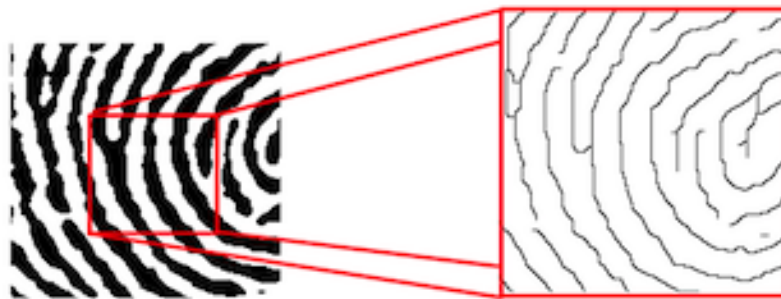
**Globálna binarizácia** – Pre celý obrázok si vypočítame strednú intenzitu pixlov. Následne budeme prechádzať celý odtlačok prstu po pixloch a porovnávať, či je intenzita pixlu menšia alebo väčšia ako stredná intenzita pixlov celého odtlačku. Prípade, že intenzita jednotlivého pixlu bude väčšia ako stredná intenzita celého obrázku, pixlu sa priradí biela farba. V opačnom prípade sa pixlu priradí čierna farba. Tento typ binarizácie je menej efektívny ako adaptívna binarizácia, pretože sa za strednú intenzitu berie celý obrázok (v niektorých lokalitách môže byť stredná intenzita väčšia alebo menšia).



Obrázok 14. Binarizácia odtlačku prsta

## 2.6 Stenčenie papilárnych línií

Posledným krokom obrazového predspracovania je stenčenie papilárnych línií. Je to krok, kedy sa všetky papilárne línie zúžia na jedno-pixlovú dĺžku. Tento krok je potrebný pre správne fungovanie algoritmov určených na vyhľadávanie markantov. Stenčením papilárnych línií nám môžu vzniknúť falošné markanty a taktiež sa menia súradnice týchto markantov. Pretože papilárne línie majú rôznu hrúbku, nemôžeme použiť algoritmus, ktorý nám tieto papilárne línie stenčí naraz. Výsledkom by bola rôzna hrúbka papilárnych línií. Stenčenie papilárnych línií sa aplikuje postupne, aby sme vždy dostali jedno-pixlovú dĺžku.



Obrázok 15. Stenčenie papilárnych línií

Guo-Hall algoritmus na stenčenie papilárnych:

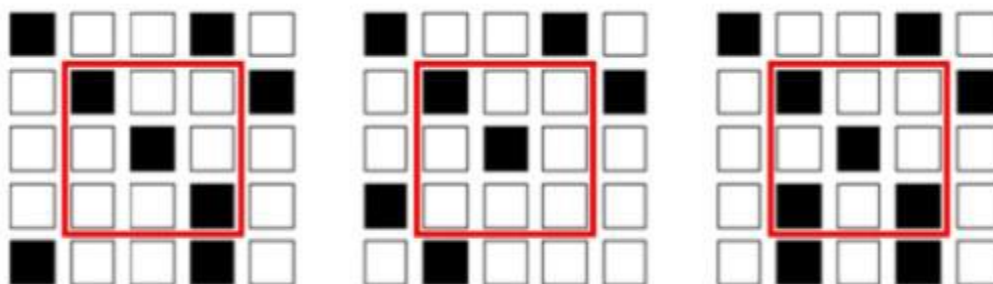
1. Rob algoritmus, pokiaľ sa body zmazávajú
2. Rob v cykle pre každý pixel  $p(i, j)$
3. Ak
  - a.  $2 \leq B(P_1) \leq 6$
  - b.  $C(P_1) = 1$
  - c. Aplikuj jeden z nasledujúcich
    - i.  $(P_2 \mid P_3 \mid !P_5) \& P_4 = 0$ ; nepárne iterácie
    - ii.  $(P_6 \mid P_7 \mid !P_9) \& P_8 = 0$ ; párne iterácie
4. Ak to platí, vymaž pixel  $p(i, j)$
5. Koniec podmienky
6. Koniec vnútorného cyklu
7. Koniec vonkajšieho cyklu

## 2.7 Lokalizácia markantov

Po obrazovom predspracovaní prichádza na rad samotná lokalizácia a následne extrakcia hľadaných markantov. Markanty sú hľadané za pomoci najpoužívanejšieho algoritmu vytvoreného pre extrakciu markantov a to Crossing Number.

**Crossing Number** – je algoritmus určený na extrakciu markantov z kostry odtlačku. V kostre sa vytvorí blok o veľkosti 3 x 3 pixlov a hľadá sa počet susediacich pixlov (čiernych pixlov) ku každému pixlu. Na základe počtu susedov je potom schopný určiť, o aký markant sa jedná. Týmto spôsobom rozlišujeme dva základné typy markantov:

- Ukončenie: nájdený bod má len jedného suseda
- Rozdvojenie: nájdený bod má troch susedov



Obrázok 16. Crossing Number

V prípade, že má nájdený bod dvoch susedov, tak sa nejedná o markant ale o pokračovanie papilárnej línie.

Okrem základných typov markantov dokáže algoritmus zistiť aj iné typy markantov ako napríklad izolovaný bod, kde sa počet susedov rovná nule a trifurkáciu (trojitá vidlica), kde sa počet susedov rovná štyrom.



### 3 Praktické rozpracovanie úlohy

Na softvérové rozpoznávanie odtlačkov prstov sme si vybrali vývojové prostredie Microsoft Visual Studio 2010. Program bol napísaný v programovacom jazyku C++. Tento program sme si rozšírili o knižnicu OpenCV, ktorá obsahuje viaceré funkcie na spracovanie obrazu. Táto knižnica sa dá pre akademické účely zdarma stiahnuť na:

<http://opencv.org/>

K tejto knižnici je mnoho dostupnej literatúry, ktorá popisuje správanie sa jednotlivých funkcií a objektov

<http://docs.opencv.org/>

Postup ako zapnúť a ovládať program a vysvetlenia naprogramovaných funkcií sa nachádza v priloženom CD. Postup sa volá Technická dokumentácia.

### 3.1 Segmentácia

V prvom kroku sme si vypočítali rozlíšenie obrázka daktyloskopického vzoru. Rozlíšenie je potrebné pre správne určenie veľkosti bloku, keďže jeden blok by nám mal zachytávať aspoň jeden prechod medzi papilárnou líniou a medzerou. Pri rozlíšení 1024 pixlov je šírka papilárnej línie 20 pixlov. Náš testovací obrázok mal v horizontálnom smere 1396 pixlov a vo vertikálnom smere 1243 pixelov. Je známe, že pre 1024 pixlov je veľkosť bloku 20 bitov. Takže pri 1396 to bude 27. Vypočítali sme si to pomocou vzorca  $(1396 / 1024) * 20$ . Keďže vertikálny smer je často podobný ako horizontálny smer, použili sme tú istú hodnotu aj pre výšku bloku. Hodnoty sme zaokrúhľovali smerom nadol.

V druhom kroku sme si vypočítali pre každý blok priemernú intenzitu šedej farby. Následne sme si vypočítali podľa vzorca (i) premenlivosť šedej farby pre každý blok. Potom sme porovnávali priemernú intenzitu šedej farby s premenlivosťou šedej farby. Keď bola hodnota premenlivosti šedej farby v danom bloku menšia ako priemerná hodnota šedej farby v danom bloku, tak sme blok priradili k poprediu.



Obrázok 17. Vľavo segmentácia, vpravo segmentácia s použitím Wienerovho filtra

Po aplikovaní segmentácie sú v maske vidieť čierne bloky vnútri odtlačku. To znamená, že v tých bodoch sú papilárnej línie poškodené a algoritmus ich priradil k pozadiu. Po aplikovaní Wienerovho filtra sa nám maska zaobľý a popredie sa stane súbežné. Na masku sme aplikovali trojicu Wienerových filtrov s veľkosťou blokov 50, 100 a 200.

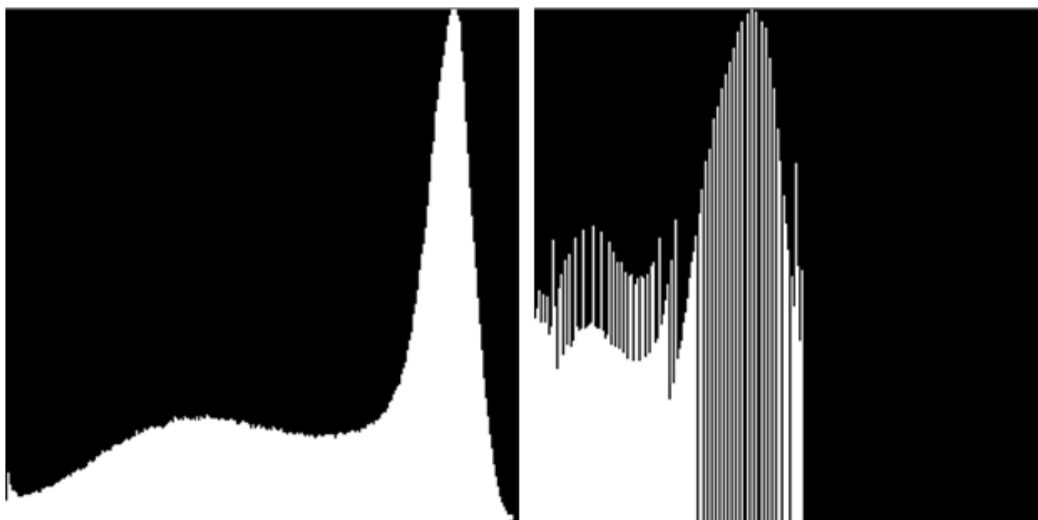
### 3.2 Normalizácia histogramu odtlačku

Po segmentácii nasleduje normalizácia histogramu odtlačku, ktorá nám vylepší prechod medzi papilárnou líniou a medzerou. Na odtlačok prsta bola aplikovaná funkcia `equalizeHist()`, ktorá nám obrázok znormalizovala.



Obrázok 18. Vľavo obrázok pred normalizáciou histogramu, vpravo obrázok po normalizácii histogramu

Program nám následne vytvorí graf reprezentujúci normalizáciu histogramu. Tento graf predstavuje závislosť počtu obrazových bodov od intenzity obrazových bodov. Hodnoty grafu sa pohybujú od 0 po 255.



Obrázok 19. Graf normalizácie histogramu odtlačku prst

### 3.3 Wienerov filter

Normalizácia histogramu odtlačku prsta nám zvýraznila prechod medzi papilárnou líniou a medzerou a taktiež nám zvýraznila samotné papilárne línie. Ale aj po týchto úpravách nám zostávajú v obrázku detaily tretej úrovne ako sú napríklad potné póry a malé jazvy, škrabance. Na čiastočné odstránenie týchto detailov je určený Wienerov filter, ktorý odstráni šum z obrázka a rozmáže pixli. Týmto rozmazaním dosiahneme to, že tam kde bol predtým biely potný pór, je teraz čiastočne čierna škvrna.



Obrázok 20. Vľavo obrázok pred Wienerovým filtrom, vpravo obrázok po aplikovaní Wienerovho filtra

Po aplikovaní Wienerovho filtra sa nám obrázok na prvý pohľad nezmenil. Keď si však obrázok zväčšíme, tak si môžeme všimnúť jemné rozmazanie, ktoré nám zakrylo potné póry.



Obrázok 21. Wienerov filter

### 3.4 Orientačná mapa

Ako najdôležitejšia časť obrazového predspracovanie je Gáborov filter, ktorý pozostáva zo smerovej mapy odtlačku prsta. Smerovú mapu sme si vytvorili tak, že sme obrázok rozdelili na bloky 31x31, v ktorých sme si vypočítali orientáciu papilárnej línie. Bloky musia mať nepárnu hodnotu. Orientáciu sme si vypočítali tak, že sme si vypočítali gradienty (kolmé vektory na papilárne línie) v ose  $x$  a  $y$  za pomoci funkcie Sobel(). Následne sme spriemerovali gradienty a použili na ne nízko priepustný Gaussov filter, ktorý nám spriemeroval hodnoty pixlov udávajúcich smer papilárnej línie. Nakoniec sme si vytvorili maticu, do ktorej sme ukladali smery blokov. Orientácia bola v intervale  $\langle 0, \Pi \rangle$ .



Obrázok 22. Orientácia papilárnych línií



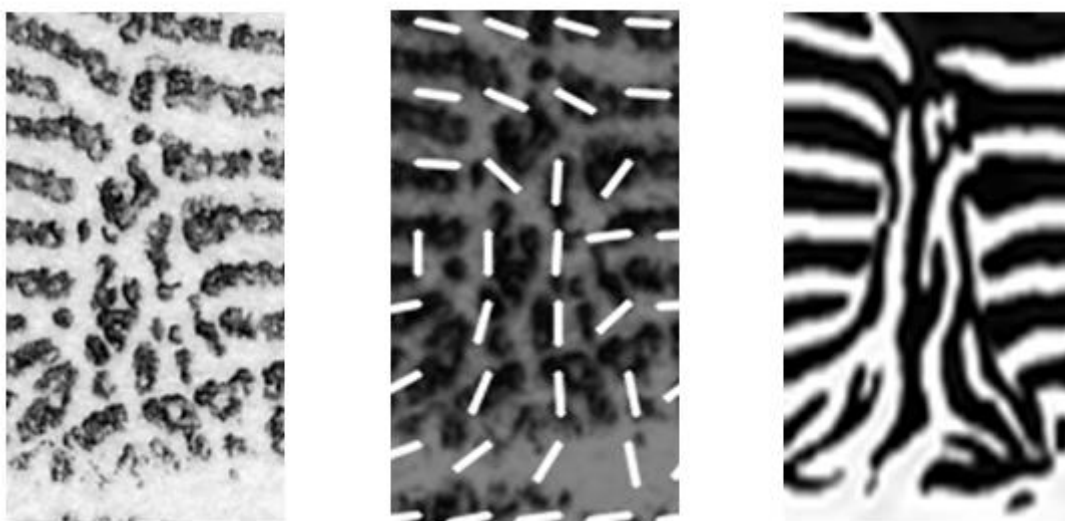
### 3.5 Gáborov filter

Po vypočítaní smerovej mapy sme si zistili smer papilárnych línií. Ten nám zaistí, že keď bude odtlačok prsta trochu poškodený a papilárna línia bude pretrhnutá, tak Gáborov filter nám za pomoci predpokladaného smeru papilárnej línie doplní chýbajúce pixli. Gáborov filter je najdôležitejším krokom v obrazovom predspracovaní, keďže nám oddelí papilárne línie od pozadia a doplní poškodené časti. V implementovanom algoritme na Gáborov filter sme si najskôr zvolili veľkosť jadra na hodnotu 31, ktorá nám určovala bloky, v ktorých 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.

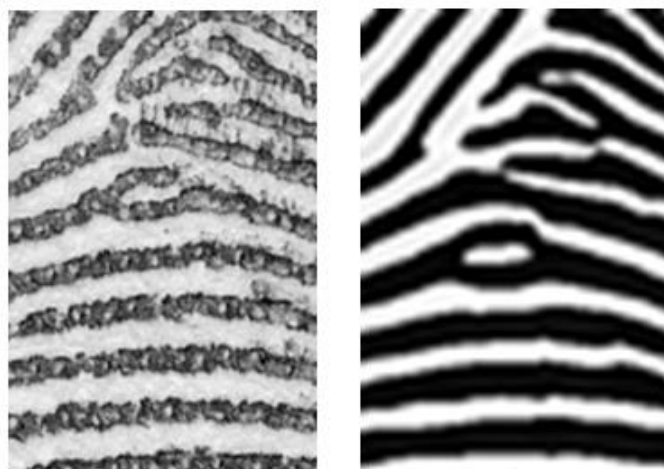


Obrázok 23. Obrázok po aplikovaní Gáborovho filtra

Ako si môžeme všimnúť, niektoré papilárne línie sú užšie a niektoré širšie. To je zapríčinené tým, že frekvencia papilárnej línie mala konštantnú hodnotu a nevypočítavala sa pre každý blok samostatne. Jednou z nevýhod Gáborovho filtra je to, že nám spája papilárne línie a vytvára falošné markanty. Je to zapríčinené tým, že Gáborov filter počíta intenzitu konkrétneho pixlu za pomoci okolitých pixlov. Takže keď sú 2 papilárne línie blízko seba, tak ich Gáborov filter spojí. V miestach, kde sa nám nepodarilo určiť orientáciu papilárnej línie sú výsledné papilárne línie nespojité a porušujú smer papilárnej línie.



Obrázok 24. Vľavo poškodená časť originálneho obrázka, v strede smer papilárnych línií, vľavo úprava Gáborovým filtrom



Obrázok 25. Vľavo originálny obrázok s hákom, vpravo zaniknutý hák po aplikovaní Gáborovho filtra

Pri segmentácii odtlačku prsta sme si vytvorili 2 masky. Jedna maska bola základná, ktorá určovala hrubé obrysy odtlačku prsta. Na druhú masku sme aplikovali trojnásobný Wienerov filter, ktorý nám hrubú masku zaoblil a urobil súbežné popredie. Pri skúšaní Gáborovho filtra na odtlačok prsta sme spozorovali, že keď použijeme masku s Wienerovým filtrom, tak nám spojí okrajové papilárne línie. Riešením bolo použiť na obrázok hrubú masku, následne aplikovať na obrázok histogram odtlačku, Wienerov filter a samotný Gáborov filter a až potom aplikovať na obrázok masku upravenú Gáborovým filtrom. Tým docielime, že papilárne línie na okraji masky nebudú spojené.



*Obrázok 26. Vľavo spojené okraje papilárnych línií, vpravo nespojené okraje papilárnych línií*



### 3.6 Binarizácia

Po výstupe z Gáborovho filtra máme takmer čiernobiely odtlačok. Výnimkou sú iba medzery, ktoré nie sú úplne biele a okraje papilárnych línií, ktoré nie sú úplne čierne.



Obrázok 27. Výsledok po binarizácii z rôznej časti obrázka

Na binarizovanie odtlačku prsta sme použili metódu `treshold()`, ktorá nám vráti odtlačok z hodnotami 0 alebo 255 (čierna alebo biela). Jedná sa o globálnu binarizáciu, do ktorej zadáme vstupný parameter a na základe toho parametru priradí hodnotu pixlom. Pixlom s hodnotou menšou ako zadaný parameter priradí hodnotu 0 a pixlom s hodnotou väčšou ako zadaný parameter priradí hodnotu 255.



Obrázok 28. Obrázok po binarizácii

### 3.7 Stenčenie papilárnych línií

Posledným krokom obrazového predspracovania je stenčenie papilárnych línií. Je to krok, kedy sa papilárne línie stenčia na hrúbku jedného pixla. Tento krok je možné aplikovať až po binarizácii, kedy má obrázok odtlačku prsta hodnoty 0 alebo 255. Na zúženie papilárnych línií sme použili Guo-Hall algoritmus, ktorý nám postupne zužoval papilárne línie, až kým nemali hrúbku jedného pixla.



Obrázok 29. Výsledok po stenčení papilárnych línií

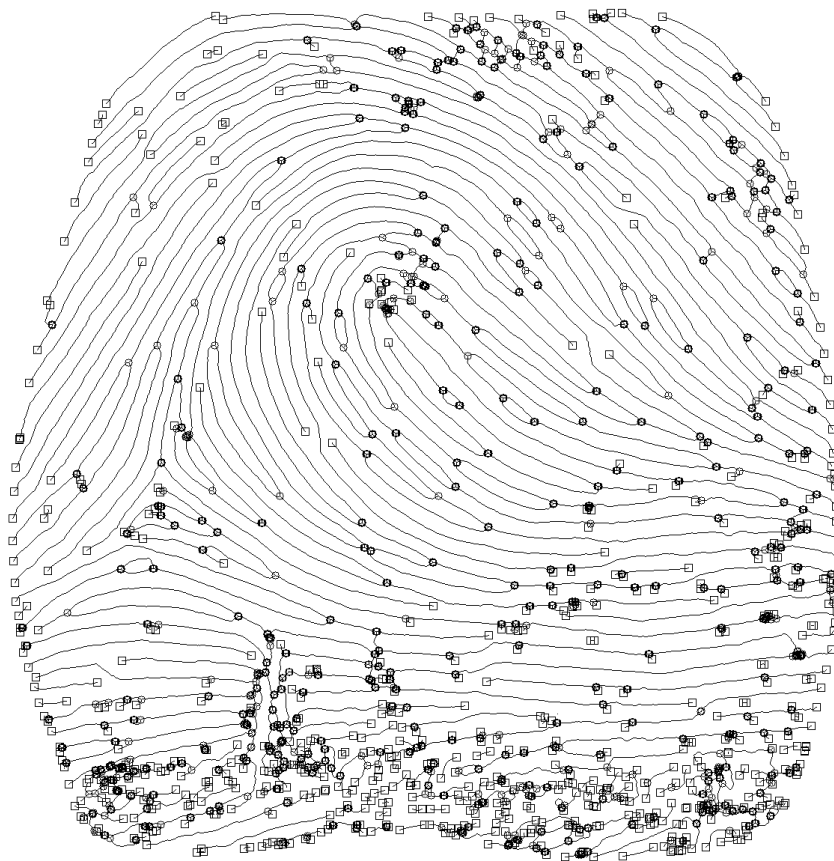
Pre stenčenie papilárnych línií sme vyskúšali 2 algoritmy a to Zhang-Suen a Guo-Hall. Pri algoritme Zhang-Suen nám v obrázku zostávali nadbytočné pixli, čo nám robilo problémy pri metóde Crossing Number. Po aplikovaní metódy Guo-Hall sme dosiahli, že obrázok sa nám správne zúžil na jedno-pixlovú dĺžku.



Obrázok 30. Vľavo stenčenie podľa Zhang-Suen, vpravo stenčenie podľa Guo-Hall

### 3.8 Lokalizácia základných markantov

Po úspešnom obrazovom predspracovaní a stenčení obrázka na jedno-pixlovú hrúbku prichádza na rad samotné rozpoznávanie markantov. Rozpoznávanie markantov je aplikované za pomoci metódy Crossing Number, ktorá je popísaná v teoretickej časti. Táto metóda prechádza obraz pixel po pixli a počíta jeho susedov. Podľa počtu susedov je potom schopná určiť, či sa jedná o ukončenie alebo o rozdvojenie. Keď metóda zistí, že sa jedná o markant, tak uloží jeho súradnice do matice. Táto metóda nám určí niektoré markanty viac krát, čo má za následok zdvojenie vzoru.



Obrázok 31. Kruhy predstavujú rozdvojenie, kocky predstavujú ukončenie

Ako si môžeme na obrázku všimnúť, v poškodenej časti obrázka sú papilárne línie poškodené (pretrhnuté na viacerých miestach). Preto nám algoritmus Crossing Number zistil toľko veľa markantov v poškodených častiach.

### 3.9 Detekcia falošných markantov

Po aplikovaní masky na odlačok prsta sme prišli o niektoré časti papilárnych línií a samotné papilárne línie ostali ukončené. Algoritmus Crossing Number ich označil ako markant ukončenie, aj keď sa jednalo o falošné ukončenie. V metóde FalseMarkant() máme algoritmus, ktorý porovnáva všetky nájdené ukončenia a rozdvojenia a porovnáva ich s maskou. Keď algoritmus v okolí piatich pixlov nájde masku, tak markant označí za falošný a odstráni ho z matice markantov.



Obrázok 32. Vľavo falošné ukončenia v dôsledku masky, vpravo odstránenie falošných ukončení

Ďalej nám algoritmus Crossing Number označil niektoré rozdvojenia ako dvojité, čím by nám vznikli problémy pri rozoznávaní ďalších markantov ako je napríklad jazero. Implementovaný algoritmus v metóde FalseMarkant() nám nájde každé rozdvojenie a odstráni všetky iné rozdvojenia v okolí piatich pixlov.



Obrázok 33. Vľavo dvojité falošné rozdvojenia, vpravo iba s jedným pravým rozdvojením

### 3.10 Markant prekríženie

Našou hlavnou úlohou bolo nájsť markant prekríženie. Jedná sa o markant, kde sa dve papilárne línie ukončia a jedna z nich sa prekríži. Keďže sa tento typ markantu nenachádza bežne na prstoch, boli sme nútení si ho umelo vyrobiť. Keď by sme si umelý markant pridali do pôvodného obrázka, tak by nám ho Gáborov filter spojil do jednej papilárnej línie. Preto sme si ho museli vyrobiť až po stenčení papilárnych línií.



Obrázok 34. Prekríženie

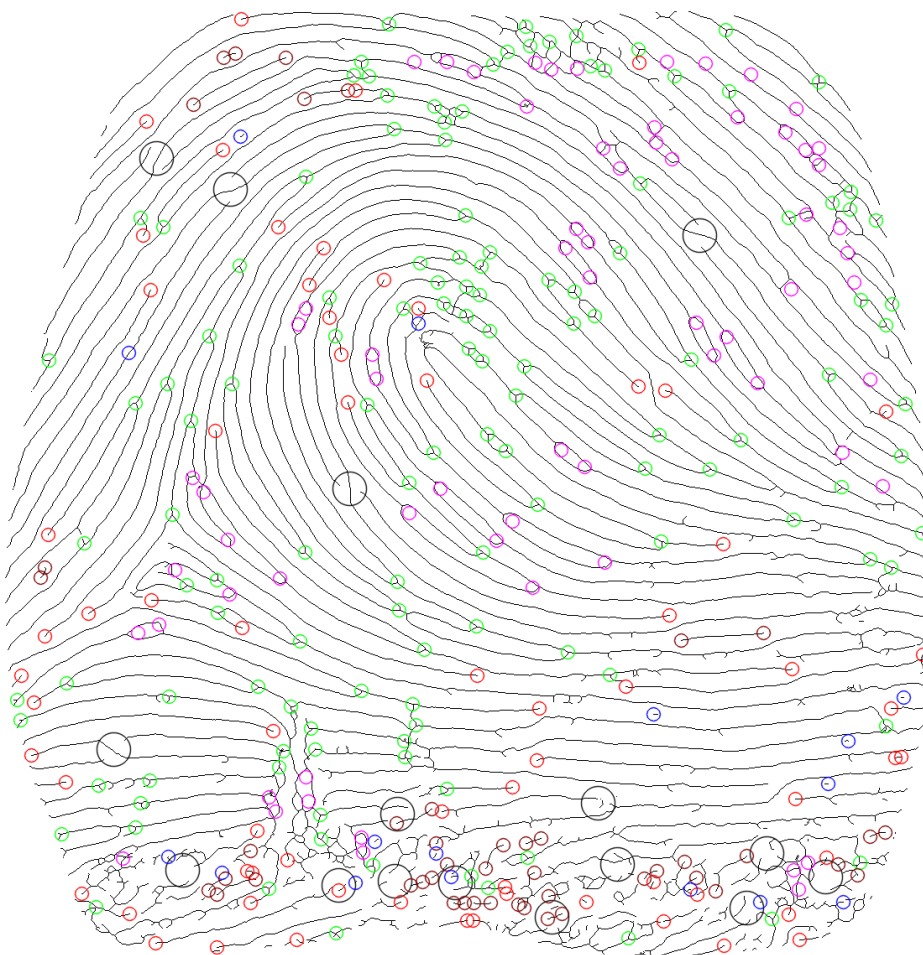
Algoritmus na hľadanie prekrížení funguje nasledovne:

1. Prechádzaj celým obrázkom pixel po pixli a hľadaj ukončenia
2. Ak nájdeš ukončenie, tak vytvor blok okolo pixla a hľadaj v ňom ďalšie ukončenie
  - a. Ak nájdeš ďalšie ukončenie, nastav začiatky a konce indexov pre vytvorenie ďalšieho bloku ohraničeného dvomi nájdenými ukončeniami
  - b. Prechádzaj celým blokom a keď nájdeš pixel rob nasledovné
    - i. Porovnaj vzdialenosti, či sa nejedná o falošný markant
    - ii. Ak sa jedná o markant prekríženie, tak ho ulož do matice prekrížení
  - c. Skonči
3. Skonči

Po nájdenej všetkých prekrížení je ešte potrebné vylúčiť falošné prekríženia, ktoré vznikli v dôsledku falošných ukončení.

### 3.11 Nájdené markanty

Poslednou časťou softvérového spracovania odtlačkov prstov je vykreslenie markantov. Postupne sa prechádzajú všetky matice, v ktorých sú uložené polohy markantov a zobrazujú sa do obrázka v rôznych farbách.



Obrázok 35. červená - ukončenie, zelená - rozdvojenie, modrá - izolovaný bod, hnedá - fragment, fialová – jazero, čierna - križenie

## Záver

Na základe dosiahnutých výsledkov môžeme povedať, že sme splnili požadované ciele. Navrhnutý program je schopný predspracovať pôvodný obrázok a následne z neho extrahovať konkrétne markanty. Vďaka knižnici OpenCV, ktorú sme pripojili k programu napísanom v programovacom jazyku C++ sme mohli používať funkcie, ktoré nám uľahčovali prácu s obrázkami. Pre obrazové predspracovanie bolo najväčším prínosom použitie Gáborovho filtra, ktorý nám opravil väčšinu nejasne rozlíšiteľných papilárnych línií a takmer úplne oddelil popredie od pozadia. Nevýhodou tohto filtra bola jeho časová náročnosť, keďže k samotnému použitiu filtra je potrebná smerová mapa. Najväčšou nevýhodou bolo to, že nám filter spojil niektoré papilárne línie a tým nám vytvoril aj falošné markanty. Pri vyhľadávaní markantov bolo naším cieľom okrem iných markantov nájsť markant prekríženie, ktorý doposiaľ nebol nájdený nami známymi algoritmy. Nami aplikovaným algoritmom sme schopný nájsť markant prekríženie.

# Zoznam použitej literatúry

**ANIL K.** 2002. *Biometrics Personal Identification in Networked Society*. New York, ISBN: 0-306-47044-6

**GÁŽI T.** 2013. *Rozpoznávanie a spracovanie odtlačkov prstov pomocou informačných technológií*. Bakalárska práca. Bratislava FEI STU 2013.

**KOCHARYAN D.** 2013. *An Efficient Fingerprint Image Thinning Algorihm*, *American Journal of Software Engineering and Applications*. Vol 2, No. 1, 2013, pp. 1-6. doi: 10.11648/j.ajsea.20130201.11

Dostupné na:

<<http://article.sciencepublishinggroup.com/pdf/10.11648/j.ajsea.20130201.11.pdf>>

**Kypta P.** 2012. *Biometria* (Citované 2014-2-12)

Dostupné na: <<http://www.epi.sk/odborny-clanok/Biometria.aspx>>

**MALTONY D., MAIO D., JAIN A., PRABHAKAR S.** 2003. *Hanbook of 3. Fingerprint Recognition*. Springer New York, 2003, ISBN: 0-387-95431-7

**MARÁK P.** 2012. *Automatizované spracovanie charakteristických vlastností odtlačkov prstov*. Bakalárska práca. Bratislava FEI STU 2012.

**ROSS A., JAIN A., NANDAKUMAR K.** 2011. *Introduction to Biometrics*. Springer New York Dordrecht Heidelberg London, 2011. ISBN: 978-0-387-77325-4

**STAN Z.** 2009. *Encyclopedia of Biometrics*. Springer Science+Business Media, ISBN: 978-0-387-73003-5

**STRAUS J., a kol.** 2008. *Kriminalistická technika*, 2. Vydání, Plzeň, 2008, ISBN: 978-80-7380-052-9



**THAI R.** 2003. *Fingerprint Image Enhancement and Minutiae Extraction*. University of Western Australia, 2003

**OpenCV** (Citované 2014-5-10)

Dostupné na: <<http://opencv.org/>>

**Microsoft Visual C++ 2010** (Citované 2014-5-10)

Dostupné na: <<http://www.microsoft.com/>>

# Prílohy

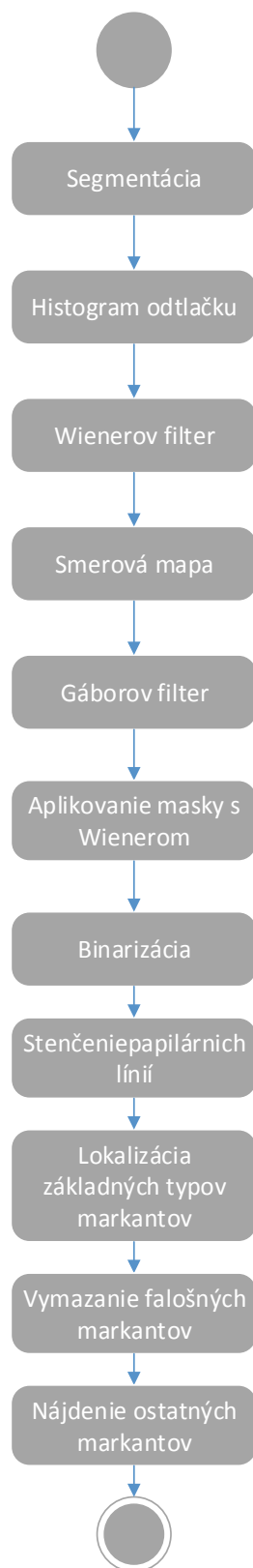
Príloha A: CD s priloženými súbormi .....	II
Príloha B: Aktivita diagram programu .....	III

# **Príloha A: CD s priloženými súbormi**

Na priloženom CD sa nachádzajú nasledovné súbory:

- bakalárska práca v PDF
- technická dokumentácia v PDF
- program s potrebnými knižnica
- zdrojové kódy programu

## Príloha B: Aktivita diagram programu



Obrázok 36. Aktivita diagram programu