

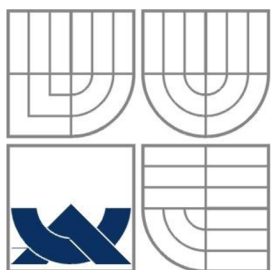
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Fakulta informačních technologií
Faculty of Information Technology

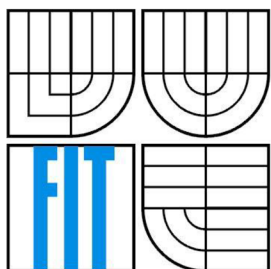
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

Brno, 2016

Martin Šesták



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

ROZPOZNÁNÍ ONEMOCNĚNÍ KŮŽE NA PRSTECH LIDSKÉ RUKY

RECOGNITION OF SKIN DISEASES ON FINGERPRINTS OF A HUMAN HAND

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Šesták

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing., Dipl.-Ing. Martin Drahanský, Ph.D.

BRNO 2016

Vysoké učení technické v Brně - Fakulta informačních technologií

Ústav inteligentních systémů

Akademický rok 2015/2016

Zadání bakalářské práce

Řešitel: **Šesták Martin**

Obor: Informační technologie

Téma: **Rozpoznávání onemocnění kůže na prstech lidské ruky**
Recognition of Skin Diseases on Fingers of a Human Hand

Kategorie: Umělá inteligence

Pokyny:

1. Prostudujte literaturu týkající se rozpoznávání otisků prstů a onemocnění kůže na prstech. Seznamte se s databází otisků prstů s onemocněním kůže, která je k dispozici.
2. Navrhněte vhodnou metodu pro detekci onemocnění v otisku prstu. Pro vybrané druhy onemocnění navrhněte algoritmický postup pro stanovení druhu tohoto onemocnění.
3. Navržené řešení z předchozího bodu implementujte.
4. Otestujte Vaše řešení na databázi otisků prstů s onemocněními kůže.
5. Shrňte a diskutujte dosažené výsledky.

Literatura:

- DOLEŽEL Michal, DRAHANSKÝ Martin, URBÁNEK Jaroslav, BŘEZINOVÁ Eva a KIM Tae hoon. Influence of Skin Diseases on Fingerprint Quality and Recognition. *New Trends and Developments in Biometrics*. Rijeka: InTech - Open Access Publisher, 2012, s. 275-303. ISBN 9789535108597.
- SPURNÝ Jan, KANICH Ondřej, DRAHANSKÝ Martin, DOLEŽEL Michal a SHINODA Koichi. New materials for spoofing touch-based fingerprint scanners. In: *Proceedings of International Conference on Computer Application Technologies 2015*. Matsue: IEEE Computer Society, 2015, s. 207-211. ISBN 978-1-4673-8211-3.

Pro udělení zápočtu za první semestr je požadováno:

- Body 1 a 2.

Podrobné závazné pokyny pro vypracování bakalářské práce naleznete na adrese

<http://www.fit.vutbr.cz/info/szz/>

Technická zpráva bakalářské práce musí obsahovat formulaci cíle, charakteristiku současného stavu, teoretická a odborná východiska řešených problémů a specifikaci etap (20 až 30% celkového rozsahu technické zprávy).

Student odevzdá v jednom výtisku technickou zprávu a v elektronické podobě zdrojový text technické zprávy, úplnou programovou dokumentaci a zdrojové texty programů. Informace v elektronické podobě budou uloženy na standardním nepřepisovatelném paměťovém médiu (CD-R, DVD-R, apod.), které bude vloženo do písemné zprávy tak, aby nemohlo dojít k jeho ztrátě při běžné manipulaci.

Vedoucí: **Drahanský Martin, doc. Ing., Dipl.-Ing., Ph.D., UITS FIT VUT**

Datum zadání: 1. listopadu 2015

Datum odevzdání: 18. května 2016 **VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

Fakulta informačních technologií
Ústav inteligentních systémů
612 66 Brno, Božetěchova 2
L.S.

doc. Dr. Ing. Petr Hanáček
vedoucí ústavu

Abstrakt

Táto bakalárska práca sa zaoberá návrhom metód a aplikácie na rozpoznávanie odtlačkov prstov poškodených ochoreniami kože od zdravých a následnou detekciou vybraných chorôb. V prvej časti sú popísané základné princípy biometrie, úvod k odtlačkom prstov a ich spracovaniu a úvod do problematiky kožných chorôb postihujúcich prsty. V ďalšej časti je popísaná implementácia aplikácie a jej výsledky. Aplikácia bola testovaná na databáze vedeckej skupiny STRaDe z Ústavu inteligentných systémov Fakulty informačných technológií Vysokého učení technického v Brne, ktorá obsahuje približne 380 testovacích odtlačkov.

Abstract

This bachelor thesis deals with the design of methods and application for recognition of the fingerprints from diseased and healthy fingers and the subsequent detection of selected diseases. The first part describes basic principles of biometrics, introduction to fingerprints and their processing, and introduction to the topic of fingerprints affected by skin diseases. The next section describes the implementation of the application and its results. The application was tested on a database of research group STRaDe, from the Department of Intelligent Systems, Faculty of Information Technology, Brno University of Technology, which contains approximately 380 test fingerprints.

Kľúčové slová

biometria, odtlačok prsta, ochorenie kože, papilárne línie, ochorenie kože, spracovanie obrazu, pole orientácií, detekcia, klasifikácia, OpenCV

Keywords

biometrics, fingerprint, skin disease, papillary ridges, image processing, orientation field, detection, classification, OpenCV

Citácia

Martin Šesták: Rozpoznání onemocnění kůže na prstech lidské ruky, bakalářská práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2016

Rozpoznání onemocnění kůže na prstech lidské ruky

Prehlásenie

Prehlasujem, že som túto bakalársku prácu vypracoval samostatne pod vedením doc. Ing., Dipl.-Ing. Martina Drahanského, Ph.D. Uviedol som všetky literárne pramene a publikácie, z ktorých som čerpal.

.....
Martin Šesták
16. mája 2016

Pod'akovanie

Týmto by som rád poďakoval doc. Ing., Dipl.-Ing. Martinovi Drahanskému, Ph.D za poskytnutú pomoc, odborné vedenie, ochotu, ústretový prístup a čas venovaný pri konzultáciách k téme mojej bakalárskej práce.

© Martin Šesták, 2016

Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů..

Obsah

Obsah	1
1 Úvod.....	2
2 Biometria.....	3
2.1 História	3
2.2 Základné pojmy	4
2.3 Biometrický systém	5
3 Biometria odtlačku prstov	6
3.1 Charakteristika odtlačku prsta	6
3.2 Základné princípy spracovania odtlačkov	8
3.3 Vplyv dermatologických chorôb na odtlačky prstov	10
4 Návrh aplikácie	10
4.1 Popis vybraných chorôb	10
4.2 Návrh implementácie.....	12
5 Implementácia.....	14
5.1 Predspracovanie obrazu	14
5.2 Detekcia zdravoti odtlačku.....	19
5.3 Detekcia konkrétnych chorôb	25
5.4 Obecné fungovanie aplikácie.....	28
6 Testovanie a zhodnotenie dosiahnutých výsledkov	30
6.1 Testovacie databázy	30
6.2 Testovanie detekcie zdravoti.....	30
6.3 Testovanie detekcie konkrétnych chorôb	31
7 Záver	33

1 Úvod

Ľudstvo využíva a je schopné rozpoznávať biometrické vlastnosti (pojmem biometria bude vysvetlený v 2. kapitole) už od počiatku vekov. Človek sa dennodenne stretáva s rôznymi jedincami svojho druhu, či už so známymi alebo neznámymi. Tých vie jednoducho a jasne identifikovať na základe rôznych biometrických vlastností. Medzi ne patria anatomické vlastnosti, napríklad tvár, dľaň človeka, odtlačok prsta, sietnica, dúhovka oka, a behaviorálne vlastnosti ako hlas, reč, mimika tváre, pohyb pier a aj napríklad chôdza človeka. Anatomické fyzické a dynamické vlastnosti sa líšia tým, že anatomická a fyzická vlastnosť je vždy prítomná, je to jeden pevný rys. Táto vlastnosť nie je ľahko ovplyvniteľná stavom človeka. Dynamická vlastnosť je spojená s nejakou akciou konkrétneho človeka a je jednoducho ovplyvniteľná fyzickým a aj psychickým stavom človeka. Každé snímanie tejto vlastnosti môže viesť k úplne inej sade biometrických vzoriek. Metóda analýzy anatomických fyzických vlastností sa volá statická metóda a metódu analýzy dynamických vlastností voláme dynamická metóda [1].

Najznámejšou biometrickou vlastnosťou využívanou po celom svete je odtlačok prsta. Pri odtlačkoch vieme s určitosťou povedať, že na svete neexistujú žiadni dvaja ľudia, ktorých odtlačky prstov by mali rovnakú štruktúru a tiež vieme, že vzor a štruktúra zostáva po celý dospelý život relatívne nemenná. Táto vlastnosť je uznávaná ako celosvetový štandard policajno-súdnej identifikácie, dôkazový materiál pri riešení závažných aj menej závažnejších trestných činov, alebo na monitorovanie pohybu osôb pri cestovaní do rôznych krajín. Tiež sú uznávané ako štandard bezpečnostne-komerčnej identifikácie, prístupy do rôzne zabezpečených priestorov a prihlasovanie do rôznych systémov. Princíp identifikačnej metódy odtlačkov prstov je založený na extrahovaní unikátnych obrazcov (tzv. markantov) z papilárných línií prsta (pojmy vysvetlené neskôr v 3. kapitole). Snímanie odtlačkov prstov v tejto dobe neprebíha už len forezným spôsobom pomocou daktyloskopickej farby, ale v dnešnej dobe sa už používajú aj rôzne snímacie senzory s opticko-elektronickými čipmi rôznych technológií, ktoré umožňujú priame snímanie a vyhodnocovanie v reálnom čase, tzv. *live scanning* [2].

No aj napriek týmto vlastnostiam nie je identifikácia pomocou odtlačkov prstov bezchybná a neomylná, pretože správnosť identifikácie závisí od kvality nasnímaného odtlačku. Niektoré odtlačky sú úplne nevhodné pre automatizované rozpoznávanie alebo porovnávanie založené na markantoch. Do tejto skupiny patria prsty s rôznymi deformáciami, poruchami alebo dermatologickými ochoreniami na povrchu bruška prsta.

Moja práca sa zaoberá poslednou skupinou, ktorou sú dermatologické ochorenia. Užívatelia, ktorí trpia týmito chorobami nemôžu používať systémy využívajúce odtlačky a kvôli tomu sú automaticky znevýhodnení, napr. pri žiadosti o víza. Riešeniu tejto problematiky nie je venovaná dostatočná pozornosť, a preto cieľom mojej práce je zamerať sa na riešenie uľahčenia spracovávanía odtlačkov trpiacimi týmito defektmi.

Práca je delená na viacero kapitol podľa logických celkov. Teoretickým úvodom a zoznamením sa s biometriou a odtlačkami prstov sa zaoberajú kapitoly 2. a 3. Návrh aplikácie a jej implementácie je popísaná v 5. kapitole. Konkrétna implementácia, jej následné testovanie a zhrnutie výsledkov je popísané v kapitolách 5. a 6.

2 Biometria

Slovo biometria[3] je pôvodom z gréčtiny a skladá sa zo slov "bios", ktoré znamená život a "metron", ktoré znamená mierku. V približnom preklade "meranie života"[2]. V obore IT označujeme týmto výrazom systém alebo postup automatického rozpoznávania ľudských jedincov, na základe ich charakteristických anatomických a behaviorálnych rysov, vlastností. Iný význam má ale toto slovo napríklad v biomedicíne, kde označuje štatistické výpočty v biológii alebo v medicíne.

Biometria má veľa výhod, medzi ktoré patrí zvýšenie bezpečnosti. Odrádza útočníkov od podvodov a eliminuje pokusy o popretie identity užívateľa, pretože biometrické vlastnosti nemôžu byť ľahko prenesené a jednoducho replikované. Tiež zvyšuje pohodlie užívateľov, ktorým odpadá nutnosť pamätať si napríklad prístupový kód a tiež je vynechaná možnosť stratenia alebo odcudzenia prístupovej karty. Nič nie je dokonalé a biometria ma rovnako aj svoje nevýhody. Medzi ne patrí nejednoznačné skóre porovnávaní so systémovou šablónou z databázy, nutnosť detekcie životnosti snímanej biometrickej vlastnosti a rovnako ako každý systém, je tiež napadnuteľný. Pre užívateľov tak pri prezradení zaniká možnosť anulovať, zmeniť biometrickú vlastnosť. Používanie biometrie takisto nezachováva súkromie užívateľov. [1]

2.1 História

Použitie biometrických metód sa datuje až do faraónskych dynastií starovekého Egypta, kde boli ľudia meraní, aby mohli byť identifikovaní. Existuje mnoho písomných dokladov, popisujúcich biometrickú identifikáciu osôb v údolí Nílu, ktoré tu boli "komerčne" realizované už v období rozvoja prvého poľnohospodárstva. Ľudia pestujúci obilie boli rozpoznávaní podľa unikátnych jaziev a poranení, ktoré v minulosti utrpeli, podľa farby a ďalších charakteristík pleti, farby očí, rozmerov a váhy tela. Identifikácia roľníkov bola vykonávaná pri výkupe obilia pre centrálné sklady a slúžila k vyplácaniu mzdy, provízií za vypestované a predané obilie do spoločných rezerv. Rovnako sa podobný postup využíval pri vyplácaní mzdy robotníkom pri práci na pyramídach. [2]

Ďalšie dochované informácie o použití biometrie pochádzajú z Číny z 14. storočia nášho letopočtu, z ktorého sa uchovali kresby na skalných stenách znázorňujúce štruktúru podobnú odtlačkom prstov. Na keramike boli tiež nájdené odtlačky prstov autora, ktoré tam mohol zanechať ako dokaz o autorstve [1]. Starí Babylončania používali pri potvrdzovaní obchodných zmlúv odtlačok palca ako podpis na hlinených tabuľkách. Rovnako boli podpisované aj písomné dokumenty v Perzii [2].

Z dochovaných písomných materiálov vieme, že používanie biometrie sa začalo rozširovať v 19. storočí nášho letopočtu. V roku 1856 anglický guvernér v Indii, William James Herschel, začal používať odtlačky prstov zamestnancov železnice pre potvrdenie ich identity, pretože väčšina robotníkov nevedela písať a čítať. Pri preberaní výplatnej pásky nechal každého robotníka odtlačiť palec, čím potvrdil identitu pracovníka a prevzatie mzdy. Začal pri tom zbierať a skúmať odtlačky, vďaka čomu neskôr spísal a vydal dielo o skúmaní odtlačkov prstov [4].

Jednou z najdôležitejších osôb, ktorá významne prispela k vývoju biometrie bol Francis Galton. Ten v roku 1865 prišiel so štúdiom o dedičnosti fyzických vlastností, ktorá sa opiera o teóriu, že deti dedia od rodičov fyzické vlastnosti a aj povahové črty. Neskôr sa stáva spoluzakladateľom vedy nazvanej eugenika, ktorá je náukou o dedičných chorobách a väd plodu dieťaťa. Touto prácou nadviazal na svoj predošlý výskum.

V roku 1880 prišiel Francis Galton s vedným oborom antropometria[1]. Bola to metóda merania a zaznamenávania rozmerov rôznych častí tela, na základe ktorých bola vykonávaná identifikácia osôb. Alphonse Bertillon sa od roku 1879 zaoberal podobným postupom zvaným Bertillionáž. Jednalo sa v podstate o antropometriu s odlišnými technikami. Tieto dve metódy sa opierali o dokázané tvrdenie, že po 20. roku života zostávajú telesné rozmery nemenné a s vyšším počtom korektné zmeraní rozmerov tela, klesá riziko zámeny a chybného identifikovania osôb.

V roku 1892 vydáva dielo *Fingerprints*, z ktorého vychádza pri zavedení daktyloskopie do praxe v roku 1900. Po roku porovnávania daktyloskopie a antropometrie v roku 1894 dochádza Francis Galton k záveru, že obe metódy sú spoľahlivé a odporúča ich používať. [1]

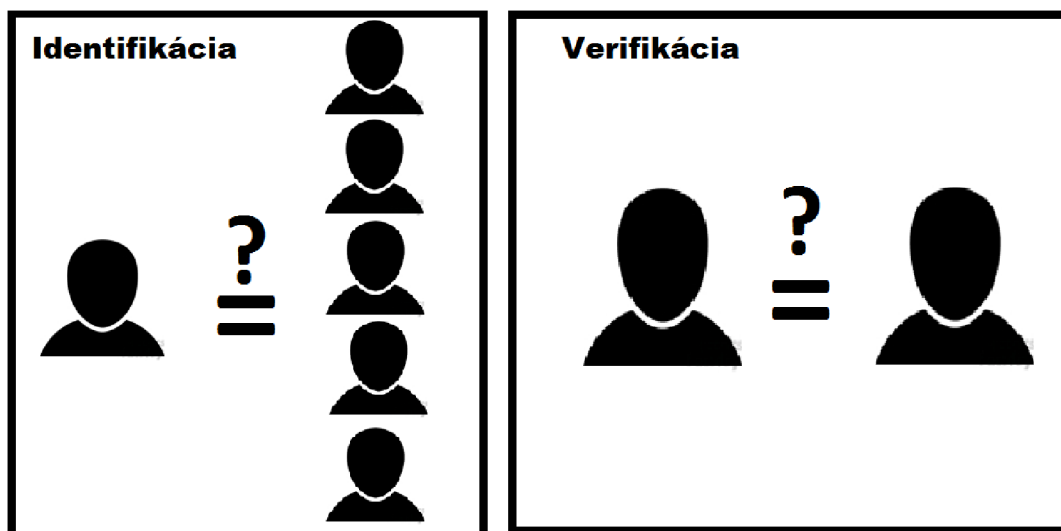
V roku 1924 bolo založené oddelenie identifikácie otlakov prstov FBI. Prvykrát bol v roku 1965 použitý daktyloskopický systém, AFIS, *Automated Fingerprint Identification System*[1], s 810 tisíc odtlačkov prstov. V roku 2000 sa toto číslo zvýšilo na 47 miliónov záznamov. V roku 2010 systém AFIS obsahuje celkom 66 miliónov záznamov a priemerne dôjde k 162 tisícom prehľadávaní denne. Reakcia na vzdialené vyhľadávanie v databáze trvá približne 1 hodinu a 10 minút, v urgentnom prípade trvá len 10 minút [1].

2.2 Základné pojmy

Rozpoznávanie osôb je založené na jednoznačnej identite jedinca. Identita[5] je jednoznačná charakteristika každého z nás. Rozlišujeme dva typy a to fyzickú a elektronickú identitu. Fyzická identita je definovaná našim výzorom a chovaním. Takúto identitu môžeme mať len jednu. Neexistuje na svete človek, ktorý má rovnakú fyzickú identitu s niekým iným. Elektronických identít môžeme mať naopak koľko chceme. To sa týka napríklad účtov na rôznych komunikačných, sociálnych a emailových portáloch.

K identifikácii sa viažu ďalšie dva pojmy. Prvým je identifikácia[3], ktorá slúži k zisteniu identity. Pod týmto pojmom si môžeme predstaviť situáciu, keď užívateľ zadá len svoju biometrickú vlastnosť bez udania identity. Úlohou systému je rozpoznať identitu užívateľa porovnaním nasnímanej biometrickej vlastnosti s celou databázou. Po celom porovnaní buď systém nájde identitu užívateľa alebo ju nenájde. Proces je ale časovo náročný, hlavne v systémoch s veľkým počtom existujúcich užívateľov v systéme, pretože nasnímaná vzorka musí byť porovnaná s každou jednou vzorkou v databáze (porovnanie 1 k N).

Druhým pojmom je verifikácia[3]. Slúži na overenie identity a prístupom je odlišná ako identifikácia. V tejto situácii užívateľ okrem nasnímanej biometrickej vlastnosti zadáva aj svoju identitu. Systém si tak nájde konkrétny záznam užívateľa v databáze. Ak ho nájde, porovná nasnímanú biometricкую vlastnosť s už existujúcou v databáze (porovnanie 1 k 1). Na obrázku 2.1 je znázornený schématický rozdiel medzi identifikáciou a verifikáciou.



Obrázok 2.1: Rozdiel medzi identifikáciou a verifikáciou.

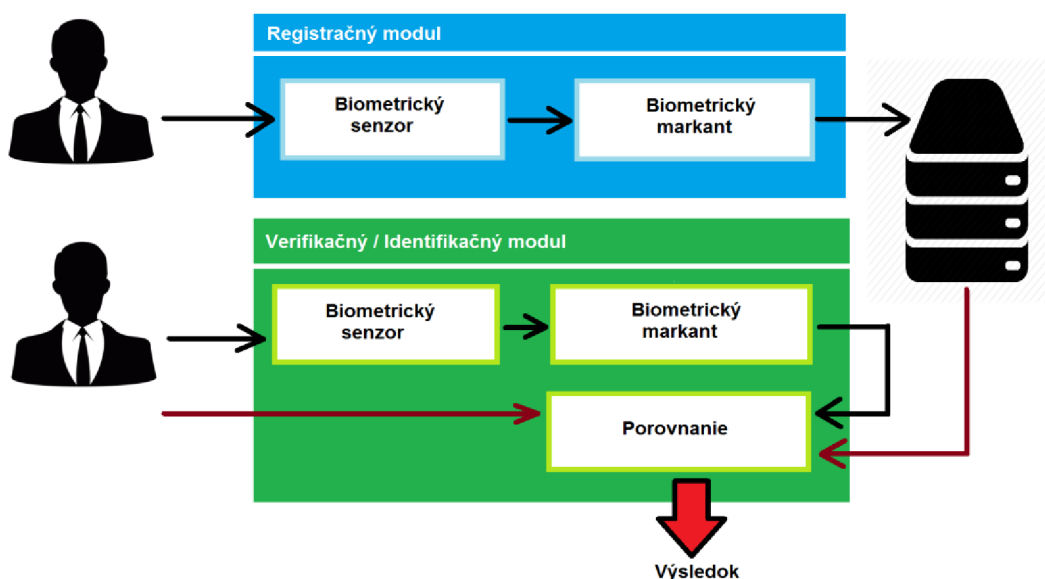
Posledným pojmom, s ktorým sa často v biometrii môžeme stretnúť je autentizácia[5]. S týmto pojmom sa väčšinou stretávame pri prístupových systémoch. Pri autentizácii systém potvrdzuje hodnovernosť (autenticitu) osoby, ktorá sa snaží získať prístup. Autentizácia sa môže vyskytovať pri identifikácii a aj pri verifikácii. Systém rozhoduje o autenticite osoby často na základe nejakého prahu, ktorý systém vypočíta. Zložitosť určenia tohoto prahu závisí od vlastnosti, ktorú porovnáваме [1].

2.3 Biometrický systém

Na automatizované spracovanie biometrických vlastností slúžia biometrické systémy. Biometrický systém[1] sa skladá z dvoch modulov, ktoré sú väčšinou integrované v jednom softwarovom balíku.

Tými modulmi sú registračný a verifikačný/identifikačný modul. V oboch moduloch sa nachádza biometrický senzor, ktorý slúži k nasnímaniu konkrétnej biometrickej vlastnosti. Tento senzor rovnako slúži na prevedenie vzorky do digitálnej podoby. Rovnako sa v týchto moduloch nachádza časť nazývaná "biometrický markant", ktorý reprezentuje extrahované rysy z nasnímanej biometrickej vzorky. Tieto biometrické rysy sú následne registračným modulom prvýkrát uložené do databázy.

Verifikačný modul spraví to isté čo registračný modul s tým rozdielom, že extrahované rysy porovná s nájdeným záznamom. Po porovnaní je užívateľ oboznámený o výsledku porovnávania. Zjednodušená schéma je znázornená na obrázku 2.2.



Obrázok 2.2: Biometrický systém.

Biometrické systémy môžeme rozdeliť na základe použitých biometrických vlastností na unimodálny a multimodálny biometrický systém[1]. V praxi rozšírenejším systémom, aj vďaka nižšej cene, je unimodálny systém, ktorý používa iba jednu biometrickej vlastnosť. Multimodálny systém používa viacero biometrických vlastností, napr. rozpoznávanie tváre a zároveň rozpoznávanie dúhovky alebo viacero príznakov jednej biometrickej vlastnosti, napr. statické a dynamické vlastnosti podpisu. Tento systém je spoľahlivejší a odolnejší voči falšovaniu a bezpečnostným útokom, no je oveľa drahší ako unimodálny systém [1].

3 Biometria odtlačku prstov

Každý človek má na povrchu prstov rúk aj nôh papilárne línie (vyvýšené reliéfy kože). Ich štruktúra jednoznačne určuje fyzickú identitu človeka a ich grafickú reprezentáciu je odtlačok prsta. Papilárne línie sa formujú už počas embryonálneho vývoja. Štruktúra papilárnych línií je časovo nemenná, ak nedôjde k ich poškodeniu chorobou alebo poranením. V súčasnej dobe je táto biometrická vlastnosť najrozšírenejšia a môžeme sa s ňou stretnúť každodenne.

Vedný odbor zaoberajúci sa rozpoznávaním odtlačkov pre kriminalistické účely sa nazýva daktyloskopia[1]. Ten sa opiera a zakladá na tzv. daktyloskopických zákonoch[1]. Tie hovoria o tom, že na svete neexistujú dvaja ľudia s rovnakou štruktúrou papilárnych línií a vzor nimi vytvorený je po celý život relatívne nemenný. Ďalší zákon hovorí, že papilárne línie sú obnovované dorastaním kože na povrchu prsta a kým nie je epidermálna vrstva poškodená, nemôže byť ich štruktúra zmenená alebo odstránená. Ak je epidermálna vrstva poškodená, nedochádza k obnovovaniu papilárnych línií. Konfiguračné typy sa individuálne menia, ale zmeny sú tak malé, že ležia v tolerančných limitoch a môžeme s nimi systematicky pracovať. [1]

3.1 Charakteristika odtlačku prsta

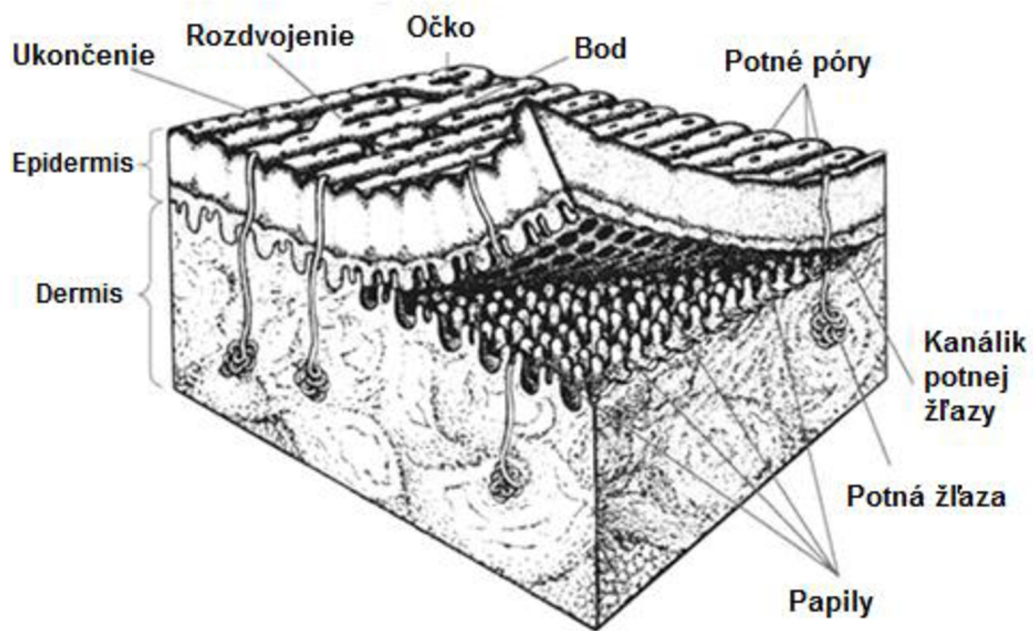
Koža má dve základné vrstvy [6]. Funkciou vrchnej pokožky (epidermis) je vytvoriť pevnú vrstvu, ktorá je bezprostredne v styku s vonkajším okolím. Epidermis chráni zamšu (dermis), mäkkú a hrubú vrstvu vankúšikov spojivého tkaniva, ktorá leží priamo pod vrchnou pokožkou. Pod zamšou sa ešte nachádza vrstva tukových buniek, ktoré majú ochrannú funkciu tela a takisto sú v prípade núdze zdrojom energie. Obidve vrstvy sa počas života sami obnovujú, no vrchná pokožka to robí rýchlejšie ako zamša.

Epidermis sa skladá z 5 vrstiev[6]. Medzi ne patrí odspodu bazálna, trnitá, zmitá, lesklá a rohová vrstva. Bazálna vrstva rastie najrýchlejšie a vďaka napätiu medzi vrstvami epidermy dochádza k vlnkovitým zmenám tejto vrstvy. Na základe týchto zmien sa počas embryonálneho vývoja formujú charakteristické papilárne línie. Na obrázku 3.1 môžeme vidieť rez kožou spolu s papilárnymi líniami. [6]

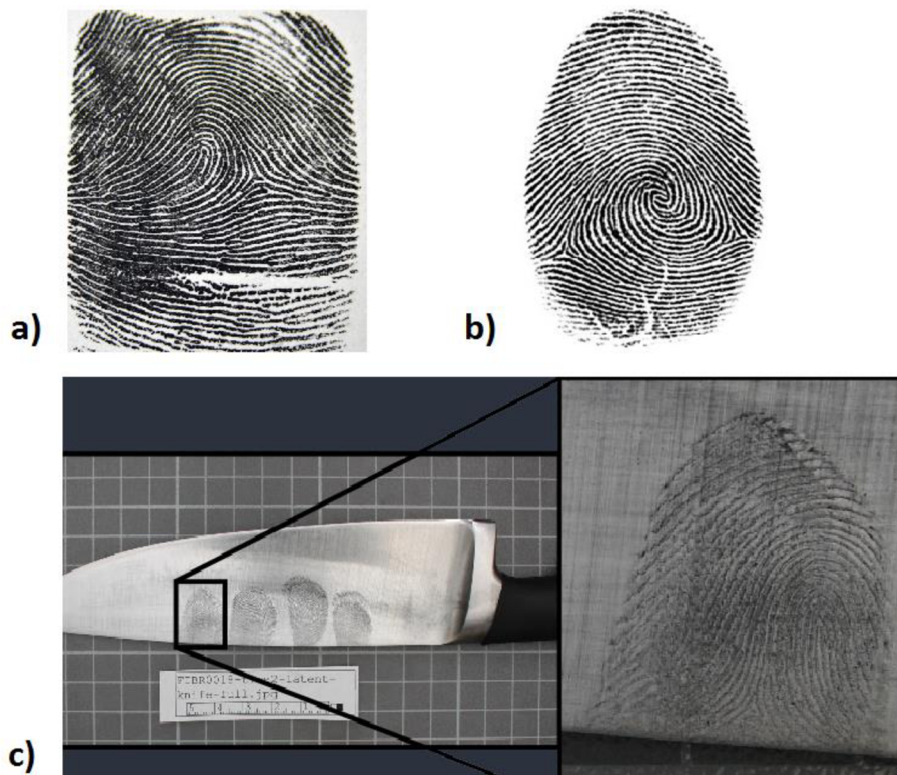
V daktyloskopii sa môžeme stretnúť s 3 druhmi odtlačkov, ktoré sa líšia hlavne spôsobom nasnímania. Prvým typom je rolovaný (obr. 3.2a) alebo farbený odtlačok. Odtlačky tohto typu vznikajú potrením prsta atramentom a následným odtlačením prsta na povrch. Takéto odtlačky môžu byť tiež nasnímané pomocou biometrického senzora pre takýto typ odtlačku. Prst je odtlačovaný spôsobom, aby bola zaznamenaná celá plocha bruška prsta. Tieto odtlačky sú u v tejto dobe málo využívané a môžeme sa s nimi stretnúť na daktyloskopických kartách.

V tejto dobe najvyužívanejším druhom odtlačku je pichaný (obr. 3.2b) alebo živý. Snímanie môže prebiehať tiež pomocou atramentu alebo rôznymi biometrickými senzormi. Prst sa odtlačí priložením prsta na snímač alebo povrch, no nie je potrebné získať snímok celého povrchu bruška prsta. Tento spôsob je rýchlejší, no nie je zachytená celá plocha prsta ako pri rolovanom odtlačku. [1]

Posledným druhom je latentný (obr. 3.2c) alebo skrytý odtlačok. Ten ostane na nejakom povrchu po kontakte s prstom osoby. Tieto odtlačky sa využívajú v policajno-súdnom odbore, väčšinou pri vyšetrovaní. Spôsob získavania takýchto odtlačkov závisí od povrchu, na ktorom sa odtlačok nachádza. Môže to byť pomocou daktyloskopického prášku alebo ožiarení laserovým svetlom [7].



Obrázok 3.1: Rez pokožkou [1].



Obrázok 3.2: a) rolovaný odtlačok [23] b) pichaný odtlačok [24] c) latentný odtlačok [25].

3.2 Základné princípy spracovania odtlačkov

Kvôli zjednodušeniu práce odtlačky rozdeľujeme do tried, ktoré nám v daktyloskopických systémoch zrýchľujú a zjednodušujú vyhľadávanie. Odtlačky v databáze sú rozdelené do menších podtried a vďaka tomu nemusíme prehľadávať celú databázu. Triedy rozlišujeme na základe piatich vzorov [4], ktoré sú vytvárané papilárnymi líniami. Tými sú oblúk (obr. 3.3a), klenutý oblúk (obr. 3.3b), špirála (obr. 3.3c) alebo vír, ľavá (obr. 3.3d) a pravá slučka (obr. 3.3e). Všetky môžeme vidieť na obrázku 3.3. V daktyloskopických systémoch pre kriminálne účely sú využívané všetky triedy odtlačkov, no systém AFIs využívaný FBI kategorizuje odtlačky len do troch základných tried, ktorými sú oblúk, slučka a vír.

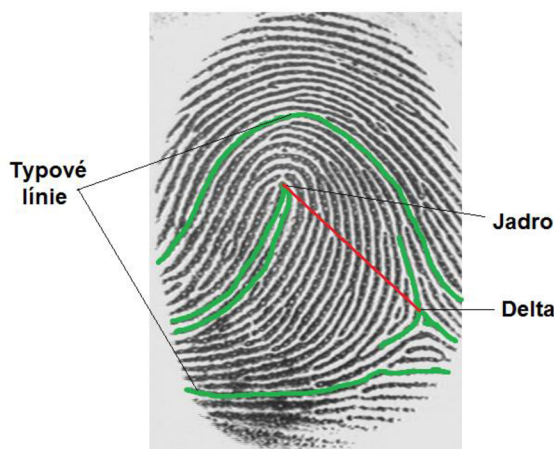


Obrázok 3.3: Triedy odtlačkov prstov:

a) oblúk [26], b) klenutý oblúk [27], c) špirála [28], d) ľavá špirála [29], e) pravá špirála [30].

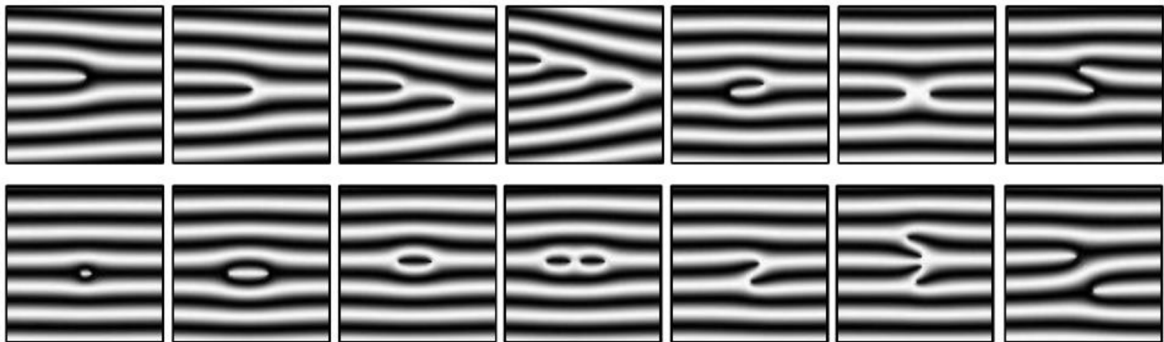
Ďalšími pojmami a znakmi, ktoré sa využívajú pri klasifikácii sú delta, jadro a typové línie odtlačku. Delta je miesto na odtlačku, kde sa papilárne línie rozvetvujú do troch rôznych smerov. Odtlačok môže mať aj dve delty a väčšinou sa nachádzajú na okraji v spodnejšej časti odtlačku. Jadro sa stredom odtlačku prsta, no nemusí byť v strede nasnímaného odtlačku. Nachádza sa na najspodnejšej vypukline priebehu papilárnych línií. Typové línie tvorí dvojica papilárnych línií vytyčujúcich priestor medzi najvrchnejšou papilárnou líniou patriacej jadru a najspodnejšou patriacou delte. Tieto tri znaky môžeme vidieť na obrázku 3.4.

Ďalšou metrikou je počet papilárnych línií. Určuje ich počet medzi dvoma definovanými bodmi, ktorými sú väčšinou jadro a delta. Na obrázku 3.4 je červenou farbou zakreslené, akým spôsobom sa počítajú a ich konkrétny počet je 12.



Obrázok 3.4: Klasifikačné znaky odtlačku [31].

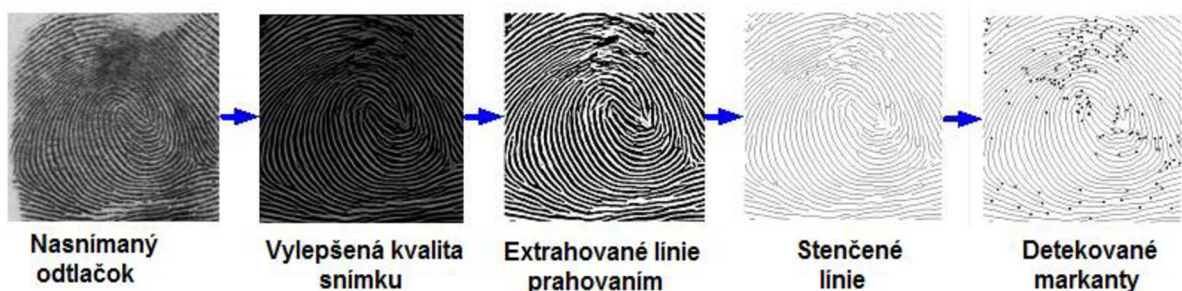
Najdôležitejšími znakmi, vďaka ktorým sme schopní presne rozlišovať a porovnávať odtlačky sú markanty[1]. Sú to špeciálne útvary tvorené papilárnymi líniami. Medzi základné markanty patria (obr. 3.5 v poradí) : ukončenie, rozdvojenie, dvojité rozdvojenie, trojité rozdvojenie, hák, križenie, bočný kontakt, bod, interval, jednoduchá slučka, dvojitá slučka, jednoduchý most, dvojitý most a priesečná línia. V daktyloskopických systémoch pre kriminalistické účely sa využíva omnoho viac markantov, ktoré sú odvodené z týchto základných, no prístupové systémy používajú len dva typy, ukončenie a rozdvojenie.



Obrázok 3.5: Základné typy markantov [6].

Prvým krokom spracovania odtlačku je jeho nasnímanie, získanie odtlačku zo senzoru, vďaka čomu získame jeho digitálnu formu. Vstupný obraz obsahuje veľké množstvo šumu, kvôli ktorému musíme snímok upraviť a vylepšiť jeho kvalitu. Tento krok je veľmi dôležitý pre ďalšie spracovávanie a existuje viacero metód, ako napríklad filter na detekciu hrán, filtrovanie frekvenčného spektra po rýchlej Fourierovej transformácii, Gáborov filter, atď [1].

Ďalším krokom je prahovanie. Nasnímaný čierno-bielý odtlačok je väčšinou v odtieňoch sivej, obsahuje 256 odtieňov sivej farby. My ale potrebujeme jeho binárnu reprezentáciu. Pomocou rôznych prahovacích schém (napr. adaptívne prahovanie alebo globálne prahovanie) sme schopní oddeliť papilárne línie od pozadia. Takto dostaneme čierno-bielý snímok s rôzne hrubými papilárnymi líniami. Tie si stenčíme na hrúbku jedného pixelu. Posledným krokom je detekcia a extrakcia markantov. Najpoužívanejšou metódou je Hongova metóda, ktorá rozlišuje 2 základne typy markantov. Pri každom markante si uloží jeho pozíciu, typ a jeho orientáciu. Na obrázku 3.6 je znázornené vyššie popísaný postup. [8]



Obrázok 3.6: Spracovávanie odtlačku [6].

Keďže mojou úlohou je detekovať v odtlačkoch rôzne dermatologické choroby, nevyužijem všetky vyššie spomenuté metódy. Použité metódy následne detailne rozoberiem a popíšem v kapitole 5, kde sa budem zaoberať implementáciou aplikácie.

3.3 Vplyv dermatologických chorôb na odtlačky prstov

Choroby kože postihujúce brušká prstov sú dôležitý, ale často prehliadaný faktor procesu snímania odtlačku prstov. Pri vytváraní a riešení daktyloskopických systémov by sme mali vždy brať ohľad na užívateľov trpiacich nejakou chorobou kože. Napríklad človek, ktorý by rád získal víza na vycestovanie do USA, no trpí dermatologickou chorobou, ktorá mu zasahuje aj brušká prstov. Táto osoba nemôže absolvovať proces snímania odtlačkov, preto jeho žiadosť nemôže byť schválená bežným spôsobom. Takýmto osobám je možné vydať víza, no musia sa podrobiť inému, zložitejšiemu procesu, a preto sú tieto osoby silne znevýhodnené.

Dermatologické choroby postihujúce odtlačky prstov môžeme deliť do troch kategórií, podľa použitého typu senzora. Prvou kategóriou sú zmeny sfarbenia kože, ktoré nemajú tak významný vplyv na kvalitu odtlačku. Optická technológia je jediná, ktorú môže táto kategória ovplyvniť, ale aj to je ľahko riešiteľné.

Ďalšími dvoma sú histopatologické zmeny v oblasti epidermis a dermis, a histopatologické zmeny v oblasti dermoepidermálneho spoja, kde je kódovaný tvar papilárnych línií. Ak dôjde k morfológickým abnormalitám kože v oblasti brušiek prstov, je väčšinou nemožné rozpoznať pôvodný priebeh papilárnych línií. To vo výraznej miere môže ovplyvniť proces rozhodovania. Takýchto typov ochorení existuje veľké množstvo a skoro u všetkých typoch senzorov hrozí riziko zlyhania. Výnimkou sú ultrazvukové senzory. Nimi používané ultrazvukové vlny dokážu preniknúť k informáciám uloženým na rozhraní dermis a epidermis, kde je formovaný tvar papilárnych línií a vďaka nim je možné rekonštruovať tvar odtlačku. Ak ale choroba prenikla aj do tejto časti, rekonštrukcia je nemožná.

Jednotlivé choroby sa líšia svojím priebehom a rovnako aj výsledkom rôznych liečení. Ak po liečení došlo k zjazveniu odtlačok nebude zhodný s odtlačkom pred prejavom choroby, a užívateľ je nútený spraviť v systéme novú registráciu. V takýchto prípadoch záleží na rozsahu a miere poškodenia, rovnako aj na pružnosti systému pracovať aj s takýmito situáciami [9].

4 Návrh aplikácie

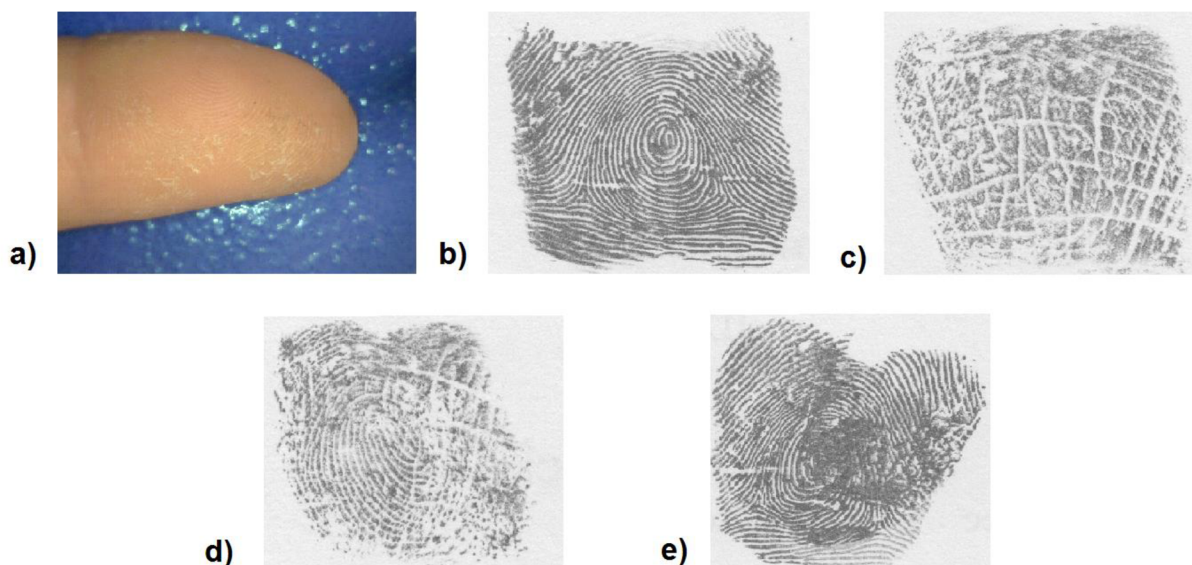
Cieľom je vytvoriť aplikáciu, ktorá bude schopná rozlíšiť zdravé odtlačky od odtlačkov chorých. Následne detekuje jednu z piatich vybraných chorôb a určí či je odtlačok rekonštruovateľný a ďalej použiteľný. Aplikácia bude vytváraná v operačnom systéme Ubuntu, vývojovom prostredí Eclipse C++, v jazyku C++ s využitím knižnice OpenCV.

4.1 Popis vybraných chorôb

Ekzém, alebo dermatitída ruky, je neinfekčné zápalové ochorenie [10]. Je najčastejšou dermatologickou chorobou. Predstavuje až 20% nových pacientov v dermatologických ambulanciách a často sa vyskytuje u ľudí pracujúcich v priemysle.

Atopický ekzém (obrázok 4.1) sa vyznačuje suchou popraskanou pokožkou na brušku prsta [10]. Je to chronická forma ekzému, ktorá je väčšinou spôsobená alergickou reakciou, no v niektorých prípadoch je príčina neznáma [9]. Použitelnosť a rekonštrukcia odtlačkov záleží od štádia choroby. Na získaných odtlačkoch sa vyznačuje častým prerušovaním papilárnych línií, prerušenia môžu formovať malé škvry (3.7b). Koža je rozsiahlo, no nie výrazne popraskaná. V pokročilom štádiu je prerušovanie výraznejšie, popraskaná koža vytvára prerušením papilárnych línií uzatvorené oblasti

(3.7c), tvarom podobnými geometrickým tvarom. Papilárne línie sú rozsiahlo deformované, môžu z nich zostať rôzne bodky (3.7d) alebo z nich môžu vznikáť rôzne škvrnny (3.7e).



Obrázok 4.1: Atopický ekzém.

Hyperkeratotický ekzém (obrázok 4.2) sa vyznačuje zhrubnutou a suchou popraskanou kožou [11]. Je veľmi podobný atopickému ekzému, no spôsobuje oveľa výraznejšiu deformáciu papilárnych línií. Postihnuté odlačky sú nepoužiteľné bez možnosti rekonštrukcie. Vyznačuje sa skoro neexistujúcimi papilárnymi líniami. Ich zvyškami sú malé škvrnny a bodky. Popraskaná koža vytvára veľké svetlé škvrnny.



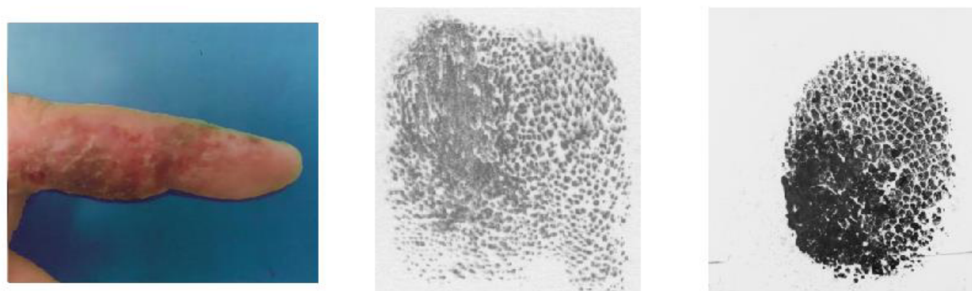
Obrázok 4.2: Hyperkeratotický ekzém.

Bradavice (Verruca vulgaris - obrázok 4.3) patria medzi ochorenia spôsobené papiloma vírusmi. Bradavice sa vyskytujú prevažne u detí ako ohraničené, tuhé vyvýšené hrbolčeky. Ak sa bradavica nachádza pri okrajoch odlačkov a je relatívne malej veľkosti, odlaček je použiteľný. Bradavice spoznáme v odlačkoch ako malé až stredne veľké svetlé škvrnny okrúhleho tvaru. Tieto škvrnny môžu mať nejaký obsah v podobe bodiek. [8]



Obrázok 4.3: Bradavice.

Posledným, mnou vybraným ochorením, je akrodermatitída (Acrodermatitis continua - obrázok 4.4). Je to vzácna forma chronickej pustulóznejs psoriázy [12]. Choroba je charakteristická veľkým množstvom malých vyrážok na končekoch rúk a nôh, ktoré sa majú tendenciu pomaly lokálne rozširovať a tiež môže dôjsť k strate nechtov. Pri tomto ochorení je rekonštrukcia nemožná a odtlačky sú nepoužiteľné. Na odtlačku zostali papilárnych línií len bodky, malé škvrny, rozmiestnené vo väčších množstvách a zhlukoch blízko pri sebe. Takéto odtlačky môžu pripomínať gepardí alebo jaguári vzor. [13]



Obrázok 4.4: Akrodermatitída.

4.2 Návrh implementácie

Aplikácia by po získaní odtlačku, začínala so všeobecnou detekciou. Tá by určila či je odtlačok nepoškodený a či sa na ňom nenachádza nejaké ochorenie. Najprv by bola prahovaním upravená kvalita snímku, poľom orientácií by bol detekovaný neprirodzený priebeh papilárnych línií a tiež by boli detekované objekty a škvrny.

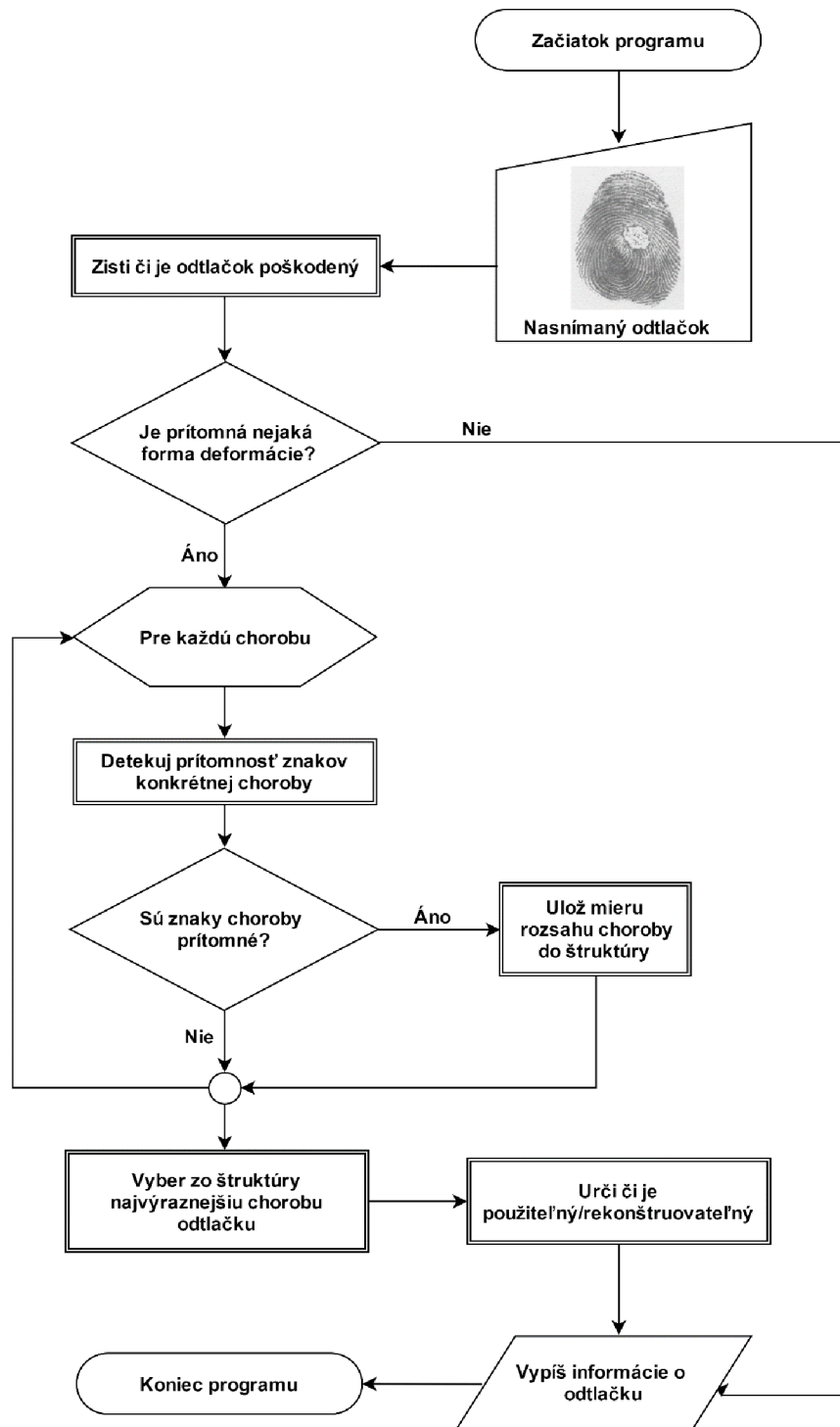
Následne by sa pre každú chorobu volala funkcia, ktorá by zisťovala či sa daná choroba v odtlačku nachádza. Pri atopickom ekzéme budem detekovať malé škvrny (malé biele objekty okrúhleho typu), veľmi krátke a časté papilárne línie. Ohraničené oblasti budem detekovať pomocou poľa orientácií inverzie pôvodného obrázku alebo detekciou ohraničenej oblasti ako takej.

Hyperkeratotický ekzém bude detekovaný semienkovým vyplňaním, zalievaním škvŕn a detekciou rozsiahlosti týchto škvŕn.

Detekciou väčších okrúhlych škvŕn bude zisťovaná prítomnosť bradavíc. Pri bradaviciach budeme tiež detekovať ich obsah.

Pri akrodermatitíde bude detekované veľké množstvo malých bodiek a rovnako aj vzdialenosť medzi nimi. Ak budú veľmi blízko pri sebe, tak budú následne semienkovým vyplňovaním spojené do jednej veľkej škvŕny.

Pri každej chorobe si bude detektor pamätať v akom rozsahu sa znaky danej choroby prejavili. Na to bude pred konečným určením choroby prihliadané. Ak detektor rozpozná v jednom odtlačku viacero chorôb, vyberie tú, ktorá bude mať väčší rozsah a jednoznačnejšie znaky. Na obrázku 4.5 môžeme vidieť vývojový diagram navrhutej aplikácie.



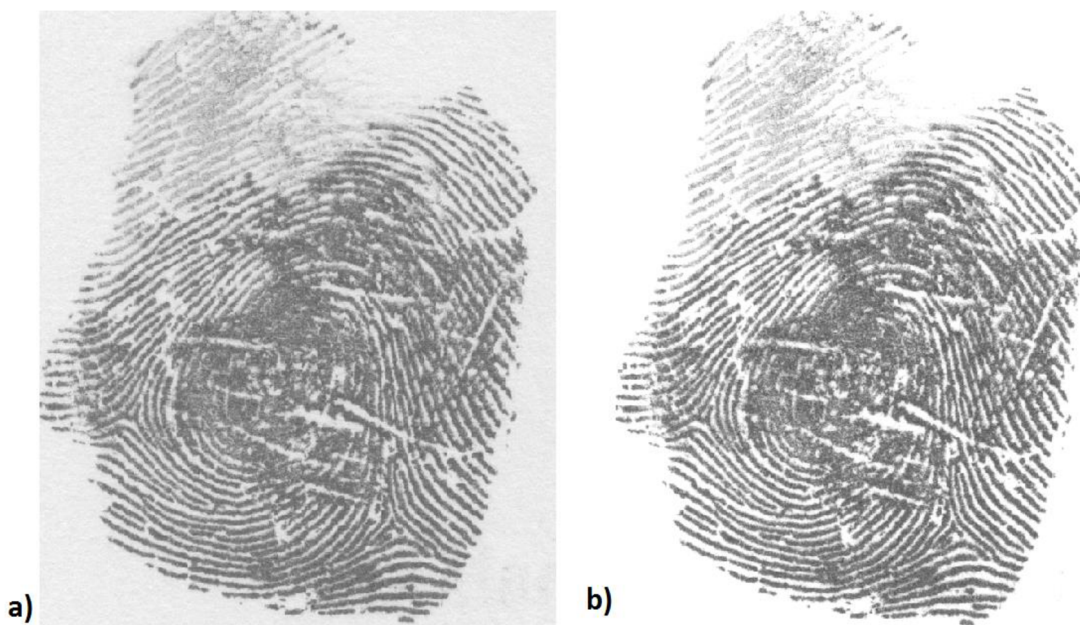
Obrázok 4.5: Vývojový diagram navrhutej aplikácie.

5 Implementácia

Prvým krokom po načítaní obrázka, bolo predspracovať obrázok tak, aby bolo možné ďalej pracovať s celým odtlačkom. Väčšina nasnímaných obrázkov obsahuje rôzne nečistoty a šum, ktoré znižujú kvalitu tohto obrázu. Rovnako niektoré časti odtlačku môžu byť odtlačené slabšie ako ostatné a kvôli tomu môžu tieto časti zaniknúť, zmiznúť. Predspracovaním obrázu zvýšime jeho kvalitu, a následne rozpoznávanie a ďalšie operácie s ním budú jednoduchšie a rýchlejšie.

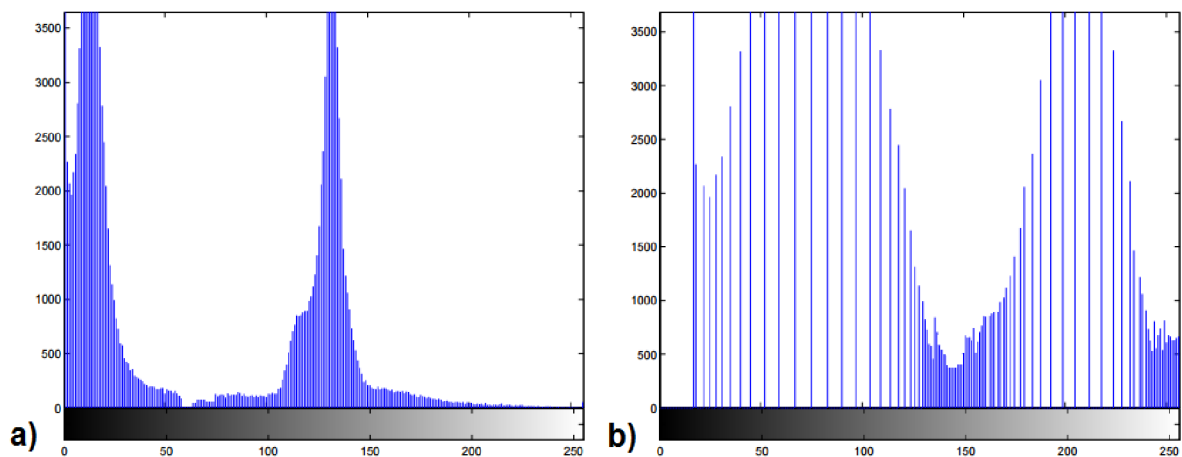
5.1 Predspracovanie obrázu

Pre potreby programu bol odtlačok načítaný v odtieňoch šedej. Bolo by zbytočné ho získavať vo farebnej reprezentácii, pretože by sme ho museli následne aj tak konvertovať do šedotónovej reprezentácie. Odtlačok bolo potom potrebné vyčistiť a zvýrazniť jeho papilárne línie. To sme dosiahli zvýšením kontrastu obrázka a následným zvýšením jasnosti. Tieto kroky čiastočne zabezpečili zvýraznenie slabších a nevýrazných častí odtlačku. Hodnoty použité pri tomto kroku boli získané manuálnym skúšaním rôznych hodnôt na rôznych vstupných obrázkoch a najideálnejšie boli vybrané. Na obrázku 5.1 je zobrazený odtlačok pred a po zvýšení jasnosti a kontrastu.



Obrázok 5.1: Odtlačok a) pred a b) po zvýšení jasnosti a kontrastu.

Ďalším krokom bola ekvalizácia histogramu. Histogram[14] je štatistická reprezentácia jednotlivých intenzít obrázka. Príklad, ako taký histogram vyzerá, môžeme vidieť na obrázku 5.2a). Os X reprezentuje jednotlivé intenzity a os Y reprezentuje počet pixelov odpovedajúcich danej intenzite. V prípade šedotónového obrázu máme počet intenzít 256 (0 - čierna, 255 - biela). Na tomto histograme môžeme vidieť, že jednotlivé intenzity nie sú zastúpené rovnomerne a niektoré nie sú zastúpené v obraze vôbec. To zmeníme egalizáciou histogramu. Táto metóda upravuje pôvodný histogram tak, aby bola každá intenzita v histograme zastúpená čo najrovnomernejšie. Výsledný histogram po ekvalizácii je zobrazený na obrázku 5.2b).



Obrázok 5.2: Histogram a) pôvodný b) po ekvalizácii [15].

Pomocou tejto metódy zlepšime kvalitu obrazu a zvýrazníme slabo odtlačené, viditeľné a nevýrazné papilárne línie. Ak by bol tento krok preskočený, nekvalitné časti odtlačku by pri ďalších krokoch boli stratené a zmenšila by sa použiteľná plocha odtlačku. Ekvalizácia histogramu bola vykonaná pomocou funkcie `cv::equalizeHist()` knižnice OpenCV [16]. Na obrázku 5.3 môžeme vidieť odtlačok pred a) a po b) ekvalizácií histogramu. Oblasti, ktoré boli slabo viditeľné, boli zvýraznené a jasne oddelené od pozadia.



Obrázok 5.3: Odtlačok a) pred a b) po ekvalizácii histogramu.

Program v ďalších krokoch pracuje s binárnym obrazom[17], konverzia zo šedotónovej do binárnej reprezentácie prebieha pomocou metódy zvanej prahovanie[18]. Najjednoduchší typ prahovania je globálne prahovanie. Pri ňom je obraz prechádzaný pixel po pixelu a pre každý pixel platí:

$$G(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{pre } I(x, y) \geq T \\ 0 & \text{pre } I(x, y) < T \end{cases} \quad (5.1)$$

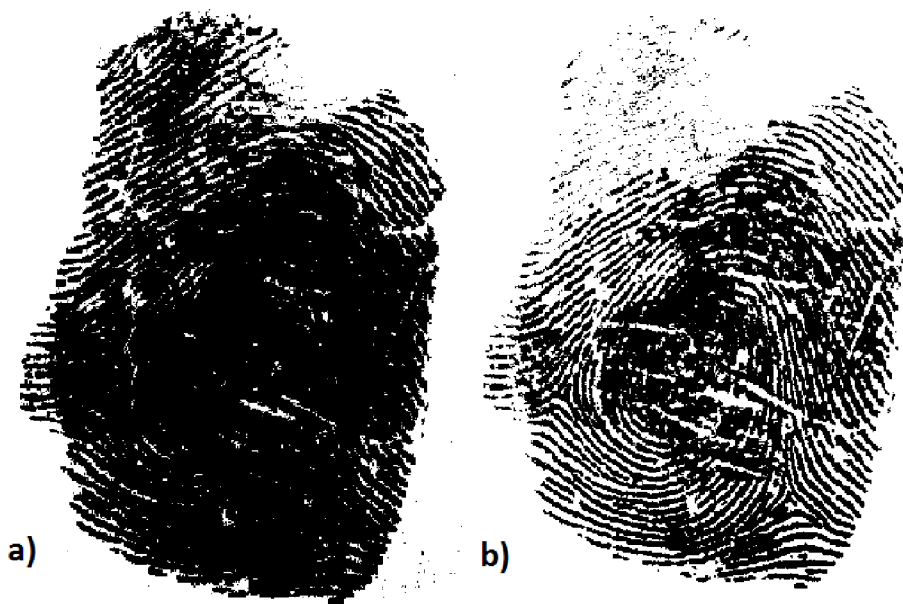
Kde:

$I(x, y)$ - vstupný obraz
 $G(x, y)$ - výstupný obraz
 T - hodnota prahu

Výstupom tejto metódy je vždy jedнокanálový obraz. Problémom pri globálnom prahovaní býva určenie ideálnej hodnoty prahu. Každý odtlačok postihnutý chorobou bol odlišný, prah bol rozličný a preto sme ho nemohli určiť jednotne pre všetky snímky.

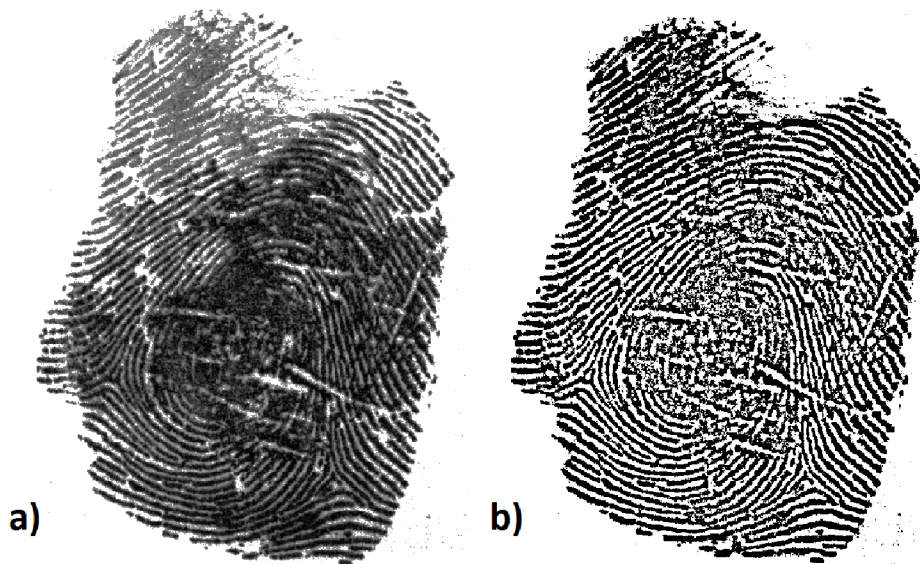
Na určenie optimálneho prahu bola použitá metóda Otsu prahovania[19], pomenovaná po jej autorovi Nobuyuki Otsu, pri ktorej je prah určený počítaním variácií dvoch tried, pozadím a popredím. Metóda prechádza všetky varianty zvolenej prahovej hodnoty z normalizovaného histogramu a počíta aktuálnu variáciu dvoch tried. Prah je potom určený ako najväčší rozdiel váhového súčtu variácií tried a celkovej variácie hodnôt obrazu. Otsu metóda je ale vhodná len v prípade, že je obraz rovnomerne osvetlený. [18]

Po testovaní globálneho prahovania s rôznym prahom sa metóda Otsu javila ako najlepšia, no nedosiahli sme pomocou nej ideálne výsledky. Na obrázku 5.4b) môžeme vidieť výsledok globálneho prahovania s použitím Otsu metódy a na obrázku 5.4c) rovnakú metódu prahovania, no bez predošlej ekvalizácie histogramu. Môžeme si všimnúť že v oboch prípadoch sú papilárne línie na niektorých zlievané do väčších čiernych flakov a nie sú korektne oddelené od pozadia. V prípade nepoužitej ekvalizácie histogramu, zlievanie papilárnych línií nie je také rozsiahle, no stratili sme papilárne línie, ktoré boli nevyrazné.



Obrázok 5.4: Odtlačok po prahovaní pomocou Otsu metódy s a) a bez ekvalizácie histogramu b).

Nakoniec sa ako najideálnejšia metóda binarizácie javilo adaptívne prahovanie[17]. To funguje na rovnakom princípe ako globálne prahovanie, no prah nie je počítaný z celého obrazu. Obraz je rozdelený na niekoľko rovnako veľkých oblastí a pre každú oblasť je prah vypočítaný samostatne. Adaptívnym prahovaním sa nám podarilo úspešne oddeliť zachované papilárne línie od pozadia. K zlievaniu a k miznutiu papilárnych línií nedochádzalo, škrvny a prázdne oblasti vznikali v odtlačku len vtedy, ak bol odtlačok veľmi nekvalitný, mastný alebo naopak, veľmi suchý, alebo ak boli odtlačky poškodené ochorením. Pre adaptívne prahovanie bola použitá funkcia `cv::adaptiveThreshold()`[16] knižnice OpenCV. Odtlačok po adaptívnom prahovaní môžeme vidieť na obrázku 5.5b).



Obrázok 5.5: Odtlačok pred a) a po b) adaptívnom prahovaní.

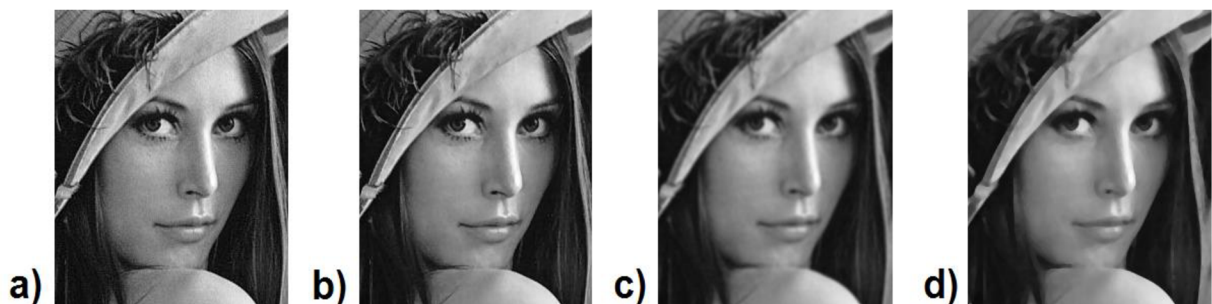
Týmito krokmi sa nám podarilo jednoznačne odlišiť pozadie a papilárne línie odtlačku, no v obraze nám zostal ešte šum, ktorý vyhladzovaním obrazu potlačíme. Vyhladzovanie dosiahneme použitím lineárnych alebo nelineárnych filtrov, kde je výstupná hodnota pixelu určené ako vážený priemer vstupných hodnôt pixelov.

$$g(x, y) = \sum_{k,l} f(x + k, y + l)h(k, l) \quad (5.2)$$

Kde :

$G(x, y)$ - výstupný obraz
 $f(x + k, y + l)$ - vážený priemer vstupných hodnôt pixelov
 $h(k, l)$ - jadro, koeficient filtra

Existujú rôzne typy filtrov používaných na vyhladzovanie obrazu. Pri hľadaní optimálne vyhladeného obrazu boli testované tieto filtre: bilaterálny filter (obr.5.6b), Gaussov filter (obr.5.6c) a mediánový filter (obr.5.6d). Najoptimálnejšie výsledky boli v našom prípade dosiahnuté pomocou mediánového filtra. Mediánový filter prechádza obraz a každý pixel nahradí mediánom jeho susedných pixelov. V tomto prípade bola použitá matica o rozmere 5x5 a obraz bol upravený pomocou funkcie `cv::medianBlur()` [16] knižnice OpenCV. Výsledok použitia vyhladzovania pomocou mediánového filtra je zobrazený na obrázku 5.7b).

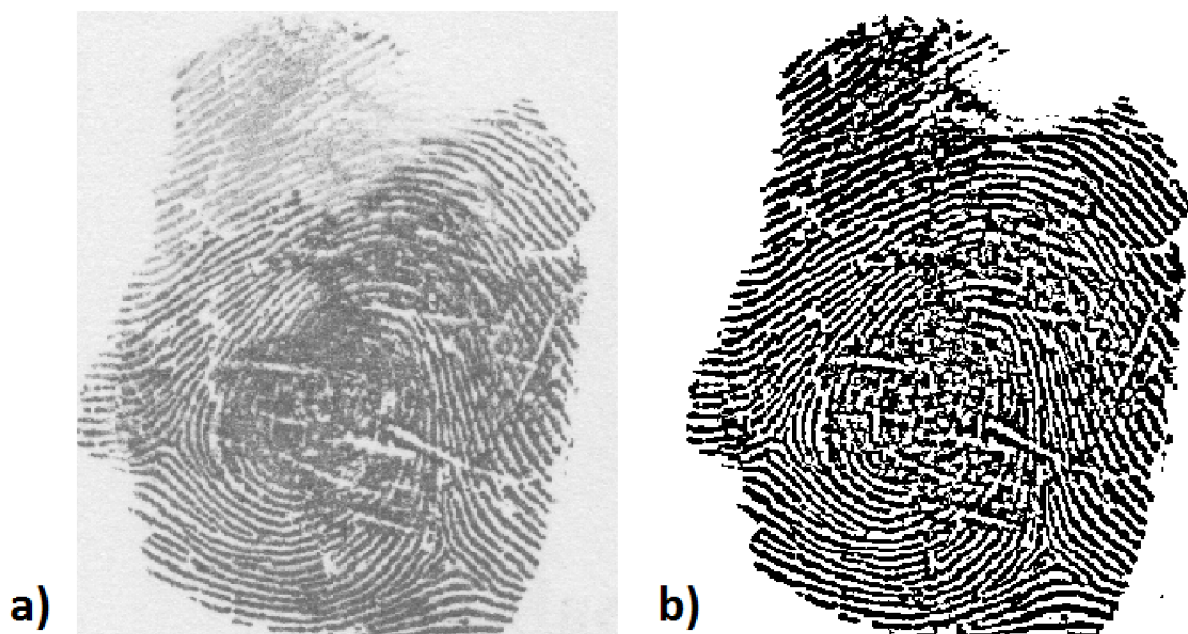


Obrázok 5.6: a) Pôvodný obrázok, b) bilaterálny filter, c) Gaussov filter, d) mediánový filter.



Obrázok 5.7: Odtlačok pred a) a po b) vyhladení mediánovým filtrom.

Pri experimentovaní bol v rámci predspracovania použitý aj Gáborov filter na zvýraznenie papilárnych línií, no pri tejto metóde boli slabo odtlačené a nevýrazné časti odtlačku úplne vymazané a stratené. Všetky operácie predspracovania obrazu boli implementované v rámci funkcie `ImEnhc()`. Rozdiel medzi pôvodným a výsledným upraveným odtlačkom po predspracovaní môžeme vidieť na obrázku 5.8.



Obrázok 5.8: Pôvodný neupravený odtlačok a) a odtlačok po predspracovaní b).

5.2 Detekcia zdravosti odtlačku

Po predspracovaní obrazu, môžeme začať detekovať, či odtlačok trpí nejakou chorobou alebo defektom. Program nerozlišuje mechanické poškodenia, nekvalitné snímky alebo odtlačky inak poškodené ako vplyvom choroby. Rozlišované je len to, či je odtlačok nejakým spôsobom poškodený, a považujeme ho za postihnutý chorobou, alebo či je v poriadku, bez poškodenia. Prvým krokom tejto detekcie bude orezať snímok tak, aby výsledná oblasť obsahovala čo najmenej plochy pozadia a zároveň, aby bola zachovaná čo najväčšia časť odtlačku a celé jeho jadro. Orežanie obrazu je potrebné pre detekciu konkrétnych chorôb, kde sú neskôr detekované väčšie súvisle biele oblasti. Ak by sme to neurobili, časti pozadia obrazu by boli detekované ako defekt spôsobený chorobou. Funkcia `ROI()` vracia 4 hodnoty vypočítané zo vstupného obrazu. Sú to hodnoty reprezentujúce začiatok a koniec oblasti vo vertikálnom a horizontálnom smere, ktorá bude orezaná. Hodnoty sú vypočítané ako priemer vzdialenosti začiatku a konca papilárnych línií v oboch smeroch. Obraz je potom orezaný ako môžeme vidieť na obrázku 5.9.



Obrázok 5.9: Orezané oblasti v odtlačkoch.

Detekcia zdravosti bude z jednej časti prebiehať na základe počtu priesečníkov papilárnych línií v horizontálnom smere. Odtlačok ale pre potreby tohto kroku potrebuje obsahovať papilárne línie o hrúbke 1 pixelu. To dosiahneme pomocou funkcie `Thinning_pap()`. Tá stenčuje papilárne línie na požadovanú dĺžku. Existuje mnoho prístupov a algoritmov na stenčovanie obrazu. Použitý stenčovací algoritmus je mierne upravený a pochádza z článku *A Novel Thinning Algorithm with Fingerprint Minutiae Extraction Capability* [20], ktorého autormi sú Sasan Golabi, Saiid Saadat, Mohammad Sadegh Helfroush a Ashkan Tashk. Algoritmus prechádza obrázok a pomocou rôznych matic ho filtruje a upravuje. Najprv sú postupne aplikované matice pre stenčovanie diagonálnym smerom (obr. 5.10a). Tieto matice sú aplikované dookola, kým sa výsledný obraz neprestane meniť. Ďalej je rovnakým spôsobom postupované so skupinou matic na stenčovanie v horizontálnom smere (obr. 5.10b) a so skupinou matic vo vertikálnom smere (obr. 5.10c). Poslednou skupinou filtrov použitých na obrázok sú matice na odstránenie šumu (obr. 5.10d). Pre optimálne výsledky je táto postupnosť použitia matic opakovaná 5-krát.

a)	Pôvodná matica	Upravená matica	Pôvodná matica	Upravená matica
	$\begin{bmatrix} x & 1 & x \\ 1 & 1 & 0 \\ x & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} x & 1 & x \\ 1 & 0 & 0 \\ x & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 1 \\ x & 1 & x \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & x \\ 0 & 0 & 1 \\ x & 1 & x \end{bmatrix}$
	$\begin{bmatrix} x & 1 & x \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & x \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} x & 1 & x \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & x \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} x & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ x & 1 & x \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} x & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ x & 1 & x \end{bmatrix}$

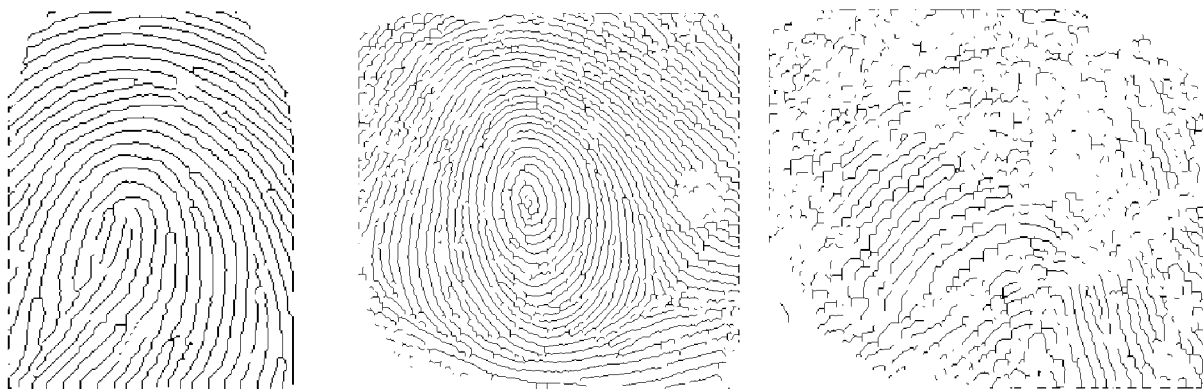
b)	Pôvodná matica	Upravená matica	Pôvodná matica	Upravená matica
	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ x & 1 & x \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ x & 0 & x \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & x \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & x \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
	$\begin{bmatrix} x & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} x & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
	$\begin{bmatrix} x & x & x & x \\ x & x & x & x \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} x & x & x & x \\ x & x & x & x \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} x & x & x & x \\ x & x & x & x \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} x & x & x & x \\ x & x & x & x \end{bmatrix}$

c)	Pôvodná matica	Upravená matica	Pôvodná matica	Upravená matica
	$\begin{bmatrix} 0 & x & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & x & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & x & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & x & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & x \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & x \end{bmatrix}$
	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & x \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} x & 0 & 0 & 1 \\ x & 0 & 1 & 1 \\ x & 0 & 1 & 1 \\ x & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} x & 0 & 0 & 1 \\ x & 0 & 0 & 1 \\ x & 0 & 0 & 1 \\ x & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

d)	Pôvodná matica	Upravená matica	Pôvodná matica	Upravená matica
	$\begin{bmatrix} x & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} x & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & x \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & x \end{bmatrix}$
	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$

Obrázok 5.10: Matice použité na stenčovanie papilárnych línií: a) diagonálny smer b) horizontálny smer d) vertikálny smer d) odstránenie šumu. [20]

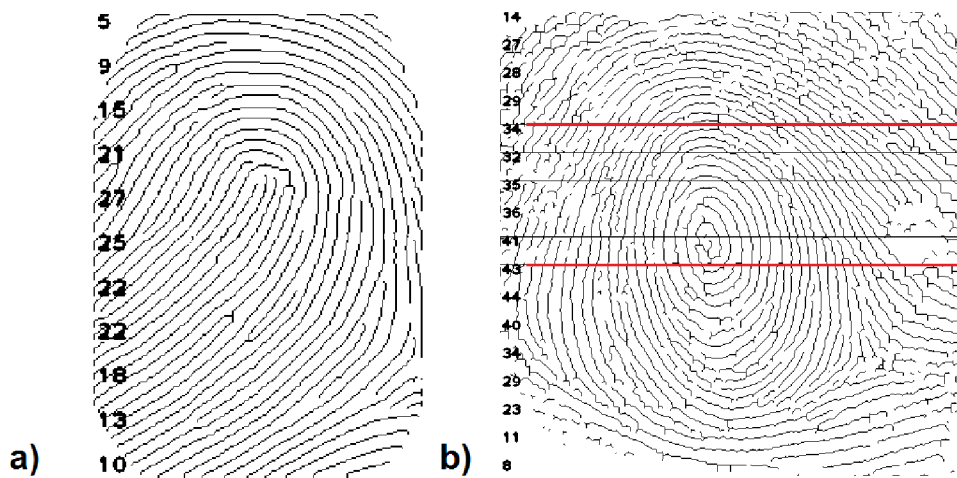
Použitý algoritmus má oproti ostatným stenčovacím výhodu v tom, že súvislejšie monotónne oblasti obrazu vymaže a na ich mieste ostane prázdne miesto. Na obrázku 5.11 môžeme vidieť výsledky nami implementovaného stenčovacieho algoritmu.



Obrázok 5.11: Výsledky stenčovacieho algoritmu.

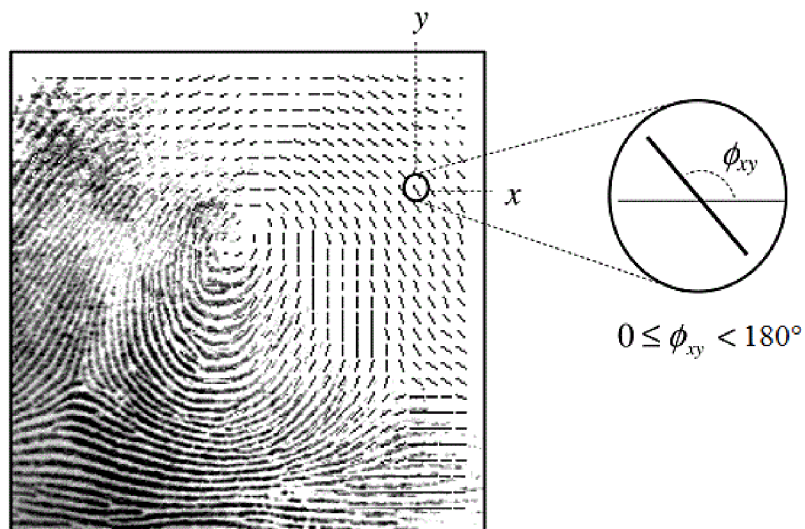
Po stenčení papilárnych línií môžeme pristúpiť k detekcii zdravosti odtlačku. Predpokladáme že počet priesečnikov rastie smerom ku stredu odtlačku a smerom od stredu zasa klesá v horizontálnom, či vertikálnom smere. Pri detekcii či je odtlačok poškodený a trpí nejakou chorobou, bolo vychádzané z tohoto predpokladu. Ak teda počet priesečnikov po ich raste a klesaní znova začne rásť, odtlačok nie je v poriadku a je považovaný za poškodený v intervale od začiatku do konca narušenia postupnosti. Tento postup je implementovaný vo funkcii `CountPap()`. Táto funkcia počíta počet priesečnikov papilárnych línií horizontálne, pri vertikálnom smere neboli dosiahnuté uspokojivé výsledky. Priesečníky sú počítané po každých 10tich pixeloch. Algoritmus si počet priesečnikov pamätá z predošlého a aktuálneho kroku. Ak nastane vyššie zmienená situácia, že po klesaní znova začne počet priesečnikov rásť, tak si funkcia zapamätá pozíciu predošlého kroku, ktorý je považovaný za začiatok oblasti trpiacej defektom. Pri následnej správnej postupnosti si zapamätá

jej začiatok a ten je považovaný za koniec postihnutej oblasti. Funkcia tieto 2 hodnoty vracia a následne sú použité ako hodnoty intervalu vo vertikálnom smere oblasti, v ktorej sú detekované defekty odtlačku. Výsledky tohoto algoritmu môžeme pozorovať na obrázku 5.12.



Obrázok 5.12: Počet priesečníkov v a) zdravom a b) poškodenom odtlačku.

Defekty budú detekované z poľa lokálnych orientácií papilárných línií. Lokálna orientácia v bode (x, y) je uhol θ_{xy} , ktorý zvierajú dotyčnica papilárnej línie v danom bode s horizontálnou osou. Uhol θ_{xy} môže nadobúdať hodnoty z intervalu $\langle 0^\circ; 180^\circ \rangle$, pretože pri papilárných líniách nie je určený ich smer. Lokálna orientácia papilárných línií v obrázku nie je určená pre každý pixel, ale je vypočítaná pre stred určeného bloku. Pole orientácií, prvýkrát predstavené v roku 1968 Antoniom Grassellim [22], je Matica D , ktorá obsahuje jednotlivé lokálne orientácie papilárných línií. Táto matica reprezentuje obraz, ktorý je rozdelený do menších štvorcových blokov. Každý takýto blok obsahuje priemernú lokálnu orientáciu, papilárných línií, ktoré sa v ňom nachádzajú. Pole orientácií počítané pre obraz rozdelený na bloky veľkosti 16×16 pixelov môžeme vidieť na obrázku 5.13. [21]



Obrázok 5.13: Obrázok odtlačku s príslušným poľom orientácií, počítaným v blokoch o veľkosti 16×16 pixelu [21].

Pre výpočet lokálnych orientácií existuje množstvo metód. Najjednoduchšou a najprirodzenejšou metódou je metóda založená na gradientoch obrazu. Gradient $\nabla(x, y)$ v bode na pozícii x, y vstupného

obrazu, je dvojdimenzionálny vektor $\nabla x(x,y), \nabla y(x,y)$, kde ∇x a ∇y sú hodnoty gradientov v horizontálnom a vertikálnom smere. Tieto hodnoty boli získané pomocou konvolúcie Sobelovej masky s obrazom v oboch smeroch. Po získaní týchto hodnôt, môžeme počítať priemernú lokálnu orientáciu v jednotlivých blokoch obrázka podľa týchto rovníc [21]:

$$h = \frac{m-1}{2}, k = \frac{n-1}{2} \quad (5.3)$$

Kde m a n sú rozmery bloku, z ktorého je lokálna orientácia papilárnych línií počítaná.

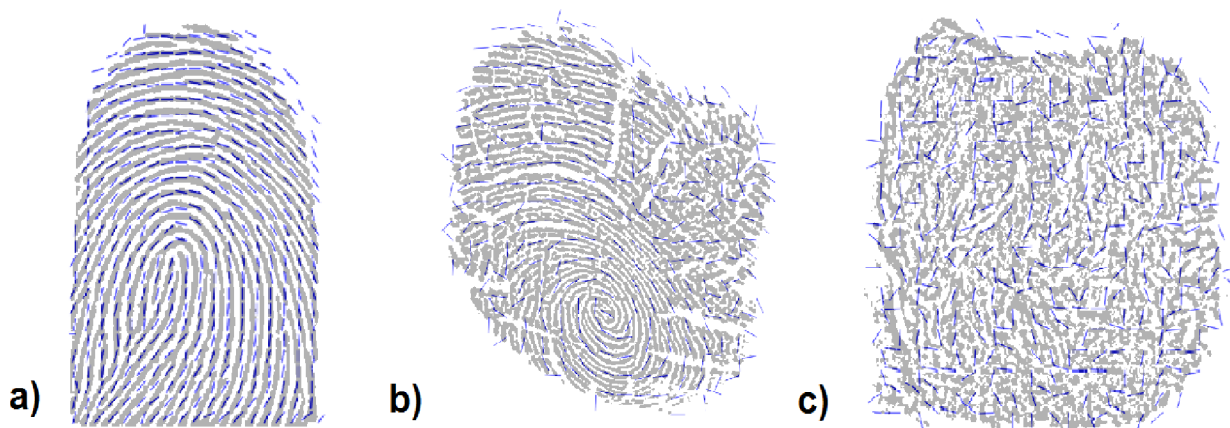
$$G_{xy} = \sum_{o=-h}^h \sum_{p=-k}^k \nabla x(x_i + o, y_j + p) \cdot \nabla y(x_i + o, y_j + p) \quad (5.4)$$

$$G_{xx} = \sum_{o=-h}^h \sum_{p=-k}^k \nabla x(x_i + o, y_j + p)^2 \quad (5.5)$$

$$G_{yy} = \sum_{o=-h}^h \sum_{p=-k}^k \nabla y(x_i + o, y_j + p)^2 \quad (5.6)$$

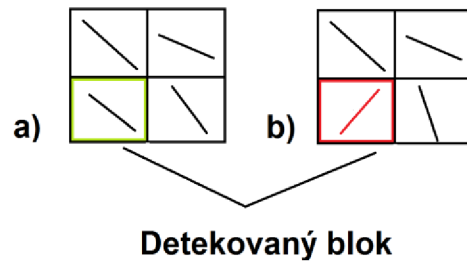
$$\theta_{ij} = 90^\circ + \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{2 \cdot G_{xy}}{G_{xx} - G_{yy}}\right) \quad (5.7)$$

Tento postup bol implementovaný vo funkcii `calculateOrientations()`, ktorá vracala zovierajúci uhol lokálnej orientácie s horizontálnou osou v radiánoch. Pôvodný algoritmus bolo ale potrebné upraviť, pretože v istých prípadoch vracal uhol zmenšený o 90° . To v prípade, že rozdiel G_{xx} a G_{yy} bol menší ako 0 a v tomto prípade bolo k výsledku pripočítaných 90° v radiánoch. Táto funkcia bola volaná z funkcie `CalcOrientImg()`. V nej boli najprv získané mapy gradientov v horizontálnom a vertikálnom smere pomocou funkcie `cv::Sobel()` knižnice OpenCV. Obraz bol potom rozdelený do jednotlivých blokov a následne prechádzaný blok po bloku, kde bola z máp gradientov vypočítaná lokálna orientácia papilárnych línií a následne zakreslená do bloku. Výsledky polí orientácií vypočítané funkciou `CalcOrientImg()` môžeme vidieť na obrázku 5.14.



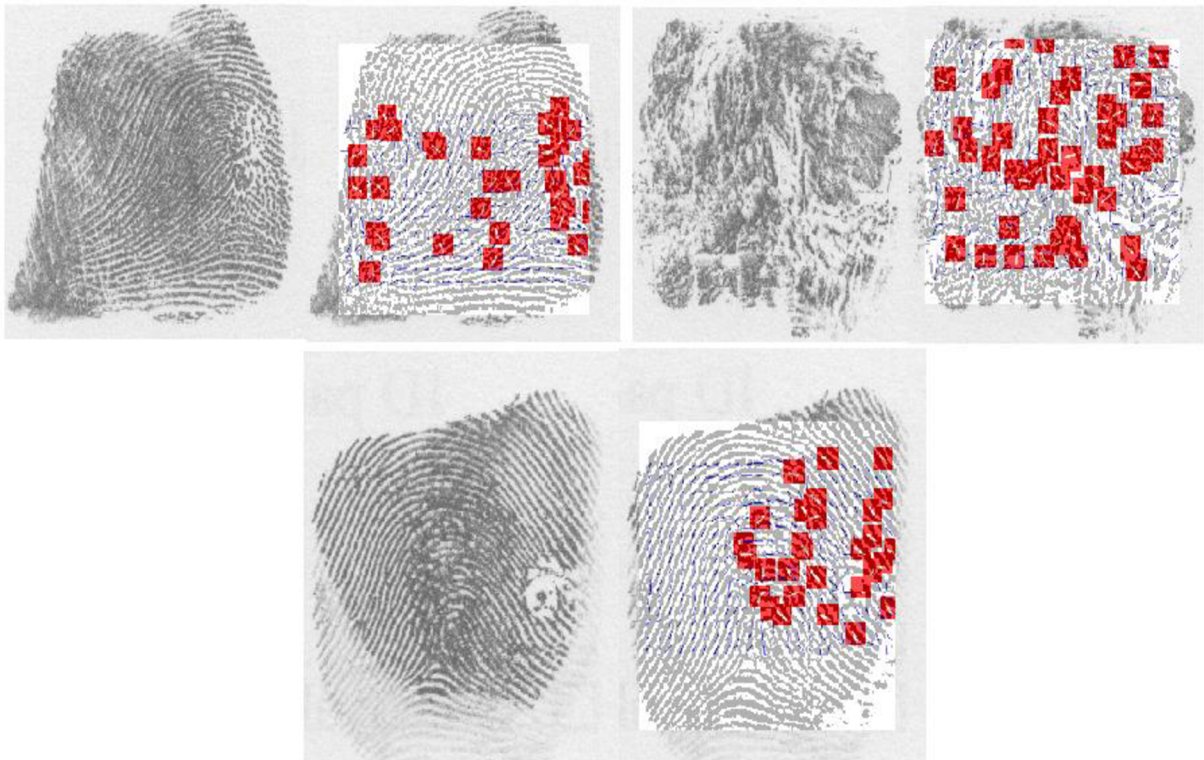
Obrázok 5.14: Polia orientácií: a) Zdravý odtlačok, b) čiastočne poškodený odtlačok, c) úplne zdeformovaný odtlačok.

Ďalším krokom je detekcia defektov, určenie rozsahu poškodenia a použiteľnosti poškodeného odtlačku. Defekty sú detekované v poli orientácií odtlačku. Je predpokladané, že ak lokálna orientácia zmení smer neprirodzene k ostatným okolným lokálnym orientáciám, na jej mieste zasahuje alebo sa nachádza defekt. Ako boli určené 3 susedné bloky. Ak sa okolné bloky nenachádzali v intervale $\pm 45^\circ$ detekovaného uhla bloku, bol tento blok považovaný za defektný blok. Tento princíp je zobrazený na obrázku 5.15.



Obrázok 5.15: Detekcia defektu: a) v poriadku b) defekt.

Väčšie okolia detekovaného bloku boli testované, no pri väčšom okolí bol rozsah uhlov veľký a defekt bol často detekovaný tam kde nemal byť. Táto detekcia bola implementovaná v rámci vykresľovania lokálnych orientácií vo funkcii `CalcOrientImg()`. Táto metóda bola obmedzená na oblasť detekovanú pri detekcii zdravosti a jej výsledky je možné vidieť na obrázku 5.16.



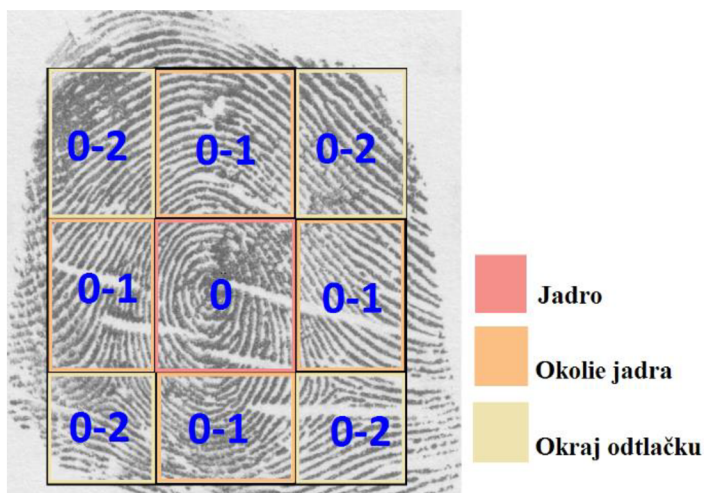
Obrázok 5.16: Pole orientácií s detekovanými defektami.

Miera poškodenia pri otláčku určuje, či je odtlačok použiteľný alebo či je miera poškodenia tak vysoká, že je odtlačok vhodný na vyradenie. Využívaná plocha odtlačku je rozdelená do 9 rovnako veľkých blokov, v ktorých je následne spočítaný percentuálny podiel detekovaných defektov. Podľa neho je následne určená úroveň poškodenia odtlačku. Jednotlivé úrovne poškodenia sú v tabuľke 5.1:

Úroveň poškodenia	Percentuálny rozsah defektov v bloku
0	$\langle 0\%; 3\% \rangle$
1	$\langle 3\%; 15\% \rangle$
2	$\langle 15\%; 25\% \rangle$
3	$\langle 25\%; 35\% \rangle$
4	$\langle 30\%; 40\% \rangle$
5	$\langle 40\%; \infty \rangle$

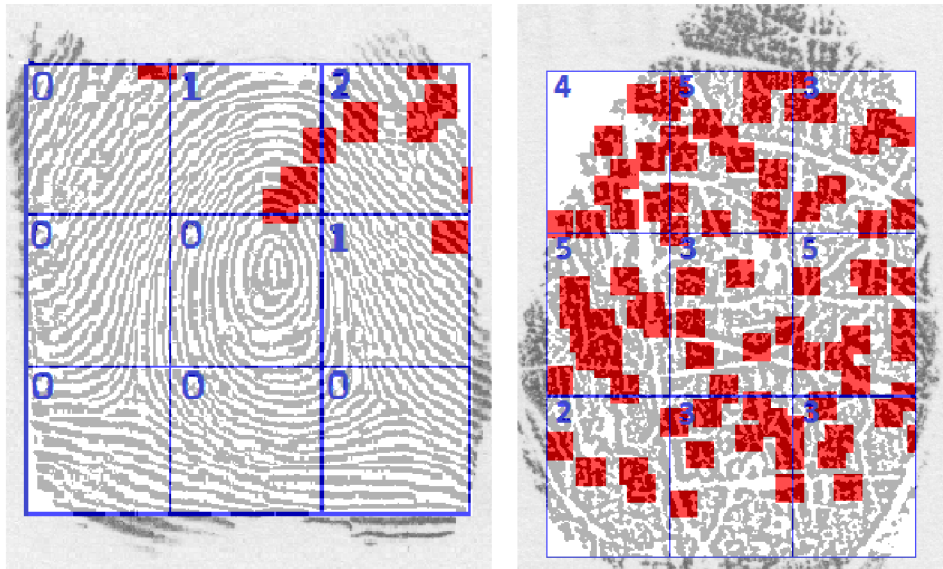
Tabuľka 5.1: Úrovne poškodenia častí odtlačku.

To, či je odtlačok použiteľný, zistíme pomocou jednotlivých úrovní v blokoch. Bloky sú rozdelené podľa dôležitosti ich polohy. Najdôležitejší blok je jadro odtlačku a ak chceme považovať odtlačok za použiteľný, úroveň poškodenia tohto bloku sa musí rovnať nule. Ďalšími menej, no stále dôležitými oblasťami, sú oblasti okolia jadra. Pri nich sú tolerované úrovne poškodenia 0 a 1. Poslednou oblasťou sú okraje odtlačku, ktoré sú najmenej dôležité a väčšinou bývajú rozmazané a nekvalitné. U nich je tolerancia úrovne poškodenia 0 až 2. Na obrázku 5.17 sú znázornené úrovne poškodenia v jednotlivých blokoch pre zdravý odtlačok.



Obrázok 5.17: Rozloženie blokov a tolerancie úrovni poškodenia u zdravého odtlačku.

Pomocou funkcie `areas()` je tento spôsob implementovaný. Tá priradí daným blokom úroveň, zakreslí hranice medzi jednotlivými blokmi s ich úrovňou a vráti pole s úrovňami poškodenia. Jej výsledky sú zobrazené na obrázku 5.18.



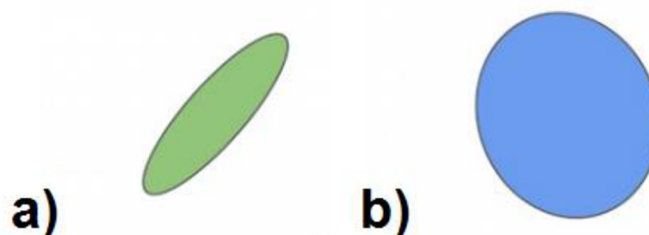
Obrázok 5.18: Odtlačky po spracovaní funkciou `areas()`.

Vďaka týmto krokom sa môžeme dostať ku detekciám konkrétnych chorôb. Každá choroba je niečím špecifická a odlišuje sa od ostatných, preto bude každá choroba detekovaná jednotlivo a rôznym spôsobom.

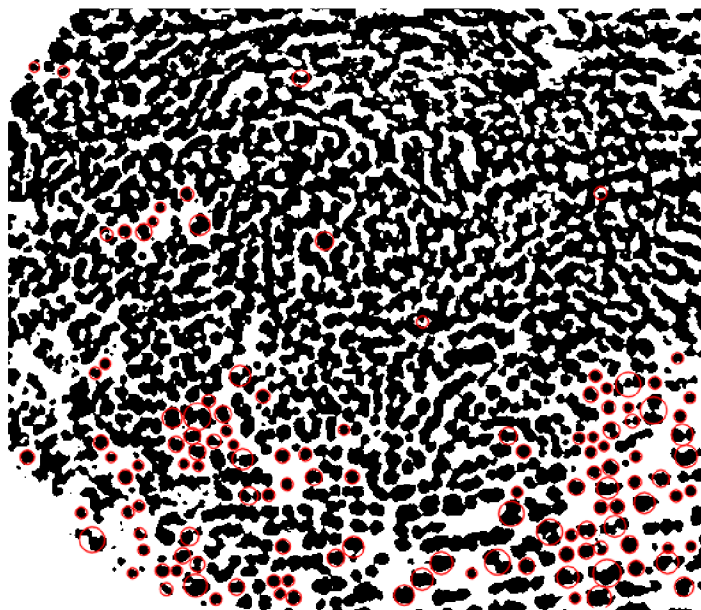
5.3 Detekcia konkrétnych chorôb

Aplikácia detekuje choroby jednotlivo a postupne za sebou. Týmto je sčasti zabezpečené, aby podobné alebo detekciou podobné choroby neboli mylne detekované. Prvým ochorením, ktoré budeme detekovať bude akrodermatitída. Ako bolo skôr povedané, akrodermatitída sa vyznačuje množstvom škvŕn niekedy pripomínajúcich gepardí vzor.

Funkcia `Acroderm()` detekuje pomocou detektora škvŕny určitej veľkosti a ich počtu prítomnosť tejto choroby. Detektor škvŕn je implementovaný pomocou triedy `SimpleBlobDetector`. Parametre tohto detektora sú nastavené tak, aby boli detekované len škvŕny čiernej farby vo veľkosti plochy od 100 do 600 pixelov. Ďalším parametrom, s ktorým detektor pracuje je `Inertia ratio`. Tento parameter sa týka tvaru jednotlivých škvŕn. Parameter je vyberaný z intervalu 0 až 1 a čím je tento parameter väčší, tým je tvar škvŕny okrúhlejší. Princíp môžeme vidieť na obrázku 5.19. Po filtrovaní sú vybrané škvŕny spočítané, a ak je ich počet väčší ako 50, odtlačok trpí akrodermatitídou. Detekovanie podľa počtu škvŕn je použité z dôvodu prítomnosti rôznych škvŕn pri ostatných chorobách. Na obrázku 5.20 sú zaznačené detekované škvŕny na odtlačku trpiacim akrodermatitídou.



Obrázok 5.19: Škvŕny s a) s nízkou a b) vysokou hodnotou `Inertia ratio`.



Obrázok 5.20: Odtlačok trpiaci akrodermatitídou a s jej detekovanými znakmi.

Nasledujúcou chorobou boli bradavice. Pri nej budú detekované väčšie biele škvry. Detekcia bradavíc ale prebieha iba v prípade, že počet blokov s úrovňou poškodenia vyššou ako 1 je väčší ako 0 a zároveň menší ako 4.

Dôležitou časťou bolo určiť ako veľká biela plocha má byť detekovaná a považovaná za bradavicu alebo jej časť. Tento problém bol vyriešený funkciou `WartSize()`. Tá z odtlačku vypočítala priemernú vzájomnú vzdialenosť papilárnych línií. Veľkosť bradavice bola následne počítaná ako:

$$WartSize = \left(avg + \frac{(max - avg)}{2} \right) + 3 \quad (5.8)$$

Kde:

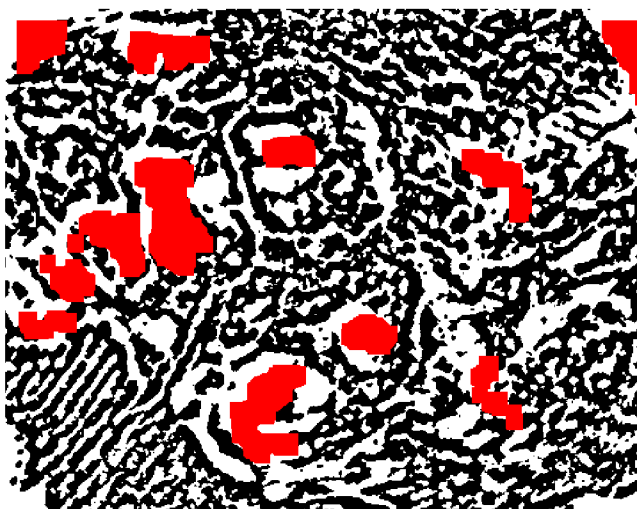
WartSize - veľkosť bradavice
avg – priemerná vzájomná vzdialenosť papilárnych línií.
max – najväčšia vzájomná vzdialenosť papilárnych línií

Po získaní minimálnej veľkosti bradavice je pomocou vyplňovania oblastí vytvorená mapa potencionálnych bradavíc. Vyplňovanie oblasti prebieha pomocou detekcie blokov o veľkosti *WartSize* X *WartSize*. Ak je v odtlačku takáto biela oblasť detekovaná, na novom bielom obrázku je zakreslený čierny štvorec na rovnakej pozícii ako v odtlačku. Potom sú pomocou podobného detektora, ako to bolo u akrodermatitídy, detekované takéto čierne plochy a rovnako ich počet. Tieto oblasti sú detekované iba v oblastiach, ktorých úroveň poškodenia je rovná alebo väčšia ako 2. Ak je ich počet väčší ako 0 a zároveň menší ako 5, odtlačok je poškodený bradavicami. Všetky kroky detekcie bradavíc sú implementované v rámci funkcie `WartHyper()`. Detekciu bradavíc je možné vidieť na obrázku 5.21.



Obrázok 5.21: Odtlačok s detekovanou bradavicou.

Pri detekcii hyperkeratotického ekzému používame princípy detekcie bradavíc. Rozdiel je v tom, že hyperkeratotický ekzém väčšinou zasahuje celé brušá prstov, tak tieto defekty hľadáme v celom odtlačku. Tento postup je implementovaný v rámci funkcie `WartHyper()`. Ak funkcia detekuje počet bielych škvŕn väčší ako 4, považujeme odtlačok za poškodený hyperkeratotickým ekzémom. Na obrázku 5.22 sú zobrazené detekované znaky hyperkeratotického ekzému.



Obrázok 5.22: Odtlačok trpiaci hyperkeratotickým ekzémom.

Ďalšou a zároveň poslednou mnou detekovanou chorobou je atopický ekzém. Princíp je rovnaký ako u akrodermatitídy. Prerušovaním papilárných línií vzniká množstvo malých škvŕn, ktoré na ich mieste ostali. Vo funkcii `WartHyper()` je použitý skôr spomenutý detektor škvŕn. Ten hľadá biele škvŕny rovnako veľké ako u akrodermatitídy, s tým rozdielom, že maximálne `Inertia ratio` je určené oveľa nižšie ako to bolo predtým. Ak je takýchto škvŕn nájdených viac ako 10, odtlačok je poškodený atopickým ekzémom. Detekcia atopického ekzému je zobrazená na obrázku 5.23. Ak je aplikácia neúspešná pri detekovaní týchto 4 chorôb, zvyšné poškodené odtlačky sú identifikované ako trpiace neznámou chorobou.

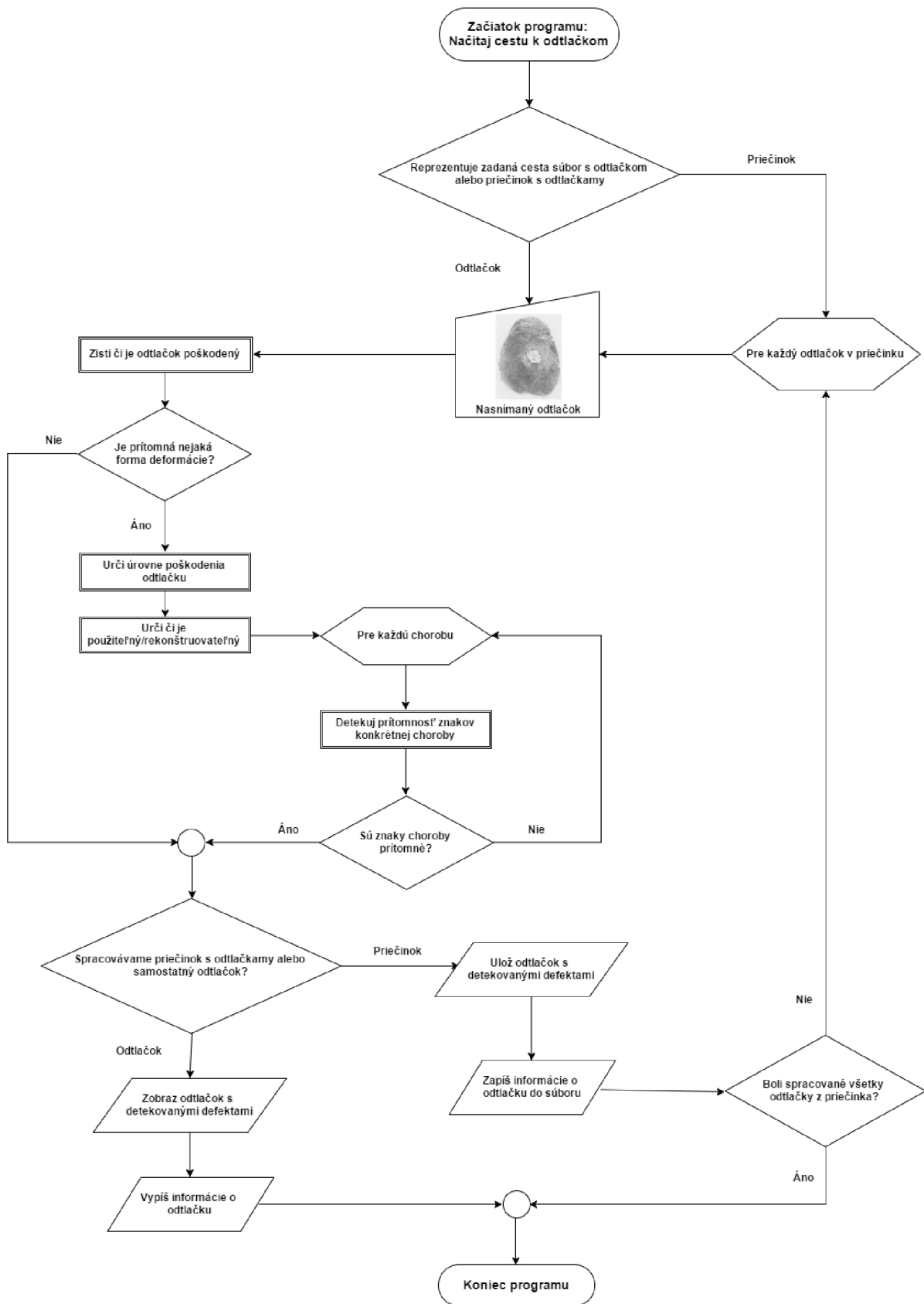


Obrázok 5.23: Detekované znaky atopického ekzému v odtlačku.

5.4 Obecné fungovanie aplikácie

Program je vo forme konzolovej aplikácie a dokáže pracovať s obrázkami vo formátoch jpg, jpeg, png a bmp. Aplikácie po spustení vyzve užívateľa, aby zadal absolútnu cestu ku konkrétnemu odtlačku alebo k priečinku, ktorý obsahuje odtlačky na spracovanie.

V prípade že užívateľ zadá cestu k odtlačku, program začne spracovávať odtlačok a určí či trpí nejakým poškodením alebo chorobou. Následne detekuje, ktorou konkrétnou chorobou je poškodený tento odtlačok, vypíše tieto informácie na štandardný výstup, zobrazí užívateľovi odtlačok detekovanými defektami a užívateľ skončí program stiskom ľubovoľnej klávesy. Ak zadá užívateľ cestu k priečinku, v ktorom sa nachádzajú odtlačky na detekciu, program sa spýta na cestu k priečinku. V ňom bude vytvorený priečinok, kde budú ukladané výstupné súbory. Potom aplikácia prejde a vyhodnotí každý odtlačok, uloží informácie o ňom do súboru output.txt a rovnako pre každý odtlačok do priečinka uloží obrázok s detekovanými defektami. Na obrázku 5.24 je zobrazený výsledný vývojový diagram aplikácie.



Obrázok 5.24: Vývojový diagram výslednej aplikácie.

6 Testovanie a zhodnotenie dosiahnutých výsledkov

Táto kapitola sa zaoberá popisom testovania výslednej aplikácie a jeho výsledkami. Aplikácia bola tiež priebežne testovaná pri implementácii jednotlivých častí. Toto testovanie bolo veľmi dôležité a veľká časť implementácie sa odvíjala práve od neho.

6.1 Testovacie databázy

Ako už bolo na začiatku spomenuté, aplikácia bola testovaná na databáze výskumnej skupiny STRaDe. Pre potrebu testovania a vývoja aplikácie boli vybrané odtlačky získané z daktyloskopických kariet. Táto skupina snímok vykazovala z vybraných senzorov najlepšiu kvalitu a rovnako bola táto skupina najpočetnejšia, obsahovala 380 snímok. Pre lepšie otestovanie aplikácie boli tiež použité databázy použité v roku 2000 na verifikačnej súťaži odtlačkov prstov, *FVC2000*. Konkrétne to bola databáza získaná z optického senzoru *Secure Desktop Scanner* od firmy *KeyTronic* a databáza kapacitného senzora *TouchChip* od firmy *ST Microelectronics*. Obidve tieto databázy obsahovali 80 snímok odtlačkov prstov. Tieto databázy sa nachádzali v DVD prílohe knihy *Handbook of fingerprint recognition* [21].

6.2 Testovanie detekcie zdravosti

Hlavnou časťou aplikácie bola detekcia, či je odtlačok prsta nepoškodený alebo poškodený. Výsledky testovania môžeme vidieť v Tabuľke 6.1.

Senzor	Správna detekcia	Nesprávne pozitívna detekcia	Nesprávne negatívna detekcia	Úspešnosť (%)
Karta	370	8	2	97,368
Secure Desktop Scanner	66	6	8	82,5
TouchChip	60	16	4	75
Celkovo	496	30	14	91,851

Tabuľka 6.1: Výsledky testovania detekcie zdravosti.

Jednotlivé položky tabuľky sú vysvetlené takto:

Správna detekcia – počet správne určených snímok.

Nesprávne pozitívna detekcia – počet snímok, kde bol defekt detekovaný, ale nebol prítomný.

Nesprávne negatívna detekcia – počet snímok, kde defekt nebol detekovaný, no bol prítomný.

Úspešnosť – percentuálne vyjadrenie správne určených snímok z celej skupiny.

Po skúmaní výsledkov z jednotlivých databáz bolo zistené, že najvýraznejší vplyv na túto časť detekcie mala kvalita odtlačku. Pri veľmi mastných alebo veľmi suchých odtlačkoch, ktoré neboli poškodené, boli detekované defekty, rovnako tomu tak bolo aj pri nerovnomerne odtlačených odtlačkoch. Nekvalitné snímky môžeme vidieť na obrázku 6.1. Vysokú hodnotu úspešnosti, ktorá bola zaznamenaná pri skupine odtlačkov z daktyloskopických kariet, môžeme prisudzovať vysokému nepomeru poškodených a nepoškodených odtlačkov. V tejto skupine bolo nepoškodených odtlačkov prstov len 10 z celkového počtu 380.



Obrázok 6.1: Odtlačky prstov nízkej kvality.

6.3 Testovanie detekcie konkrétnych chorôb

Druhou časťou aplikácie bola detekcia konkrétnych chorôb. Testovanie prebiehalo nad skupinou odtlačkov získaných z daktyloskopickéj karty. Výsledky testovania detekcie jednotlivých chorôb môžeme vidieť v tabuľke 6.2. Význam jednotlivých stĺpcov je vysvetlený v predošlej podkapitole. Stĺpec *Úspešnosť skupiny* reprezentuje úspešnosť detekcie jednotlivých chorôb v rámci skupiny konkrétnej choroby.

Choroba	Správna detekcia	Nesprávne pozitívna detekcia	Nesprávne negatívna detekcia	Úspešnosť (%)	Úspešnosť skupiny (%)
Akrodermatitída	8	78	4	8,888	66,666
Bradavice	4	24	13	9,756	23,529
Hyperkeratotický ekzém	2	16	12	6,666	14,285
Atopický ekzém	52	72	118	21,487	30,588
Neznáma	55	59	105	25,114	34,375
Celkovo	121	248			32,791

Tabuľka 6.2: Výsledky testovania detekcie konkrétnych chorôb.

Prvou testovanou chorobou bola akrodermatitída. Po testovaní vyšlo najavo, že mnohokrát bol atopický ekzém detekovaný ako akrodermatitída. To bolo v prípade, že papilárne línie boli často prerušované a tak z nich vznikali malé bodky a škvryny. Negatívna detekcia akrodermatitídy u atopického ekzému nastala až pri 50 snímkoch. Takéto prípady môžeme vidieť na obrázku 6.2.



Obrázok 6.2: Odtlačky trpiace atopickým ekzémom so znakmi akrodermatitídy.

Problémom pri detekcii bradavíc bola ich veľkosť a ich obsah. V prípade, že bradavica nebola prázdna a obsahovala nejaký obraz, aplikácii sa ju nepodarilo detekovať pretože vzdialenosť medzi čiernym bodmi vo vnútri bradavice nebola väčšia ako priemerná vzájomná vzdialenosť papilárnych línií. Príklady môžeme vidieť na obrázku 6.3.



Obrázok 6.3: Odtlačky prstov poškodené bradavicami s nedetekovanými znakmi.

Pri posledných troch detekovaných skupinách je nízka úspešnosť z dôvodu vysokej podobnosti detekovaných znakov. Veľa rovnakých defektov sa nachádzalo v odtlačkoch prstov poškodených rôznymi chorobami. Takéto prípady môžeme vidieť na obrázku 6.4.



Obrázok 6.4: Odtlačky s rovnakými znakmi chorôb: a) dishydróza, b) atopický ekzém, c) hyperkeratotický ekzém.

7 Záver

Cieľom tejto bakalárskej práce bolo vytvoriť aplikáciu na detekovanie kožných chorôb na odtlačkoch prstov ľudskej ruky. Snažil som sa vytvoriť funkčnú aplikáciu, ktorej jadro alebo iné implementačné časti, by mohli byť neskôr použité, či už pri riešení podobného problému v ďalších prácach alebo pri vytváraní komerčne použiteľnej aplikácie.

Pri vytváraní aplikácie som sa oboznámil so základnými princípmi biometrie a s princípmi digitálneho spracovávania odtlačkov prstov. Veľmi dôležitou oblasťou, ktorá sa týkala tejto práce, bola problematika kvality odtlačkov prstov a vplyv dermatologických ochorení prstov na nasnímané odtlačky. Pri programovaní aplikácie som sa tiež zoznámil s knižnicou OpenCV, ktorej funkcie som v programe používal.

Výsledná úspešnosť testovania detekcie zdravosti odtlačka bola 91,851 % a považujem ju za uspokojivý výsledok. Naopak, detekcia už konkrétnych chorôb tak uspojujúca nebola. Bolo to spôsobené tým, že väčšina odtlačkov poškodených rôznymi chorobami javila rovnaké znaky poškodenia a niektoré sa nedali jednoznačne od seba rozlíšiť ani vlastným okom. Veľký vplyv na detekciu mala tiež kvalita získaných odtlačkov. Pri nízkej kvalite bolo veľa odtlačkov zdravých prstov považovaných za poškodené.

Hlavný prínos tejto práce vidím v tom, že problému poškodenia odtlačkov prsta kožnými chorobami sa venuje veľmi malá skupina ľudí. Svojou prácou som tak z časti prispel k riešeniu tejto problematiky a niektoré časti alebo princípy môžu v budúcnosti pomôcť jej ďalším riešeniam. Za osobný prínos považujem získanie znalostí z oblastí spracovávania obrazu a biometrie, rovnako tak aj skúsenosť s praktickým využívaním knižnice OpenCV.

Aplikácia má veľa možných vylepšení. Prvým môže byť zmena spôsobu detekcie chorôb použitím neurónových sietí, alebo použitím iných algoritmov pri detekcii, a rozšírenie skupiny detekovateľných chorôb. To by mohlo percentuálnu úspešnosť detekcie chorôb zvýšiť. Ďalšie vylepšenie vidím vo vytvorení grafického rozhrania, v ktorom by bolo možné meniť rôzne princípy predspracovávania obrazu a všetky kroky predspracovávania a detekcie by bolo možné v odtlačku postupne zobrazovať. Podporu ďalších operačných systémov (Windows, Os X,...) či zariadení (tablet, mobilný telefón), a priame prepojenie aplikácie so skenermi na získavanie odtlačkov vidím ako ďalšie možné rozšírenie.

Literatúra

- [1] DRAHANSKÝ, Martin a Filip ORSÁG. *Biometrie*. Brno: Computer Press, 2011, 294 s., ISBN 978-80-254-8979-6
- [2] RAK, Roman, Vašek MATYÁŠ a Zdeněk ŘÍHA. *Biometrie a identita člověka ve forenzních a komerčních aplikacích*. Praha: Grada, 2008, 631 s., ISBN 978-80-247-2365-5.
- [3] JAIN, Anil K., FLYNN, Patrick a Arun A. ROSS (eds.). *Handbook of biometrics*. New York: Springer, 2008. ISBN 978-0-387-71040-2.
- [4] HAWTHORNE, Mark R. *Fingerprints: analysis and understanding*. Boca Raton: CRC Press, 2009, 127s., ISBN 978-1-4200-6864-1.
- [5] DRAHANSKÝ, Martin. *Biometric cryptography based on fingerprints: combination of biometrics and cryptography using information from fingerprints*. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2010, 152s., ISBN 978-3-8383-6361-5.
- [6] DRAHANSKÝ, Martin. *Fingerprint recognition technology: related topics : skin disease, quality and liveness detection*. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011, 172 s., ISBN 978-3-844-3300-7-6.
- [7] Odtlačky prstov. *Kriminalistika: Zločin, trest a všetko medzi tým*. [online]. Bratislava: 1. súkromné gymnázium v Bratislave, 2010 [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: http://www.1sg.sk/www/data/01/projekty/2009_2010/leaders/kriminalistika/daktyl.html
- [8] DOLEŽEL, Michal, Martin DRAHANSKÝ, Jaroslav URBÁNEK, Eva BŘEZINOVÁ a Tai-hoon KIM. Influence of Skin Diseases on Fingerprint Quality and Recognition. *New Trends and Developments in Biometrics* [online]. Rijeka: InTech, 2012, 275-303., [cit. 2016-05-08]. DOI: 10.5772/51992. ISBN 978-953-51-0859-7. Dostupné z: <http://www.intechopen.com/books/new-trends-and-developments-in-biometrics/influence-of-skin-diseases-on-fingerprint-quality-and-recognition>
- [9] DRAHANSKÝ, Martin, Eva BŘEZINOVÁ, Filip ORSÁG a Dana LODROVÁ. Dermatologické faktory ovlivňující snímání otisků prstů pro biometrické účely. *Kriminalistika*. Praha: Ministerstvo vnitra České republiky, 2010, 43(3), 196-206., ISSN 1210-9150. Dostupné také z: <http://www.mvcr.cz/mvcren/article/dermatologicke-faktory-ovlivnujici-snimani-otisku-prstu.aspx>
- [10] WOLFF, Klaus, Richard Allen JOHNSON a Dick SUURMOND. *Fitzpatrick's color atlas & synopsis of clinical dermatology*. 5. vyd., New York: McGraw-Hill Medical Publishing Division, 2005, 1085 s., ISBN 0071440194.
- [12] RASOCHOVÁ, Eva. Terapie akné. *Dermatológia pre prax* [online]. 2010, 4(2), 62–64., [cit. 2016-05-08] ISSN 1339-4207. Dostupné z: http://www.dermatologiapreprax.sk/index.php?page=pdf_view&pdf_id=4424&magazine_id=11
- [11] URBÁNEK, Jaroslav. Ekzém rukou. *Dermatológia pre prax* [online]. 2013, 7(1), 11–14., [cit. 2016-05-08] ISSN 1339-4207. Dostupné z: <http://www.dermatologiepropraxi.cz/pdfs/der/2013/01/03.pdf>

- [13] SEHGAL, Virendra N., Prashant VERMA, Sonal SHARMA, Govind SRIVASTAVA, Ashok K. AGGARWAL, Farhan RASOOL a Kingsuk CHATTERJEE. Acrodermatitis continua of Hallopeau: evolution of treatment options. *International Journal of Dermatology* [online]. 2011, 50(10), 1195-1211., [cit. 2016-05-08] DOI: 10.1111/j.1365-4632.2011.04993.x. ISSN 0011-9059. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-4632.2011.04993.x>
- [14] ŠONKA, Milan, Václav HLAVÁČ a Roger BOYLE. *Image processing, analysis, and machine vision*. 3. vyd., Toronto: Thomson, 2008, 829s., ISBN 978-0-495-08252-1.
- [15] HLAVÁČ, Václav. *Předzpracování v prostoru obrazů* [online]. Praha: Fakulta elektrotechnická ČVUT, 2005, [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://cmp.felk.cvut.cz/~hlavac/Public/TeachingLectures/PredzpracObr.pdf>
- [16] LAGANIÈRE, Robert. *OpenCV 2 computer vision: Application programming cookbook*. Birmingham: Packt Publishing, 2011, 287s., ISBN 978-1-849513-24-1.
- [17] BRADSKI, Gary a Adrian KAEHLER. *Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library*. Sebastopol: O'Reilly, 2008, 555 s., ISBN 978-0-596-51613-0.
- [18] DOBEŠ, Michal. *Zpracování obrazu a algoritmy v C#*. Praha: BEN - technická literatura, 2008, 143 s., ISBN 978-80-7300-233-6.
- [19] OTSU, Nobuyuki. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* [online]. 1979, 9(1), 62-66., [cit. 2016-05-11]. DOI: 10.1109/TSMC.1979.4310076. ISSN 0018-9472. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4310076>
- [20] A Novel Thinning Algorithm With Fingerprint Minutiae Extraction Capability. *International Journal of Computer Theory and Engineering* [online]. 2012, 4(4), 514-517 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.ijcte.org/papers/522-N40037.pdf>
- [21] MALTONI, Davide, Dario MAIO, Anil K. JAIN a Salil Prabhakar. *Handbook of fingerprint recognition*. 2. vyd., London: Springer, 2009, 494s., ISBN 978-1-84882-253-5.
- [22] GRASSELLI, Antonio. *On the automatic classification of fingerprints*. Honolulu, 1968.
- [23] Linde to Display Novel Latent Print Development Technology at Conference. In: *Forensic Magazine* [online]. 2012 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.forensicmag.com/news/2012/07/linde-display-novel-latent-print-development-technology-conference>
- [24] Time Attendance Finger Print Access Control System. In: *Golden IT solution* [online]. 2013 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.goldenitsolution.in/Biometric%20products.html>
- [25] FINGERPRINTS. In: *Forensic Informatics Biometric Repository* [online]. 2012 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://fib-r.com/fingerprints/>

- [26] WANG, Lidong a Cheryl Ann ALEXANDER. Fingerprint Patterns and the Analysis of Gender Differences in the Patterns Based on the U Test. *International Transaction of Electrical and Computer Engineers System* [online]. 2014, **2**(3), 88-92 [cit. 2016-05-11]. DOI: 10.12691/iteces-2-3-2. Dostupné z: <http://pubs.sciepub.com/iteces/2/3/2/#>
- [27] A FINGERPRINT PATTERN. In: *FREE Knitting PATTERNS* [online]. 2013 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://paatterns.com/2013/06/17/a-fingerprint-pattern/>
- [28] Fingerprints. In: *Facts About All: interesting facts* [online]. 2012 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://factspage.blogspot.cz/2012/11/fingerprints.html>
- [29] FINGERPRINT PATTERNS WHORL. In: *EXAMPLE PATTERNS* [online]. 2014 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://pimvat.info/fingerprint-patterns-whorl/>
- [30] HASHAD, Ahmed. Hack A fingerprint Mission Accomplished. In: *Ahmed Hashad: Security Researcher @ 701 Labs* [online]. 2014 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://7shad01.blogspot.cz/2014/03/hack-fingerprint-mission-accomplished.html>
- [31] Fingerprinting lesson. In: *Forensic Science Investigation Unit* [online]. 2015 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://forensicunit.weebly.com/fingerprinting-lesson.html>
- [32] Linde to Display Novel Latent Print Development Technology at Conference. In: *Forensic Magazine* [online]. 2012 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.forensicmag.com/news/2012/07/linde-display-novel-latent-print-development-technology-conference>
- [32] MALLICK, Satya. Blob Detection Using OpenCV (Python, C++). In: *Learn OpenCV: OpenCV examples and tutorials (C++/ Python)* [online]. 2015 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.learnopencv.com/blob-detection-using-opencv-python-c/>

Zoznam príloh

Príloha 1: DVD

Obsah:

- text tejto práce vo formáte .pdf a jej zdrojový text vo formáte .docx s názvom BP-xsesta03
- zdrojové kódy vytvorenej aplikácie
- spustiteľnú verziu aplikácie
- príklady odtlačkov z prstov poškodených kožný ochorením
- návod k prekladu a spusteniu aplikácie