



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ

DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

**DETEKCE A KLASIFIKACE POŠKOZENÍ
OTISKU PRSTU**

DETECTION AND CLASSIFICATION OF DAMAGE IN FINGERPRINT IMAGES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAKUB FRÝZ

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ONDŘEJ KANICH

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce



21536

Student: **Frýz Jakub**
Program: Informační technologie
Název: **Detekce a klasifikace poškození otisku prstu**
Detection and Classification of Damage in Fingerprint Images
Kategorie: Zpracování obrazu

Zadání:

1. Prostudujte literaturu týkající se biometrického rozpoznávání podle otisků prstů s důrazem na poškozené či nekvalitní snímky.
2. Navrhněte algoritmus který posoudí, jaká část otisku je poškozená. V místech s poškozením se pak algoritmus pokusí klasifikovat dané poškození (např. onemocnění, vliv senzoru, atp.).
3. Implementujte navržený algoritmus z předchozího bodu.
4. Otestujte algoritmus na dostupných databázích otisků prstů (poškozených i nepoškozených).
5. Dosažené výsledky shrňte a diskutujte. Uveďte možná vylepšení a rozšíření Vašeho řešení.

Literatura:

- Maltoni, D., Maio, D., Jain, A.K. and Prabhakar, S.: *Handbook of Fingerprint Recognition*. Springer, 2009, pages 512. ISBN 978-1-8488-2254-2.
- Kanich, O.: *Fingerprint Damage Simulation - A Simulation of Fingerprint Distortion, Damaged Sensor, Pressure and Moisture*, LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2014, p. 57. ISBN 978-3-659-63942-5.
- Barotová, Š.: *Detector of Skin Diseases by Fingerprint Technology*, 2017. Bachelor's thesis. FIT BUT in Brno, Brno.

Pro udělení zápočtu za první semestr je požadováno:

- Body 1 a 2.

Podrobné závazné pokyny pro vypracování práce viz <http://www.fit.vutbr.cz/info/szz/>

Vedoucí práce: **Kanich Ondřej, Ing.**
Vedoucí ústavu: Hanáček Petr, doc. Dr. Ing.
Datum zadání: 1. listopadu 2018
Datum odevzdání: 15. května 2019
Datum schválení: 1. listopadu 2018

Abstrakt

Práce se zabývá problematikou detekce poškození obrazu otisku prstu a implementace jejího řešení pomocí technik zpracování obrazu.

Navazuje na práci Š. Barotové: Detector of Skin Diseases by Fingerprint Technology.

Abstract

This work discusses detection of damage in fingerprint images and describes the solution implemented using image processing techniques.

Is a continuation of the work by Š. Barotová: Detector of Skin Diseases by Fingerprint Technology.

Klíčová slova

zpracování obrazu, detekce poškození, klasifikace poškození, rozpoznání otisku prstů

Keywords

image processing, detection of damage, classification of damage, fingerprint recognition

Citace

FRÝZ, Jakub. *Detekce a klasifikace poškození otisku prstu*. Brno, 2019. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Ing. Ondřej Kanich

Detekce a klasifikace poškození otisku prstu

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Ondřeje Kanicha. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....

Jakub Frýz
14. května 2019

Poděkování

Rád bych poděkoval mému vedoucímu práce Ing. Ondřeji Kanichovi za cenné rady, trpělivost a čas, který mi věnoval po dobu zpracování této práce.

Obsah

1	Úvod	3
2	Stav technologií	4
2.1	Biometrie	4
3	Zdravotní pohled	6
3.1	Lidská kůže	6
3.2	Daktyloskopie	7
3.3	Otisk prstu	8
4	Technický pohled	9
4.1	Proces rozpoznávání podle otisků prstů	9
4.2	Technologie pro snímání otisků	10
5	Jevy ovlivňující kvalitu otisků prstů	13
5.1	Stav prstu	13
5.2	Stav senzoru	15
5.3	Prostředí	15
6	Návrh aplikace	16
6.1	Cíle aplikace	16
6.2	Přehled návrhu	16
6.3	Návrh tříd	17
7	Implementace aplikace	19
7.1	Vývojové prostředí	19
7.2	Detektor	20
7.3	Klasifikátor	26
8	Testy a výsledky	28
8.1	Výsledky	28
8.2	Přesnost klasifikátoru	28
8.3	Možné rozšíření a vylepšení	29
9	Závěr	30
A	Diagram toku dat	33
B	UML diagramy	34

C Grafické rozhraní	36
D Výsledky experimentů	37

Kapitola 1

Úvod

Technologie rozpoznávání podle otisků, na kterou se z počátku koukalo s nedůvěrou kvůli svému spojení s kriminalistikou, se v dnešní době hojně používá. Většina z nás se s ní setkává na denním pořádku ve svých chytrých telefonech, noteboocích nebo i na pracovišti. Otisky prstů se v krátké době staly další možností jak si jednoduše zabezpečit svoje data a finance, pokud máte zařízení vybavené čtečkou. Jejich velkou výhodou je totiž, že je na rozdíl od hesel jen tak nezapomenete.

Jenže existuje velká skupina, kteří jsou omezeni v používání systémů používající otisky prstů k ověření uživatele. Omezují je v tom různá kožní onemocnění, které poškozují strukturu papilárních linií a znemožní jejich čitelnost senzory čteček. Spousta těchto technologií má přitom problémy i se zdravými otisky za určitých podmínek. Těmito podmínkami může být prach na prstu nebo senzoru, mastnota, mokré či suché prsty nebo dokonce i větší přítlak na senzor.

Cílem této práce je navrhnout a implementovat algoritmus, který by byl schopen najít poškozené oblasti otisků prstů a určit o jaké poškození se jedná.

V první kapitole [2](#) se podíváme na to, proč je i v dnešní době otisk prstů hojně používaný v technologiích na rozdíl od ostatních biometrických vlastností. Následovat bude pohled ze dvou stran na problematiku spojenou s otisky prstů. Prvně zdravotní pohled v kapitole [3](#) a pak technický v kapitole [4](#). Tato část je pak zakončena kapitolou [5](#), která se zabývá možnými poškozeními otisků z obou předchozích pohledů. V kapitole [6](#) bude popsán návrh algoritmu na zpracování a vyhodnocení poškození na otisku prstu a v následující kapitole [7](#) bude jeho implementace a v kapitole [8](#) jsou shrnuty výsledky experimentů.

Kapitola 2

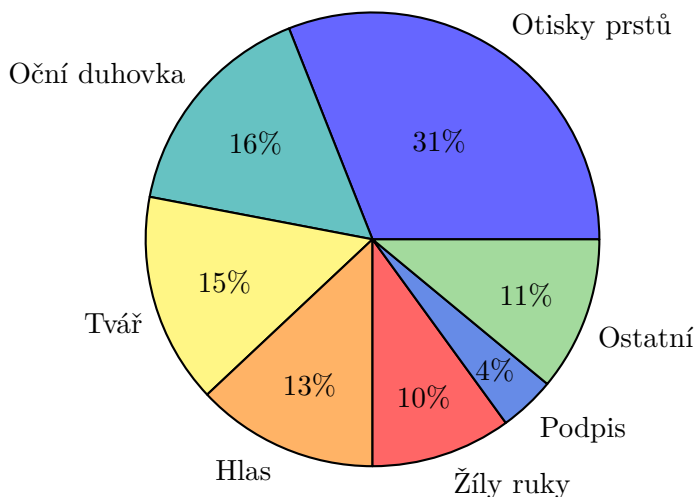
Stav technologií

V této kapitole si představíme, co je biometrie a jaké biometrické vlastnosti existují, jejich výhody a nevýhody a hlavně postavení otisků prstů mezi ostatními vlastnostmi.

2.1 Biometrie

Biometrie se v IT zabývá rozpoznáváním lidských jedinců na základě jejich anatomických (obličej, otisk prstu, duhovka, sítnice, tvar ucha) a behaviorálních rysů (chůze, podpis, hlas) [6, 14]. Tyto rysy jsou nazývány *biometrické vlastnosti*.

Zastoupení jednotlivých biometrických vlastností na trhu znázorňuje koláčový graf na obrázku 2.1. Z něj lze vyčíst, že většinový podíl na trhu stále zabírají právě systémy používající otisky prstů k ověření uživatele.



Obrázek 2.1: Podíl biometrických vlastností na trhu. [17]

Mezi základní charakteristiky biometrických vlastností řadíme tyto (porovnání je v tabulce 2.1) [6, 15]:

- A. Univerzalita** – každá osoba by měla mít tuto vlastnost;
- B. Jedinečnost** – žádné dvě osoby nemají tuto vlastnost stejnou;

- C. Konstantnost** – daná vlastnost se v průběhu života nemění;
- D. Získatelnost** – vlastnost je hromadně měřitelná;
- E. Výkonnost** – biometrická vlastnost se nesmí změnit a zestárnout, což mívá vliv na výkonnost systému;
- F. Přijatelnost** – ochota lidí nechat si nasnímat danou biometrickou vlastnost;
- G. Bezpečnost** – snadnost obejít danou biometrickou vlastnost;
- H. Nákladnost** – cenové náklady na pořízení systému pro danou biometrickou vlastnost.

K dalším aspektům můžeme zařadit: **spolehlivost**, použitelnost, údržbu, dostupnost, provedení, anonymitu, apod [6].

Tabulka 2.1: Porovnání biometrických vlastností
(– nízká, ○ střední, + vysoká). [6]

	A	B	C	D	E	F	G	H
Obličej	+	-	○	+	-	+	-	-
Otisk prstu	○	+	+	○	+	○	+	-
Geometrie ruky	○	○	○	+	○	○	○	○
Žíly ruky	○	○	○	○	○	○	+	○
Duhovka oka	+	+	+	○	+	-	+	+
Sítnice oka	+	+	○	-	+	-	+	+
Podpis	-	-	-	+	-	+	-	-
Hlas	○	-	-	○	-	+	-	-
Termogram	+	+	-	+	○	+	+	+

Z grafu na obrázku 2.1 jde vidět, že po otiscích prstů jsou na trhu hojně zastoupeny i systémy používající *oční duhovku* nebo *tvář* pro identifikaci uživatele. Jenže po shlédnutí tabulky 2.1 zjistíme, že obě biometrické vlastnosti s sebou nesou své výhody a nevýhody. Kvůli své netrvanlivosti nelze tvář používat dlouhodobě pro zabezpečení a nelze vyloučit, že někdo s podobným obličejem by byl schopen se dostat k vašim datům. Na druhou stranu je použití oční duhovky možná bezpečnější než otisku prstu, problémem je však nákladnost této technologie. Z tohoto lze vyvodit proč je otisk prstu tak oblíbený – během života se minimálně mění; pravděpodobnost, že někdo má stejný otisk je téměř neexistující a především nízká nákladnost technologie v poměru s reliabilitou. [6]

Kapitola 3

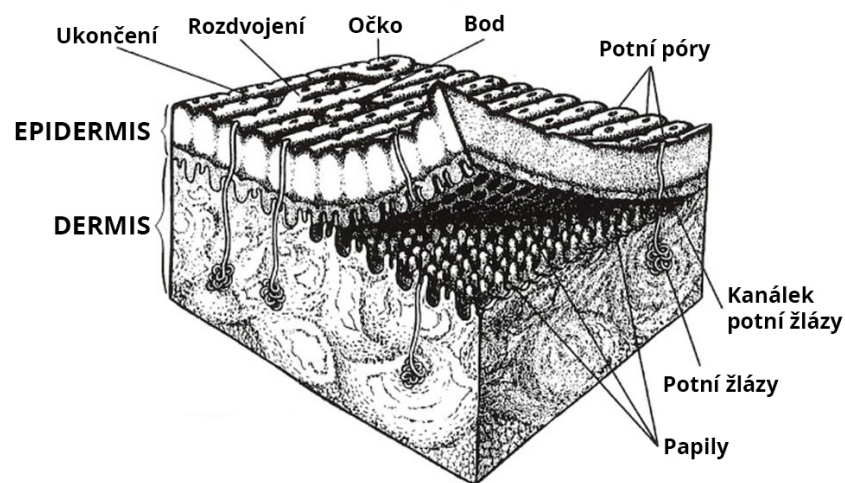
Zdravotní pohled

V této kapitole se podíváme na vrstvy pokožky, co tvoří otisky prstu a jaké jsou základní typy otisků.

3.1 Lidská kůže

Lidská kůže je v první obranné linii proti vnějším vlivům, absorbuje UV záření a funguje jako regulátor teploty. Zároveň díky ní cítíme dotyk, tlak, teplo a zimu nebo bolest.

Skládá ze tří částí: *pokožky* (epidermis), *škáry* (dermis) a *podkožního vaziva* (hypodermis) [3, 19].



Obrázek 3.1: Struktura lidské kůže. [6]

Pokožka (epidermis)

Pokožka je nejsvrchnější vrstvou kůže. Slouží jako bariéra chránící tělo před vnějšími vlivy, UV záření nebo mikroorganismy. Tato vrstva se společně se škárou neustále obnovuje (celá pokožka se obmění asi za tři týdny). [3, 19]

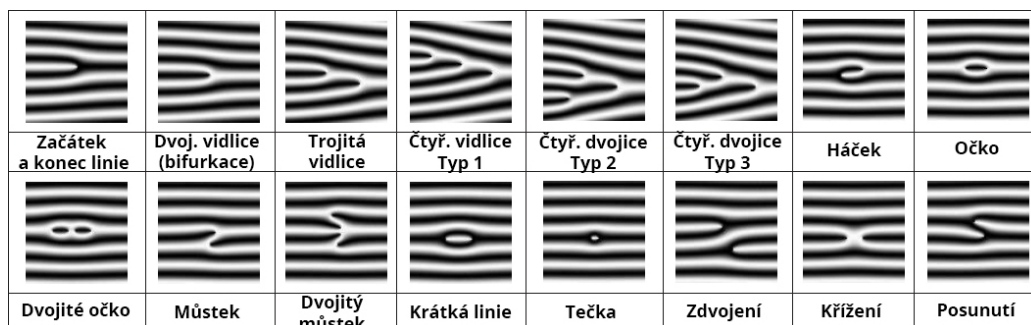
Škára (dermis)

Nejsilnější vrstvou kůže je škára, která obsahuje vlákna kolagenu a elastinu důležité pro pružnost a odolnost kůže [3]. Škára také obsahuje kapiláry (= vlasečnice – tenké cévy propojující tepny a žíly), lymfatické uzliny pro tvorbu bílých krvinek, potní žlázy a vlasové folikuly [3]. Ve škáře se formují papilární linie, které jsou promítnuty do pokožky [3]. Tyto linie se vyskytují na dlaních, prstech a chodidlech a vytvářejí vyvýšené reliéfy a tvarují se do obrazců, tzv. *dermatoglyfy* [18] (na obrázku 3.2).



Obrázek 3.2: Základní dermatoglyfy používané v daktyloskopii. [18]

Jak se tyto linie vzájemně kříží a překřičují, rozvětvují, spojují a přerušují tvoří specifické formace, tzv. *markanty* [12] (na obrázku 3.3). Markanty jsou u každého člověka jiné a tudíž nezaměnitelné [18]. Existuje přes 150 typů markantů, ale všechny jsou tvořeny dvěma základními – *začátek* nebo *konec linie* a *dvojitá vidlice*.



Obrázek 3.3: Základní typy markantů. [18]

Podkožní vazivo (hypodermis)

Podkožní vazivo je nejhlubší vrstvou kůže. Obsahuje tukové buňky, které slouží jako zásobárna energie a umožňují termoregulaci lidského těla. [3, 4, 19]

3.2 Daktyloskopie

Daktyloskopie (též dermatoglyfika) je nauka o obrazcích papilárních liniích na prstech, dlaních a chodidlech. Používá se k identifikaci jedinců [18].

Daktyloskopie se řídí těmito zákony [18]:

- **Nejsou na světě dva jedinci, kteří by měli shodné obrazce papilárních linií.** Francis Galton spočítal, že pravděpodobnost, že 2 otisky budou stejné, je 1:64 milionům [15, 18].

- **Obrazce papilárních linií zůstávají po celý život člověka relativně neměnné.** Papilární linie se tvoří už ve 4. měsíci života člověka a jejich tvar je narušen až ve vysokém věku vráskami [18].
- **Papilární linie jsou relativně neodstranitelné, pokud není odstraněna i zárodečná vrstva kůže.** Povrchové popálení, sedření a ani seříznutí neodstraní papilární linie natrvalo [18]. Pro permanentní odstranění linií musí být poškozena vrstva kůže zvaná *škára* (viz sekce 3.1) [15].

Díky těmto zákonům se v přelomu 19. a 20. století začala používat v kriminalistice a převzala vedoucí postavení v oboru identifikace osob [18].

3.3 Otisk prstu

Otisk prstu (na obrázku 3.4 a 3.5) patří k jedné z mnoha biometrických vlastností člověka. Lze ho získat oskenováním reliéfu na pokožce prstu – papilárních linií. Prostoru mezi jednotlivými liniemi se v češtině říká *prohlubně* nebo taky *brázdy*. [18]

Daktyloskopie rozděluje otisky na tři typy [4, 18]:

1. **píchaný** (živý) – získán přiložením prstu na povrch snímače 3.4;
2. **válený** (rolovaný) – získán válením prstu po povrchu snímače 3.5;
3. **latentní** – vlhký nebo mastný otisk papilárních linií zanechaný při kontaktu s jinými povrchy; může být poškozený nebo neúplný.



Obrázek 3.4: Píchaný otisk prstu.



Obrázek 3.5: Válený otisk prstu.

Kapitola 4

Technický pohled

Tato kapitola se zabývá způsoby získávání snímků otisků, technologií k tomu určeným a procesu rozpoznávání otisků.

4.1 Proces rozpoznávání podle otisků prstů

Existují dva módy v biometrických systémech: registrace a porovnání. *Registrace* znamená, že uživatel přiloží několikrát svůj prst na senzor čtečky, která si za každé přiložení pořídí snímek a systém za čtečkou z nich následně vypočítá a vytvoří šablonu otisku prstu. *Porovnání* se dále dělí na *ověření* a *identifikaci* uživatele. První z příkladů *ověřuje* uživatele podle snímku už předtím vytvořeného (1 : 1) a druhý z příkladů uživatele *identifikuje* projitím celé databáze už získaných otisků (1 : N). Proces porovnání není jednoduchý, je potřeba si dát pozor na tyto dvě chyby – stejné otisky porovnány jako různé nebo podobné otisky od různých lidí porovnány jako stejné [4, 14, 16].

Proces rozpoznávání podle otisků prstů se skládá z pěti základních kroků [3, 16]:

- 1. Získání otisku prstu** – Pro zachycení digitálního obrazu otisku prstu je k dispozici široký výběr *off-line* metod a *live-scan* technologií, které byly vytvořeny v průběhu let. Více o možnostech skenování otisků v sekci 4.2.
- 2. Vylepšení kvality snímku** – Pro další práci s otiskem je potřeba vylepšit kvalitu papilárních linií na otisku. Postup vylepšení se může lišit podle použitého postupu snímání a je ovlivněn podmínkami, při kterých byl snímek pořízen.
- 3. Klasifikace otisku prstu** – Každý otisk je přiřazen do jedné z tříd [18] otisků prstů podle tvaru dermatoglyfu. Tento krok urychluje pozdější proces porovnání otisků, protože stačí porovnat otisk pouze s otisky stejné třídy. Jedná se o náročný proces, protože je často obtížné určit do jaké třídy otisk patří.
- 4. Extrakce markantů** – Tento algoritmus najde a extrahuje potřebné markanty nalezené v otisku.
- 5. Porovnání otisků prstů** – V tomto kroku jsou sady markantů ze dvou snímků otisků porovnávány. Výsledkem je skóre porovnání, např. z počtu shodných dvojic markantů. Po srovnání lze určit, zda-li tyto dva otisky patří stejné osobě.

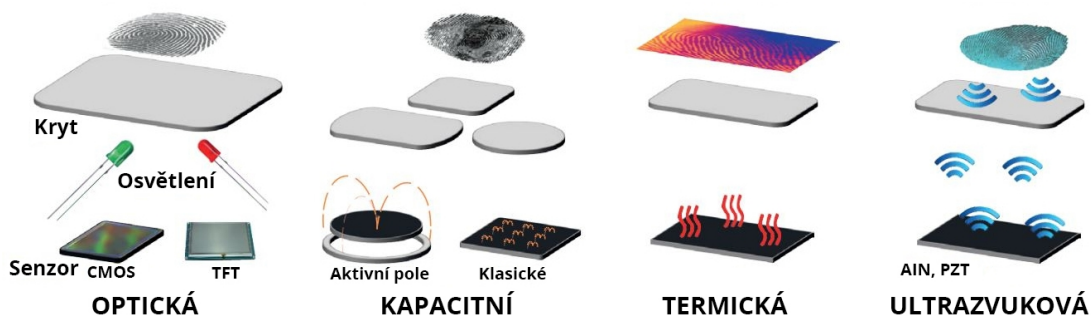
4.2 Technologie pro snímání otisků

Pro získání digitálního obrazu otisku prstu museli být vytvořeny různé metody snímání. V minulosti se používalo inkoustu, do kterého byli namočeny prsty a ty se následně otiskly na papír. Podobnou metodou je „čisté snímání otisků“, které používá chemikálii namísto inkoustu. Tyto techniky jsou nazývány *off-line* snímání. Pak tu máme různé moderní *live-scan* čtečky otisků prstů vytvořené v průběhu let, které nám umožňují získat digitální vzorky bez použití inkoustu [16].

Čtečky mohou být jednoprsté nebo víceprsté (většinou čtyři prsty bez palce). Díky své malé velikosti, nízké ceně a jednoduchém ovládní jsou první zmiňované čtečky nejvíce používané v různých komerčních či osobních aplikacích, zatímco druhý typ se hojně používá na forenzním oddělení, popř. v jiných rozsáhlých civilních aplikacích, kde je potřeba k identifikaci jedince více jak jeden prst [16].

Snímače otisků lze rozdělit do tří hlavních kategorií: *kontaktní*, *bezkontaktní* a *průtahové* [16]. U kontaktních senzorů je potřeba přiložit prst na senzor a ponechat jej tam pár sekund v klidu. Výhodou je jednoduché použití i nezkušenými uživateli. Velkou nevýhodou je možná přítomnost předchozích otisků a nečistoty na sklíčku senzoru [15]. Podobným typem jsou čtečky bezkontaktní. Pracují podobně jako kontaktní, ale na rozdíl kontaktních se prst nikam nepřikládá, což odstraňuje některé nevýhody. Nevýhodou zde jsou ale vyšší cena a správné umístění prstu nad senzorem – ten totiž musí být zarovnan ve třech dimenzích [15]. Posledním typem jsou průtahové čtečky. Ty jsou široké přibližně jako šířka prstu, ale výška je v pouhých milimetrech. Prst se následně potahuje vertikálně přes senzor. Během pohybu je prst opakovaně snímán, čímž vzniknou snímky pouze části prstu. Ty se použijí pro rekonstrukci celého otisku prstu. Výhodou tohoto provedení čtečky je v její velikosti a tím pádem i ceně. Nevýhodou je složitější ovládní [15].

Dalším rozdělením může být podle použité technologie (na obrázku 4.1) – optická, kapacitní, ultrazvuková, elektrooptická, tlaková a termická technologie, dále také technologie E-Field nebo MEMS.



Obrázek 4.1: Technologie na rozpoznávání otisků. [24]

Snímání otisků pomocí inkoustu nebo chemikálie

Před tím než existovaly jakékoliv elektronické zařízení, se na snímání otisků prstů používal inkoust. Otisky se otiskly na daktyloskopické karty (na obrázku 4.2) a následně se pak manuálně srovnávaly se získanými vzorky. Tato metoda se v dnešní době stále používá společně s moderními systémy. [16]

LEAVE BLANK JANE DOE #1987-0037		TYPE OR PRINT ALL INFORMATION IN BLACK LAST NAME <u>NAM</u> FIRST NAME MIDDLE NAME				FBI LEAVE BLANK			
STATE USAGE	ALIASES	CONTRIBUTOR OR I	CA0412900 CO CORONER'S OFF REDWOOD CITY, CA		DATE OF BIRTH <u>DOB</u> Month Day Year				
SIGNATURE OF PERSON FINGERPRINTED DECEASED / 187 PC VICTIM	JANE DOE #1	YOUR NO. <u>OCA</u> 87-37		SEX <u>F</u> RACE <u>W</u> HGT. <u>5'3"</u> WGT. <u>99</u> EYES <u>BRO</u> HAIR <u>BRO</u>	PLACE OF BIRTH <u>POB</u>				
THIS DATA MAY BE COMPUTERIZED IN LOCAL, STATE AND NATIONAL FILES	DATE ARRESTED OR RECEIVED <u>DOA</u> 01/11/1987	FBI NO. <u>FBI</u>		CLASS. <u>11 0 12 U 000</u> <u>M 30 u 010</u>		REF.			
DATE <u>1/11/87</u> SIGNATURE OF OFFICIAL TAKING FINGERPRINTS <u>C. MUGURUSSA-BROWN</u>	CHARGE	SOCIAL SECURITY NO. <u>SOC</u>		NCIC CLASS - FPC					
FINAL DISPOSITION	CAUTION <input type="checkbox"/>		P O 1 1 P O P O P O 1 5 1 6 P I P O P I						
1. RIGHT THUMB		2. RIGHT INDEX		3. RIGHT MIDDLE		4. RIGHT RING		5. RIGHT LITTLE	
6. LEFT THUMB		7. LEFT INDEX		8. LEFT MIDDLE		9. LEFT RING		10. LEFT LITTLE	

Obrázek 4.2: Ukázka daktyloskopické karty. [21]

Při alternativní metodě nazývané „čisté snímání otisků“ se používá chemikálie namísto inkoustu a speciální papír. Vzniklé otisky jsou vysoké kvality. [1, 5]

Optická technologie

Optická technologie (na obrázku 4.1) má své počátky v 70. letech minulého století. Tato technologie pracuje na relativně jednoduchém principu. Snímaný prst se přiloží na skleněnou vrstvu senzoru a zdroj světla osvětlí plochu prstu. Díky tomu, že osvětlené papilární linie se dotýkají skla a prohlubně mezi nimi ne, může kamera nasnímat obraz. Nemusí rozpoznat padělek otisku prstu. Jiný typ optického senzoru používá koherentní tomografii. Dražší, ale získá snímek z hlubší vrstvy kůže, který je těžší zfalšovat. [4, 6, 18]

Kapacitní technologie

Kapacitní senzor (na obrázku 4.1) se skládá z matice malých vodivých plošek (řádově 100 000), na které je nanášena vrstva nevodivého oxidu křemičitého (SiO_2). Jemnost těchto vodivých plošek je vyšší než jemnost papilárních linií, takže když se prst přiloží na senzor, vzniknou nad plochami těchto plošek kondenzátory (jednou elektrodou je papilární linie v místě dotyku a druhou elektrodou je právě tato ploška), jejichž výstupem je hodnota odpovídající překryvu plochy plošky. Vliv na kvalitu vzniklého snímku má vše, co nějakým způsobem mění vodivost lidské pokožky – např. nečistoty od jídla obsahující cukr či sůl, stejně jako použití ochranných nebo léčivých krémů na ruce. [4, 6, 18] Podobnou technologií je tzv. e-field technologie (viz sekce 4.2) [4, 6].

Termická technologie

Termická (též teplotní) technologie (na obrázku 4.1) pracuje s teplem lidského těla. Díky tomu, že teplota papilárních linií je větší než prohlubně, lze protažením prstu po pyroelektrické buňce snímající tepelné záření získat snímek. Teplota je důležitým faktorem, díky ní jsme schopni zjistit, zda-li snímáný otisk patří živé osobě. [4, 6, 18]

Ultrazvuková technologie

Tato technologie (na obrázku 4.1) využívá rotující ultrazvukový vysílač, který je zároveň i přijímačem. Ten vysílá ultrazvukový signál směrem k prstu a následně vyhodnocuje, jestli se signál vrátil dříve (papilární linie) nebo později (prohlubeň). Vzniklý obraz otisku prstu je v 3D. Díky tomu, že vlny signálu proniknou i pod povrch kůže, lze lehce odhalit falešné otisky. [4, 6, 18].

Tlaková technologie

Senzor tlakové technologie je složen ze tří vrstev – nevodivý gel mezi dvěma elektrovodivými vrstvami. Tlakem prstu na senzor se tyto elektrovodivé vrstvy v místech papilárních linií spojí a výsledkem je digitální snímek. [4, 6, 18]

Elektrooptická technologie

Zde použitý senzor se skládá ze čtyř vrstev – základní vrstva, fosforová vrstva emitující světlo, černá koaxiální vrstva a izolační vrstva. Přiložení prstu vytvoří kontakt mezi černou koaxiální vrstvou a fosforovou vrstvou, který způsobí emitování světla ve fosforové vrstvě. Vzniklé záření projde základní vrstvou do kamery. [4, 6]

Technologie E-Field

Kolem senzoru e-field technologie je vodivý prstenec, který generuje elektrické pole. Ve chvíli, kdy je snímáný prst přiložen na senzor, struktura papilárních linií ve škáře (sekce 3.1) deformuje elektrické pole, které je následně zachyceno polem antén ukrytým pod senzorem. Podobně jako ultrazvuková technologie (sekce 4.2) dokáže odhalit falešné otisky a ignorovat špínu a drobné ranky na povrchu prstu díky tomu, že pole proniká hlouběji pod povrch prstu. Zároveň je kvalita snímků lepší než u kapacitní (sekce 4.2) nebo elektrooptické (sekce 4.2) technologii. [4, 18]

Zajímavou modifikací je kombinace e-field a kapacitní technologie (sekce 4.2) využívající krátké rádiové frekvence známá jako *RF technologie* [4].

Kapitola 5

Jevy ovlivňující kvalitu otisků prstů

Kvalita otisku prstu může být ovlivněna různými faktory. Ne vždy lze tyto rušivé elementy odstranit a žádná z existujících technologií není odolná vůči všem typům poškození a proto s nimi musíme počítat. Tyto jevy lze rozdělit do tří skupin: stav prstu, stav snímače a prostředí, ve kterém je snímání prováděno. [3, 15]

5.1 Stav prstu

Většina typů senzorů je ovlivněna nečistotami na povrchu bříšku prstu. Jedná se například o malé částičky prachu nebo mastnotu. Pouze snímače, které při snímání pronikají hlouběji pod povrch (ultrazvukové a e-field senzory) nebo nepotřebují kontakt prstu se senzorem (bezkontaktní senzory), jsou proti těmto znečištění odolné. Elementy, které mění vodivost kůže a tím i její odpor, mohou také poškodit výsledný otisk. Vlhkost nebo vysušenost kůže jsou jedny z možných faktorů. Vodivostí jsou nejvíce ovlivněny kapacitní a e-field čtečky, které využívají elektrického pole kolem lidského těla pro získání otisku. Dále různá fyzická poškození jako řezné rány nebo odřeniny mohou mít vliv na kvalitu otisku. Pokud se jedná pouze o povrchové poškození, postačí použití ultrazvukového nebo jiného hlubinného snímače, v opačném případě může být tvar papilárních linií natrvalo pozměněn a tím i možnost získat nepoškozený otisk. V neposlední řadě i vynaložení většího nebo naopak nedostatečného tlaku na kontaktní senzor nebo pohyb prstu během snímání může mít za výsledek nepoužitelný otisk. [15]

Velkou skupinou ovlivňující kvalitu otisku jsou kožní nemoci. Ty mohou pozměnit tvar papilárních linií na povrchu prstu, ale i pod ním. V prvním případě lze použít už zmiňovaný ultrazvukový snímač a tím získat nepoškozený otisk. Mezi tyto nemoci patří: ekzémy, lepénka, bradavice, sklerodermie nebo kolagenóza. [4, 15]

Atopický ekzém

Atopický ekzém je neinfekční zánět kůže, který je charakterizován suchou kůží a svěděním. Projevuje se praskáním kůže, tvorbou šupinek a olupováním. Nemoc může ovlivnit celý nebo jenom část otisku prstu výskytem tenkých linek nebo bílých fleků. V případě poškození menší oblasti je možno stále otisk opravit, v opačném případě je otisk téměř nečitelný. [4, 23]

Dyshidrotický ekzém

Tento ekzém známý též jako *pompholyx* se projevuje popraskanými šupinatými skvrnami a puchýřky plné hnisem nebo tekutinou. Otisky prstů poškozené tímto onemocněním jsou pokryty nepravidelnými rozmazanými tvary nebo tlustými čarami. Tvar papilárních linií je obvykle narušen a můžou se objevit i bílé skvrny. [4, 23]

Lupénka

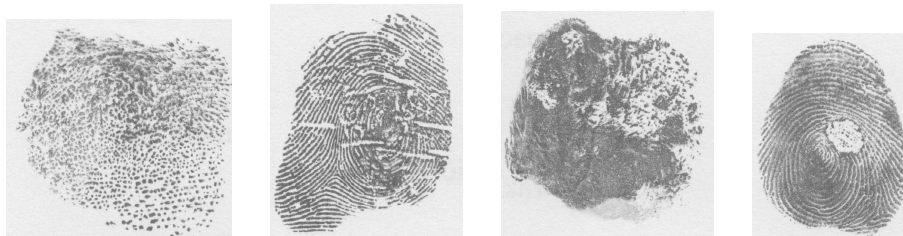
Psoriáza neboli lupénka je neinfekční zánětlivé autoimunitní onemocnění kůže ne nepodobné vážnějším formám ekzému. Projevem je odlupování pokožky a tvorba šupinek. Otisky jsou ve většině případů zcela nečitelné. Nejčastěji se v nich objevují nepravidelné tmavé fleky ohraničené bílým okrajem. [4, 23]

Acrodermatitis continua Hallopeauova

Známé taky jako Hallopeauova nemoc, toto onemocnění je chronické zánětlivé onemocnění rukou a nohou. Patří mezi vzácné varianty psoriázy. Je charakterizována pustulami na prstech ruk nebo nohou. Pokud tyto pustuly vzniknou v nehtovém lůžku, může dojít ke ztrátě celého nehtu. Snímky otisků prstů poškozené tímto onemocněním typicky obsahují malé oblé skvrny pokrývající celý prostor otisku. Můžou se objevit i větší podlouhlé nebo oblé skvrny, popř. praskliny. Papilární linie jsou nečitelné. Ve většině případů je otisk poškozen po celé ploše bez možnosti opravy. [4, 9]

Bradavice

Velmi časté kožní onemocnění projevující se vyvýšenými hrbolky na povrchu kůže, které můžou narůst do velikosti od 5 mm až 1 cm. Vliv na otisky je malý a lze ho odstranit vcelku jednoduše. Typicky se objeví 1 až 4 bílé skvrny někdy obsahující černé tečky uprostřed. [4]



Obrázek 5.1: Otisk prstu poškozený nemocí (zleva: acrodermatitis, atopický ekzém, lupénka a bradavice).

Systémová sklerodermie

Sklerodermie je zánětlivé autoimunitní onemocnění pojivové tkáně charakteristické výskytem tvrdých, jemných a slovinově zbarvených oblastí. Na otiscích nejsou žádné známky poškození, z čehož lze vyvodit nedostatkem otisků pro popis vlivu nemoci na otisk prstu. [4]

Raynaudův jev

Tento jev je cévní nemocí, která často doprovází jinou nemoc (většinou sklerodermii). Způsobuje změny barev kůže – od bledé přes bílou a modrou až po červenou. Jelikož pouze ovlivňuje barvu kůže, otisk prstu je tím pádem nepoškozen. [4]

Výpotek prstů

Výpotek je pouze syndromem, který se projevuje silným otokem. Je například jedním ze symptomů *sklerodermie*. Papilární linie jsou obvykle přerušeny na mnoha místech. [4]

5.2 Stav senzoru

Hlavním problémem především u kontaktních čteček jsou nečistoty na povrchu senzoru. Ty mají stejný efekt jako znečištění na prstu. Problém je ale o to větší, protože ovlivňuje více snímání. Proti nečistotám jsou odolné ultrazvukové, e-field a průtahové i bezkontaktní čtečky. Podobným problémem je otisk prstu, který zůstal na sklíčku čtečky, tzv. latentní stopa. Problém stejný jako jiné nečistoty, ale tento latentní otisk lze zneužít pro tvorbu syntetického otisku, čímž vzniká bezpečnostní riziko. Proti syntetickým otiskům jsou odolné stejné technologie jako u nečistot, popř. jsou systémy, které nejsou schopny rozpoznat umělý otisk, vybaveny podpůrnými systémy na detekci života (například krevního řečiště). Největším problémem je manuální poškození čtečky především senzoru, které poškodí všechny nasnímané otisky. [15]



Obrázek 5.2: Otisk prstu podle tlaku vyvinutý na čtečku (zleva: nízký, normální a velký).

5.3 Prostředí

Posledním faktorem ovlivňující kvalitu získávání otisků je prostředí, ve kterém snímání probíhá. Při vysokých teplotách mohou nastat problémy při snímání pomocí termické technologie. Ultrazvuková technologie zase špatně pracuje při nízkých teplotách. Optické a elektrooptické snímače může ovlivnit přesměřování okolního světla. Většinou je senzor co nejmenší, ale pokud plocha snímače je větší nebo naopak přiložený prst menší, může být senzor odhalen okolnímu světlu a tím poškodit výsledný otisk. Posledním jevem je elektromagnetické záření. Jestliže je toto záření vysoké, tak může ovlivnit celé zařízení, což může mít za následek rozmazaný snímek. [15]

Kapitola 6

Návrh aplikace

Hlavní částí aplikace je kolekce *detektorů* a jeden *klasifikátor*. To celé je zaštitěno grafickým rozhraním (GUI). Navržený algoritmus je rozšířením algoritmu použitým v práci [1] s důrazem na implementaci úprav navržených autorkou práce.

6.1 Cíle aplikace

Jelikož hlavním cílem této práce je vyvinout detektor a klasifikátor poškození na otisku prstu, je to i hlavním cílem celé aplikace. Vstupem bude otisk prstu a výstupem stav otisku (v pořádku, poškozený) a druh poškození (kožní nemoc, tlak, mastnota, apod.).

Hlavní cíl aplikace se dá rozdělit na tyto dílčí cíle:

1. Najít všechny poškozené oblasti otisku prstu použitím detekčních algoritmů.
2. Rozpoznat stav otisku prstu – zdravý, poškozený, částečně poškozený – a druh poškození – nemoc, mastnota, nečistoty, apod.
3. Vizualizovat celý proces detekce a klasifikace.
4. Implementovat vylepšení popsané v práci [1].
 - Normalizovat snímek otisku na základě použité metody použité pro jeho získání.
 - Optimalizace algoritmu využívající histogramy.
 - Optimalizace rychlosti.

6.2 Přehled návrhu

Jak bylo řečeno, aplikace se skládá z detektoru a klasifikátoru. Ty používají menší pomocné algoritmy např. pro normalizaci a zpracování snímku otisku. Úkolem detektoru je najít poškozené části otisku a určit jejich vlastnosti – velikost, tvar, pozici, apod. Dalším výstupem je rozsah poškození v procentech a vizualizace poškození. Klasifikátor pracuje z daty, co získá z detektorů. Podle daných pravidel rozhodne a vyhodnotí procento a typ poškození a vše je zobrazeno uživateli v GUI aplikace. Celý program je navrhnout tak, aby implementace dalších detekčních algoritmů byla co nejsnazší. Zjednodušený diagram toku dat je zobrazen v příloze na obrázku [A.1](#).

Návrh detektoru

Jelikož existuje široký rozsah možných poškození, které se můžou vyskytnout na otisku, je potřeba implementovat více detekčních algoritmů, kde každý je určen pro detekci jiného typu poškození.

Každý z těchto algoritmů obsahuje část předzpracování a část detekce. V základu bude použito algoritmů z práce [1], které budou upraveny a použity pro potřeby této práce. Jsou to tyto algoritmy: Analýza histogramu, směrové pole a semínkové vyplňování. Chování jednotlivých detektorů je popsáno v kapitole 7.

Návrh klasifikátoru

Klasifikátor obsahuje seznam rozhodovacích pravidel. Vstupem jsou informace získané z detektorů a výstupem je výsledný stav poškození a jeho druh na základě daných pravidel.

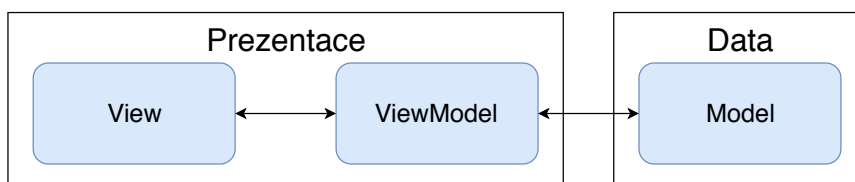
6.3 Návrh tříd

Návrh tříd je založen na návrhovém vzoru MVVM (Model-View-ViewModel).

Návrhový vzor Model-View-ViewModel

Návrhový vzor MVVM slouží k separaci vývoje grafického rozhraní od vývoje logiky za ním. Byl vytvořen v Microsoftu architekty Kenem Cooperem a Tedem Petersem jako varianta na vzor prezentačního modelu od Martina Fowlera, která není závislá na konkrétní platformě uživatelského rozhraní. Tento vzor je začleněn do *Windows Presentation Foundation* a *Silverlight*, což jsou frameworky pro tvorbu grafického rozhraní od Microsoftu. Jeden z architektů WPF a Silverlight John Gossman představil MVVM na svém blogu v roce 2005. [2, 11, 20]

Návrhový vzor MVVM se skládá ze tří komponent [2, 11, 20]:



Obrázek 6.1: Diagram MVVM.

- **Model** popisuje data, se kterými aplikace pracuje. Nesmí vědět nic o stavu ovládacích prvků.
- **View** reprezentuje uživatelské rozhraní. Může se jednat o okno aplikace, stránku nebo ovládací prvek.
- **ViewModel** (mimo .NET platformu označován jako Binder) spojuje Model a View a drží stav aplikace. Pomocí bindingu jsou ovládací prvky propojeny s ViewModelem a čerpají z něj svůj obsah. Komunikace mezi jednotlivými ViewModely je pomocí zpráv.

Třídy

V aplikaci je Model podle MVVM reprezentován třídy detektorů (`HistogramDetector`, `OrientationsDetector`, `BlackSpotDetector` a `WhiteSpotDetector`) a třídou klasifikátoru `Classifier`. Jelikož detektory sdílí stejný návrh, dědí všechny z jedné abstraktní třídy `DetectorBase`, která implementuje rozhraní `IDetector`. V příloze je na obrázku B.2 UML diagram návrhu detektorů. View je reprezentován oknem aplikace `MainWindow` a ovládacími prvky `SettingsView` a `ResultsView`. Ke každému View je jeden ViewModel, respektive `MainViewModel`, `SettingsViewModel` a `ResultsViewModel`. Tyto ViewModely dědí z abstraktní třídy `ViewModelBase`, která implementuje rozhraní `INotifyPropertyChanged` pro správnou funkčnost bindingu. V příloze C jsou obrázky grafického rozhraní a zvýraznění jednotlivých View.

Pro správnou funkčnost MVVM je zde třída `ViewModelLocator`, která vytváří jednu instanci každého ViewModelu. Komunikaci mezi ViewModely obstarává třída `Messenger`, která implementuje rozhraní `IMessenger`. Mezi zprávy patří třídy `OpenFileMessage`, `RecentFileSelectedMessage`, `NewRecentFileMessage`, `ResetResultsMessage`, `ResetSettingsMessage`, `ResetSettingsValuesMessage`, `StartProcessMessage`, `WorkerStartedMessage` a `WorkerFinishedMessage`. Na obrázku B.1 je zobrazeno, které třídy a View dané zprávy posílají a které je přijímají. Třída `RelayCommand` pak zprovozuje příkazy z View do ViewModelu (např. stisk tlačítka).

View pro reprezentaci některých dat používá tzv. převodníky. To jsou třídy, které implementují rozhraní `IValueConverter`. Těmi převodníky jsou `BoolToStretchDirectionConverter`, `BoolToVisibilityConverter`, `BoolToVisibilityConverterInverted`, `DamageTypeToStringConverter` a `InvalidPathToNullConverter`. Typ vstupních a výstupních dat je patrný podle názvu převodníku.

Třídy `MainForegroundWorker` a `MainBackgroundWorker` se starají o celý proces detekce a klasifikace. Vstupem je třída `WorkerSettings`, která obsahuje data z `SettingsViewModel`, a výstupem je třída `WorkerResults`, která obsahuje data pro `ResultsViewModel`. Rozdíl v nich je, na kterém vlákne je spuštěn. `MainBackgroundWorker` se spouští na novém vlákne, zatímco `MainForegroundWorker` na existujícím vlákne aplikace.

Projekt taky obsahuje rozšiřující třídy `MatExtension` a `CvInvokeExtension`. První rozšiřuje třídu `Mat` z knihovny `Emgu CV` o možnost přímé editace, druhá zase implementuje funkce, které jsou v knihovně `OpenCV`, ale nejsou v knihovně `Emgu CV`.

Následují množství podpůrných tříd. Nejdůležitějšími mezi nimi jsou `Histogram` pro analýzu histogramu, `FloodFill`, která obsahuje algoritmus *semínkového vyplňování*, `BackgroundExtractor` pro separaci pozadí od otisku, a `StatusMapper` pro vyhodnocení výsledků z detektorů. Třídy `StatusMap`, `DamagedArea`, `Peak`, `Step`, `MatFile` a `ResultBitmapSource` jsou určeny pro uložení dat. Třída `BasicImageOperations` seskupuje algoritmy pro zpracování obrázků a třída `Normalizer` obsahuje algoritmus pro normalizaci otisku prstu.

Kapitola 7

Implementace aplikace

V této kapitole budou popsány algoritmy použité v tomto projektu společně s jejich výhodami a nedostatky. Nejprve ale prostředí, ve kterém byl celý projekt vyvíjen.

7.1 Vývojové prostředí

V tabulce 7.1 je popis prostředí, ve kterém se aplikace vyvíjela a testovala, jaké byly použity pluginy a které knihovny projekt potřebuje ke kompilaci. V tabulce 7.2 je popis počítačové soustavy, na které se aplikace vyvíjela a testovala.

Tabulka 7.1: Informace o projektu.

Použitý jazyk:	C#
Verze .NET frameworku:	4.7.2
Použité prostředí (IDE):	Visual Studio Enterprise 2017 15.9.11
Nainstalované pluginy:	JetBrains ReSharper Ultimate 2019.1.1
Použité knihovny:	Emgu CV 4.0.1.3373 ZedGraph 5.1.7 Extended WPF Toolkit 3.5.0 DocFx Console 2.42.0

Tabulka 7.2: Použitá PC sestava.

Základní deska:	MSI B150 Gaming M3
Procesor:	Intel Core i5-6600K 3.50GHz
Grafická karta:	MSI R9 390X Gaming 8G 8GB GDDR5
RAM paměti:	Kingston HyperX Fury Black 16GB (2x8GB) DDR4 2133
Napájecí zdroj:	EVGA 650 GQ 650W
Disky:	Samsung SSD 850 EVO Basic 250GB WD Green EZRX 2TB Samsung SSD 850 EVO Basic 500GB

Emgu CV

Knihovna Emgu CV je cross-platformní .NET wrapper pro knihovnu zpracování obrazu OpenCV. Umožňuje volat funkce OpenCV z .NET jazyků jako jsou C#, Visual Basic, IronPython a další. [8]

ZedGraph

Knihovna ZedGraph slouží k vykreslování grafů. Je jedinou závislostí pro knihovnu Emgu CV, v projektu není použita.

Extended WPF Toolkit

Balíček ovládacích prvků pro WPF. Existuje v neplacené verzi, která je použita v tomto projektu, a v placené Plus verzi.

DocFx

Generátor dokumentace ze zdrojového kódu od Microsoftu. Vytvořená dokumentace je publikována na [10].

7.2 Detektor

Pro detekci jsou použity tři algoritmy: pole orientací, analýza histogramu a semínkové vyplňování. Jejich kombinací získáme užitečné informace o stavu snímku otisku prstu a možnému typu poškození.

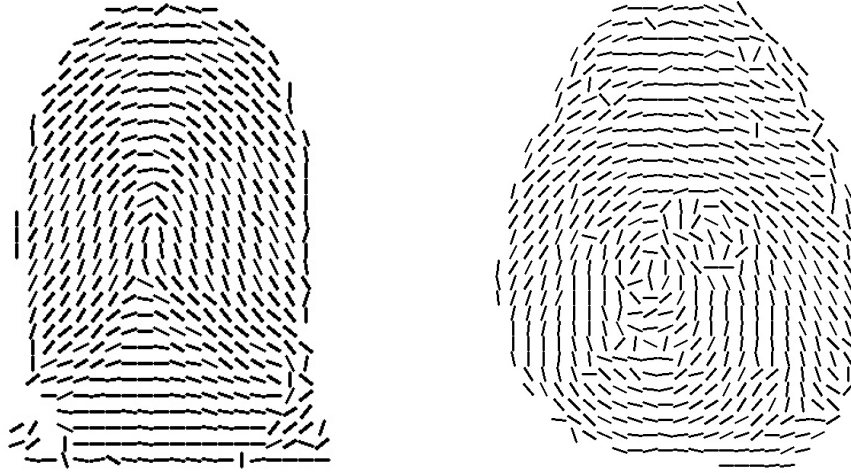
Detektor používá několik datových struktur. První z nich je **Mat** z knihovny Emgu CV pro ukládání obrázků, jinak taky matice číselných hodnot. Používá se nejen pro vstupní obrázky, ale i pro mezikroky a **StatusMapy**. **StatusMapy** využívají **Mat** pro vizualizaci poškození otisku. Hodnoty matice jsou mezi -1 a 1 . Záporné hodnoty jsou použity pro pozadí, nulu pro zdravou oblast a kladné hodnoty pro poškozenou oblast, kde 1 znamená nejvíce poškozená oblast.

$$x = \begin{cases} \langle -1; 0 \rangle & \text{pozadí} \\ 0 & \text{nepoškozená oblast} \\ \langle 0; 1 \rangle & \text{poškozená oblast} \end{cases} \quad (7.1)$$

Poslední potřebná datová struktura je **DamagedArea**. Je použita pro uložení poškozených oblastí z obrázku a informací o té oblasti. Mezi uloženými informacemi je typ vlastnosti, lokace prvního pixelu oblasti, velikost a počet pixelů oblasti.

Pole orientací

Tento algoritmus je běžně používaný v procesu rozpoznávání podle otisků prstů pro odhadování směru papilárních linií a následnou klasifikaci do jedné z mnoha tříd. Jelikož vzor snímku otisku prstu se skládá ze střídání tmavých (papilární linie) a světlých (brázdy) čar, lze tuto informaci jednoduše zpracovat pomocí gradientního operátoru, který odhadne gradient snímku pro každý pixel. Tato nízko-úrovňová informace je následně shromážděna a zprůměrována pro každý $w \times w$ blok snímku. Výsledkem je relativně pravidelný a nepřetržitý obrázek odhadu směru papilárních linií jak je zobrazeno na obrázku 7.1. [4, 13]



Obrázek 7.1: Příklady polí orientací
(vlevo: zdravý otisk, vpravo: poškozený otisk).

Jak jde vidět na obrázku 7.1 vpravo, potenciální poškozené oblasti jsme schopni rozpoznat pouhým okem. V algoritmu jsou poškozené oblasti nalezeny na základě porovnávání úhlů jednotlivých orientací.

Hlavní kroky algoritmu pro výpočet pole orientací jsou následující: [13]

1. Rozděl obrázek otisku na $w \times w$ bloků.
2. Vypočítej gradienty ∂_x a ∂_y pro každý pixel (i, j) pomocí gradientního operátoru. V tomto případě byl použit Sobelův operátor. [7]

$$\text{Sobelův operátor} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

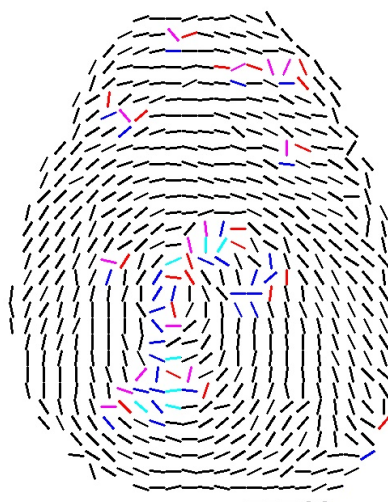
3. Vypočítej odhad $\theta(i, j)$ orientace papilární linie pro každý blok se středem v (i, j) použitím rovnic (7.2), (7.3) a (7.4).

$$\mathcal{V}_x(i, j) = \sum_{u=i-\frac{w}{2}}^{i+\frac{w}{2}} \sum_{v=j-\frac{w}{2}}^{j+\frac{w}{2}} 2\partial_x(u, v)\partial_y(u, v) \quad (7.2)$$

$$\mathcal{V}_y(i, j) = \sum_{u=i-\frac{w}{2}}^{i+\frac{w}{2}} \sum_{v=j-\frac{w}{2}}^{j+\frac{w}{2}} (\partial_x^2(u, v) - \partial_y^2(u, v)) \quad (7.3)$$

$$\theta(i, j) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{\mathcal{V}_y(i, j)}{\mathcal{V}_x(i, j)} \right) \quad (7.4)$$

Výsledné pole orientací je následně analyzováno pro možné narušení. Analýza je prováděna po řádcích a sloupcích. Sousedící orientace jsou porovnány a označeny jako narušení pokud $|\theta(i, j) - \theta(i, j + 1)| > 45^\circ$, kde oba odhady $\theta(i, j)$ a $\theta(i, j + 1)$ jsou hodnoty mezi 0° a 180° . Ukázka detekce je na obrázku 7.2

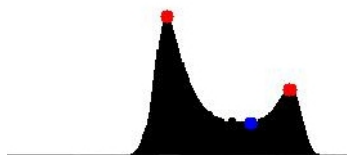


Obrázek 7.2: Detekce poškozené oblasti pomocí pole orientací.

Výhoda této metody je, že se už používá při procesu rozpoznávání podle otisků prstů, takže postačí do existujících metod pouze implementovat detekční část. Taky poskytuje celkem přesný odhad poškození na snímku otisku prstu. Nicméně má obtíž detekovat lokální poškození jako jsou skvrny nebo linie. Pro tento typ poškození je použito semínkového vyplňování. Než si ale vysvětlíme tento algoritmus, podíváme se na to, jak může být použita bloková analýza histogramu snímku k získání užitečných informací o poškození.

Analýza histogramu

Tato metoda je založena na předpokladu, že kvalitní snímek otisku prstu se skládá z rovnoměrně rozložených papilárních linií a brázd. Pokud budeme předpokládat, že všechny linie jsou stejné tmavé barvy, zatímco brázdby jsou světle zbarvené, histogram získaný ze všech $w \times w$ bloků snímku otisku prstu by se měl ideálně skládat ze dvou vrcholů stejné výšky a jednoho sedla mezi nimi. Přejchod mezi vrcholy a sedlem by neměl být strmý a rozdíl výšek vrcholů by se měl mírně lišit podle šířky linií na snímku. Ukázka takového histogramu je na obrázku 7.3. Tento tvar je zvaný *bimodální*. [4]

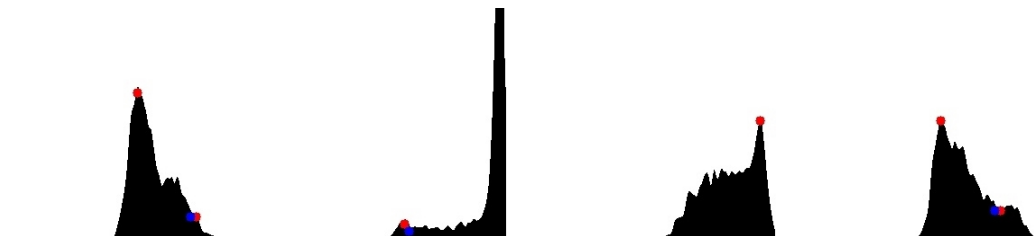


Obrázek 7.3: Téměř ideální bimodální histogram. [4]

Kvalita výsledného histogramu bloku je podmíněna kvalitním snímek. Čím menší kvalita snímku, tím pravděpodobněji se histogram nebude podobat ideálnímu histogramu, který byl popsán výše. Avšak z pokusů víme, že značná většina histogramů poškozených

bloků neodpovídá bimodálnímu histogramu. Tedy histogram, který není bimodální, znamená, že daná oblast je buď poškozená nebo nízké kvality. [4]

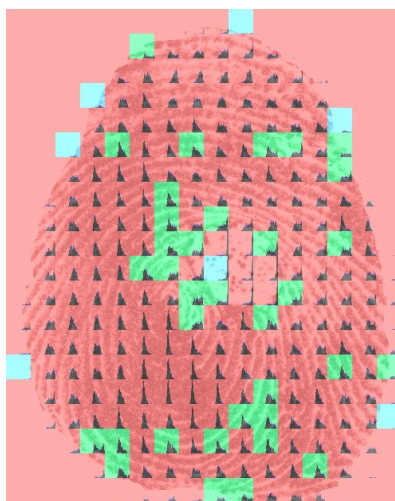
Na druhou stranu histogramy některých poškozených bloků spadají mezi validní. Poškozený blok tedy není vždy podmíněn nebimodálním histogramem. Za to může fakt, že histogram měří pouze intenzitu barev, ale nebere v potaz vzorek nebo okolí pixelů. Na obrázku 7.4 jsou zobrazeny neplatné histogramy. [4]



Obrázek 7.4: Ukázka neplatných histogramů.

Postup algoritmu je takový: [4]

1. Rozděľ obrázek otisku na $w \times w$ bloků, tzv. „oblasti zájmu“ (v angličtině *ROI* = regions of interest).
2. Vypočítej histogram pro každý blok.
3. Zkontroluj, zda-li je histogram platný.
 - (a) Najdi všechny vrcholy a brázdy histogramu.
 - (b) Pokud je počet vrcholů roven dvěma a počet sedel jedné, histogram je platný a lze pokračovat na krok 3c. Jinak proces končí, protože histogram není platný.
 - (c) Zkontroluj výšky a vzdálenost vrcholů a sedel. Pokud histogram projde testy platnosti, je platný, jinak je neplatný.



Obrázek 7.5: Výsledek analýzy histogramu
(■ neplatný, ■ platný, ■ pozadí).

Následující testy byly implementovány. ρ určuje počet pixelů v oblasti.

- **Test výšky vrcholu:** Tmavý vrchol musí být ve výšce mezi 0.003ρ a 0.025ρ a světlý vrchol musí být ve výšce mezi 0.004ρ a 0.042ρ .
- **Test výšky sedla:** Sedlo musí být níže než 0.0065ρ .
- **Test rozdílu výšek dvou vrcholů:** Musí být mezi 0.004ρ a 0.25ρ .
- **Test rozdílu výšek sedla a nižšího vrcholu:** Musí být větší než 0.0017ρ .
- **Test vzdálenosti sedla od nižšího vrcholu:** Musí být větší než 0.002ρ .

I přesto, že byly provedeny úpravy na této metodě, stále je experimentální a výsledky nemusí být vždy přesné. Největším nedostatkem této metody je neschopnost si poradit hlavně s obrázky nízké kvality. Tato metoda nemůže najít všechny poškozené oblasti, dokáže detekovat ty, které byly vynechány předchozí metodou. Množiny poškozených oblastí detekované oběma metodami nikdy nejsou stejné, proto je i tato metoda užitečná pro rozlišení nepoškozených oblastí od těch poškozených.

Semínkové vyplňování

Tento algoritmus se v grafice používá pro nalezení stejně zbarvených oblastí v obrázcích. Zde se používá pro nalezení různých skvrn nebo linek v otisku. [4]

Algoritmus semínkového vyplňování má tři parametry: cílovou barvu, náhradní barvu a počáteční pixel. Pokud je barva počátečního pixelu stejná jako cílová barva, je barva tohoto pixelu změněna na náhradní barvu a následně je to samé provedeno se sousedními pixely ve čtyřech (nebo osmi podle implementace) směrech. Výsledkem je jedna oblast vybarvená náhradní barvou. Tento algoritmus lze implementovat pomocí rekurze, popř. fronty nebo zásobníku. [4]

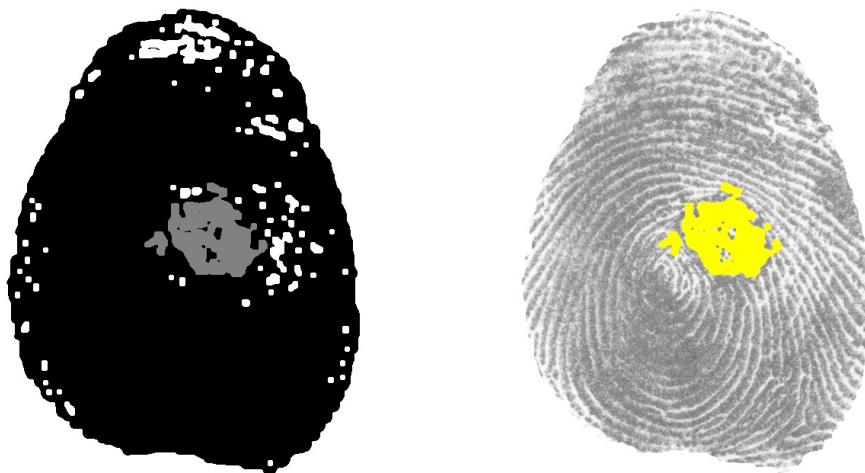
Rekurzivní verze algoritmu je popsána níže:

Funkce FloodFill(*pixel*, *cílová-barva*, *náhradní-barva*):

```
if cílová-barva == náhradní-barva then
    | return;
end
if barva pixelu != cílová-barva then
    | return;
end
barva pixelu = náhradní-barva;
FloodFill(krok dolů od pixelu, cílová-barva, náhradní-barva);
FloodFill(krok nahoru od pixelu, cílová-barva, náhradní-barva);
FloodFill(krok nalevo od pixelu, cílová-barva, náhradní-barva);
FloodFill(krok napravo od pixelu, cílová-barva, náhradní-barva);
return;
```

V aplikaci je použita verze algoritmu zvaná *Scanline Flood Fill*. Využívá zásobník a na rozdíl od klasické verze vybarvuje celé řádky najednou namísto po jednom pixelu. [4]

Detektor je naprogramován pro detekci čtyř typů vlastností: bílé skvrny, bílé linie, černé „gepardí“ skvrny a narušení papilárních linií.



Obrázek 7.6: Detekce bílých skvrn
(vlevo: extrakce algoritmem, vpravo: zvýraznění na původním snímku).

Jelikož ne každá nalezená oblast musí být nutně poškozená, museli být zvoleny parametry jak velké vyplněné oblasti mají být a jaký tvar mají mít. Tvar je určen podle poměru mezi delší a kratší stranou obdélníku ohraničující oblast. Pokud je poměr stran menší než 1.8, oblast je považována za oblou a pokud je větší než 2.3, tak je oblast považována za podlouhlou. Ostatní oblasti se ignorují. Parametry jsou v tabulce 7.3.

Tabulka 7.3: Parametry algoritmu semínkového vyplňování. [1]

Vlastnost	Cíl. barva	Min. velikost	Max. velikost	Tvar
Bílé skvrny	bílá	500	20 000	oblý
Bílé linie	bílá	500	12 000	podlouhlý
„Gepardí“ skvrny	černá	100	400	oblý
Narušení linií	černá	200	600	podlouhlý

StatusMapy

Všechny výše uvedené algoritmy detekují nějaký typ poškození ve snímku. Avšak spojením všech metod dohromady dostaneme celkem přesný popis rozsahu poškození na snímku otisku prstu.

Pro účely bezproblémového sloučení jsou všechny hodnoty z detektorů omezeny pouze na nezáporné. Informace o pozadí je získána z třídy `BackgroundExtractor`, která dodá čtvrtou matici hodnot, kde hodnota -1 značí pozadí a 1 zase oblast otisku.

Toto je postup slučování `StatusMap`:

1. Zvol rozlišení výsledné `StatusMapy`.
2. Z každé detekční metody získej výstupní matice + matici pozadí.

3. Pro každou matici vypočítej **StatusMapu**, která obsahuje průměrnou hodnotu pixelu z $w \times w$ bloků, m_{ha} , m_{of} , m_{ff} a m_{bg} .
4. Ke každé metodě zvol váhu w_{ha} , w_{of} a w_{ff} . Jednotlivé hodnoty lze určit v GUI aplikace. Výchozí hodnoty jsou: pole orientací 2, analýza histogramu 1 a semínkové vyplňování 3.
5. Pro každý blok výsledné **StatusMapy** vypočítej index poškození. Index poškození je vážený průměr m_{ha} , m_{of} a m_{ff} maskovaný m_{bg} .

$$m_{final}(i, j) = m_{bg}(i, j) * \frac{w_{ha} * m_{ha}(i, j) + w_{of} * m_{of} + w_{ff} * m_{ff}(i, j)}{w_{ha} + w_{of} + w_{ff}}$$

6. Index poškození reprezentuje úroveň poškození v daném bloku. Negativní hodnoty jsou pozadí, nulové hodnoty označují zdravou oblast a kladné hodnoty zase poškozenou oblast.

Výsledná **StatusMapa** dává velmi dobrý přehled poškození snímku. Následně je z této **StatusMapy** vypočítáno procento poškození, které se zobrazí uživateli v GUI.

7.3 Klasifikátor

Klasifikátor rozhodne a klasifikuje otisk podle počtu a velikostí extrahovaných vlastností získaných algoritmem semínkového vyplňování do jedné ze šesti kategorií: zdravý otisk, acrodermatitis, atopický ekzém, lupénka, bradavice, nebo neznámé poškození.

V tabulce 7.4 jsou mediány (**MED**) a směrodatné odchylky (**STDEV**) pro každou nemoc a vlastnost na otiscích poškozené těmito nemocemi [4].

Tabulka 7.4: Statistiky extrahovaných vlastností z každého poškození. [1]

	Acrodermatitis		Atopický ekzém		Lupénka		Bradavice	
	MED	STDEV	MED	STDEV	MED	STDEV	MED	STDEV
Bílé skvrny	5	3.97	5	4.31	8	5.35	1	3.02
Bílé linie	2	1.84	3	3.06	4	2.65	1	1.63
„Gepardí“ sk.	47	42.70	29	17.50	21	19.61	18	10.90
Narušení linií	7	8.37	17	19.80	8	9.22	15	39.76

Vzhledem k normálnímu rozložení pravděpodobnosti se předpokládá, že většina hodnot bude ve vzdálenosti jedné směrodatné odchylky od mediánu. Významné množství hodnot pak bude ve vzdálenosti dvou směrodatných odchylek od mediánu a dále už téměř žádné hodnoty nebudou. Tyto hodnoty slouží k vypočítání pravděpodobností, zda-li daná extrahovaná vlastnost patří k dané nemoci.

Klasifikační proces vypadá následovně:

1. Pro každý typ poškození proved:

- (a) Pro každý typ extrahované vlastnosti vypočítej pravděpodobnost, zda-li patří k tomu typu poškození. $dist$ je vzdálenost počtu určité vlastnosti od mediánu. Hodnota v třetím případě je vypočítána pomocí přímé úměrnosti.

$$\text{pravděpodobnost} = \begin{cases} 0.9 & \text{pokud } dist \leq \frac{2}{3}\sigma \\ 0.85 & \text{pokud } dist > \frac{2}{3}\sigma \text{ a } dist \leq \sigma \\ \langle 0.8; 0.1 \rangle & \text{pokud } dist > \sigma \text{ a } dist \leq 3\sigma \\ 0.05 & \text{pokud } dist > 3\sigma \\ & \text{nebo pokud } minCondition \text{ není splněna} \end{cases}$$

- (b) Vypočítej konečnou pravděpodobnost použitím váženého průměru všech předchozích pravděpodobností.

2. Klasifikuj otisk podle největší pravděpodobnosti.

Požadovaná minimální podmínky $minCondition$ pro každý typ poškození, tak jako podmínky pro zdravý otisk nebo neznámé poškození, jsou zde:

- **Acrodermatitida:** více než 40 „gepardích“ skvrn.
- **Atopický ekzém:** více než 4 linie, 2 „gepardí“ skvrny a 3 narušení.
- **Lupénka:** více než 3 bílé skvrny, 2 linie, 10 „gepardí“ skvrny a 2 narušení.
- **Bradavice:** více než 1 bílá skvrna.
- **Neznámé poškození:** pokud jsou pravděpodobnosti všech typů poškození méně než 40%.
- **Zdravý otisk:** pokud je procento poškození méně než 10% a otisk nebyl klasifikován jako *bradavice*.

Testovací vzorky

Vzorky pro testování jsou získány z poskytnuté databáze, která obsahuje snímky z daktyloskopických karet a různých senzorů. Zároveň byly pro potřeby práce vytvořeny další snímky použitím těchto senzorů:

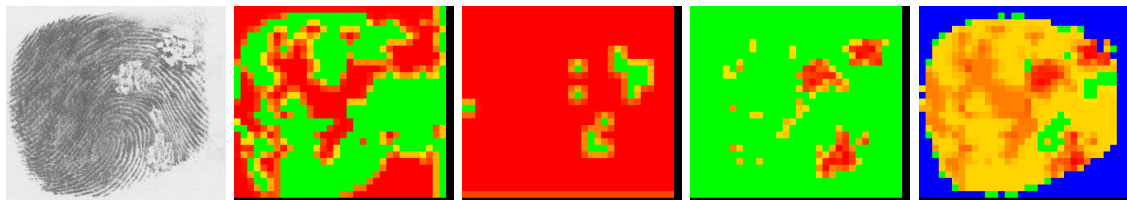
- **FPC:** průtahový s RF technologií
- **ZkTeco:** optický, dotykový
- **Live Touch quattro:** dotykový, optický, víceprstý
- **UPEK ET500:** dotykový, kapacitní
- **UPEK Eikon II:** průtahový, kapacitní

Kapitola 8

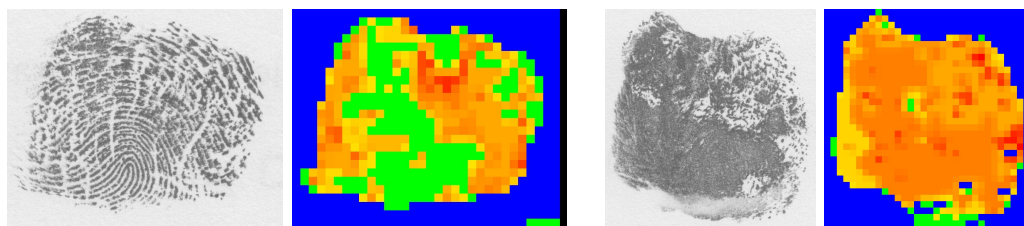
Testy a výsledky

8.1 Výsledky

Sami o sobě jsou jednotlivé metody schopny dodat zajímavé výsledky, ale teprve jejich spojením byly zjištěny relevantní výsledky.



Obrázek 8.1: Ukázka StatusMap (SM) pro snímek otisku prstu s *bradavicemi*. Zleva: původní snímek, SM pole orientací, SM analýzy histogramu, SM semínkového vyplňování a výsledná SM získaná spojením předchozích SM a přidáním pozadí. Barva SM: ■ poškozená, ■ zdravá, ■ pozadí.



Obrázek 8.2: Další výsledky detekce (vlevo: *atopický ekzém*, vpravo: *lupénka*).

8.2 Přesnost klasifikátoru

Z 50 testovaných snímků bylo správně určeno 39, což značí přesnost 78%. Nejvíce správně klasifikovaných snímků je poškozeno buď *bradavicemi* nebo *atopickým ekzémem*, kde přesnost byla 100%. Nejméně správně zase byly klasifikovány zdravé otisky s přesností 56%. Problém byl obzvláště se snímky naskenované pomocí *Live Touch quattro* a *UPEK ET500*. Avšak aby jsme získali relevantnější hodnoty bylo by potřeba aplikaci otestovat s větší množinou otisků.

8.3 Možné rozšíření a vylepšení

Proces detekce poškození na snímku otisku prstu je složitý úkol. Tudiž lze nepochybně upravit a vylepšit všechny aspekty této práce.

Aplikace by mohla být upravena v těchto aspektech:

- **Odstranění poškození:** Po odstranění poškození by zůstaly pouze zdravá část otisku, která se může použít dále v procesu rozpoznávání.
- **Oprava poškození:** V případě některých ne příliš destruktivních poškození by bylo možné opravit některé poškozené oblasti otisku.
- **Rychlost:** Jednotlivé algoritmy stále mohou být optimalizovány, aby detekční proces trval méně času. Momentálně celý proces detekce a klasifikace je spouštěn na samotném vlákně (pokud uživatel nezvolí jinak), ale celé by se to dalo urychlit, kdyby každý detektor se spustil na svém vlákně a následně předal své výsledky přímo klasifikátoru.
- **Úpravy detektorů:** Detekční algoritmy mohou být upraveny, aby vraceli mnohem přesnější hodnoty.
- **Více senzorů:** Aplikace byla testována se vzorky z daktyloskopických karet a senzorů s optickou nebo kapacitní technologií.

Kapitola 9

Závěr

Úkolem této práce bylo upravit a rozšířit starší práci [1] se stejným úkolem: Najít poškozenou část snímku otisku prstu pomocí existujících algoritmů a zjistit o jaké poškození se jedná. I přesto, že některé části byly upraveny, nedošlo k rozšíření kolekce detekčních algoritmů, ani detekovatelných poškození.

Celá aplikace byla přepsána z jazyka C++ za použití Qt frameworku a knihovny OpenCV do jazyka C# za použití .NET frameworku, WPF a knihovny Emgu CV. Byly implementovány tyto algoritmy: pole orientací, analýza histogramu a semínkové vyplňování. Výsledky všech těchto metod jsou reprezentovány ve speciální datové struktuře `StatusMap`. Výsledná aplikace je schopna detekovat čtyry typy poškození: nemoci *acrodermatitis*, *atopický ekzém*, *lupénku* a *bradavice*.

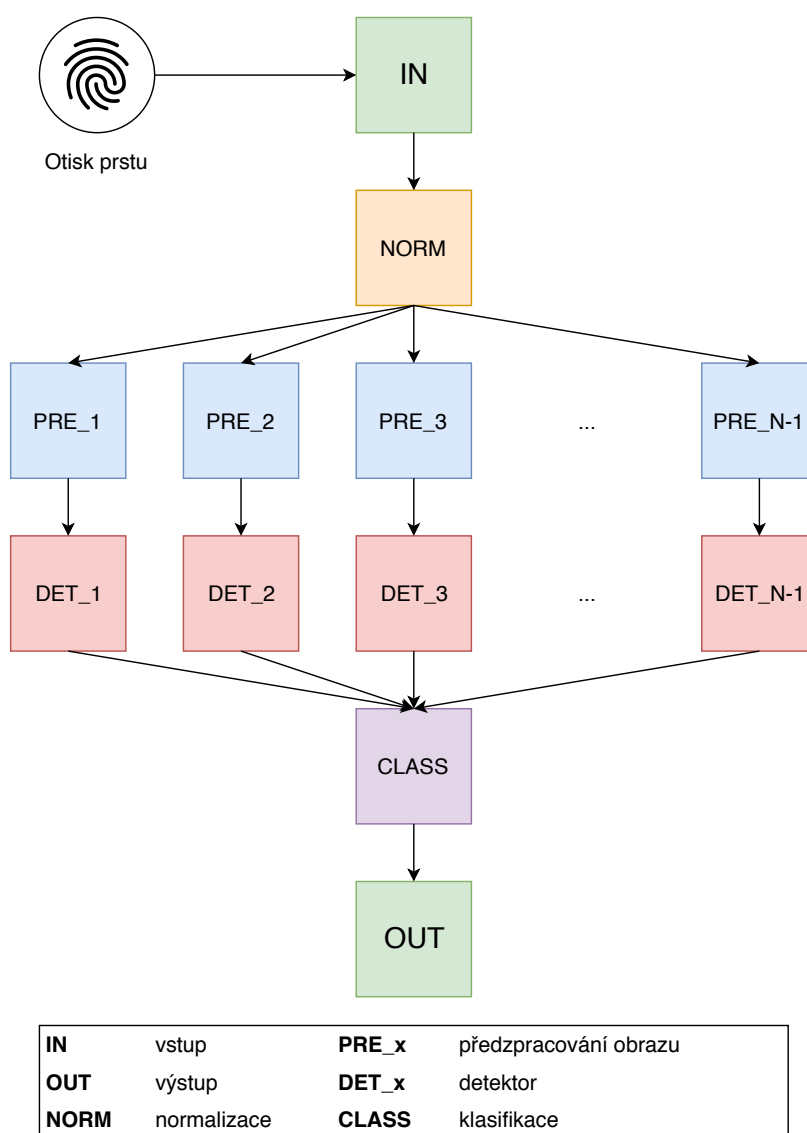
Literatura

- [1] BAROTOVÁ, Š. *Detector of Skin Diseases by Fingerprint Technology*. FIT BUT in Brno, 2017. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Prof. Ing., Dipl.-Ing. Martin Drahanský, Ph.D. Dostupné na: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/106446>.
- [2] DAJBÝCH, V. *MVVM: Model-View-ViewModel* [online]. duben 2009. Navštíveno 25.04.2019. Dostupné na: <https://www.dotnetportal.cz/clanek/4994/MVVM-Model-View-ViewModel>.
- [3] DRAHANSKÝ, M. *Fingerprint Recognition Technology - Related Topics: Skin Diseases, Image Quality and Liveness Detection*. [b.m.]: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. ISBN 978-3-8443-3007-6.
- [4] DRAHANSKÝ, M. (ed.). *Hand-Based Biometrics: Methods and Technology*. [b.m.]: The Institution of Engineering and Technology, 2018. ISBN 978-1-78561-224-4.
- [5] DRAHANSKÝ, M., DOLEŽEL, M., URBÁNEK, J. et al. *Influence of Skin Diseases on Fingerprint Recognition* [online]. 2012. Navštíveno 07.01.2019. Dostupné na: <https://www.hindawi.com/journals/bmri/2012/626148/>.
- [6] DRAHANSKÝ, M., ORSÁG, F. et al. *Biometrie*. [b.m.]: Computer Press, 2011. 5, s. 95–124. ISBN 978-80-254-8979-6.
- [7] EMGU CORPORATION. *Emgu CV: API Documentation* [online]. Navštíveno 12.05.2019. Dostupné na: <http://www.emgu.com/wiki/files/4.0.1/document/index.html>.
- [8] EMGU CORPORATION. *Emgu CV: OpenCV in .NET* [online]. Navštíveno 19.04.2019. Dostupné na: http://www.emgu.com/wiki/index.php/Main_Page.
- [9] ČESKÁ AKADEMIE DERMATOVENEROLOGIE. *Časopis České akademie dermatovenerologie: Psoriáza* [online]. říjen 2011. Navštíveno 09.05.2019. Dostupné na: <http://www.dermanet.eu/files/periodika/ceska-dermatovenerologie/cdv-2011-01.pdf>.
- [10] FRÝZ, J. *Detection and classification of damage in fingerprint images: App Documentation* [online]. květen 2019. Navštíveno 06.05.2019. Dostupné na: <https://jamesfreezecz.github.io/BP-Fingertips-Documentation/>.
- [11] GOSSMAN, J. *Introduction to Model/View/ViewModel pattern for building WPF apps* [online]. říjen 2005. Navštíveno 25.04.2019. Dostupné na: <https://blogs.msdn.microsoft.com/johngossman/2005/10/08/introduction-to-modelviewviewmodel-pattern-for-building-wpf-apps/>.

- [12] HAWTHORNE, M. R. *Fingerprints: analysis and understanding*. [b.m.]: CRC Press, 2009. ISBN 978-1-4200-6864-1.
- [13] HONG, L., WAN, Y. a JAIN, A. *Fingerprint Image Enhancement: Algorithm and Performance Evaluation* [online]. Navštíveno 11.05.2019. Dostupné na: <<http://www.math.tau.ac.il/~turkel/imagepapers/fingerprint.pdf>>.
- [14] JAIN, A. K., ROSS, A. A. a NANDAKUMAR, K. *Introduction to Biometrics*. [b.m.]: Springer, 2011. ISBN 978-0-387-77325-4.
- [15] KANICH, O. *Fingerprint Damage Simulation: A simulation of fingerprint distortion, damaged sensor, pressure and moisture*. [b.m.]: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2014. ISBN 978-3-659-63942-5.
- [16] MALTONI, D., MAIO, D., JAIN, A. K. et al. *Handbook of Fingerprint Recognition*. 2. vyd. [b.m.]: Springer, 2009. ISBN 978-1-84882-253-5.
- [17] MANI, A. a NADESKI, M. *The Texas Instruments: Processing solutions for biometric systems* [online]. 2015. Navštíveno 28.01.2019. Dostupné na: <<http://www.ti.com/lit/wp/spry289/spry289.pdf>>.
- [18] RAK, R., MATYÁŠ, V., ŘÍHA, Z. et al. *Biometrie a identita člověka ve forenzních a komerčních aplikacích*. [b.m.]: Grada Publishing, 2008. 8, s. 207–264. ISBN 978-80-247-2365-5.
- [19] SALTS, CLAYS, MINERALS. *Skin structure* [online]. 2019. Navštíveno 08.04.2019. Dostupné na: <<https://www.saltsclaysminerals.com/natural/skin/structure.html>>.
- [20] SMITH, J. *Patterns – WPF Apps With The Model-View-ViewModel Design Pattern* [online]. únor 2009. Navštíveno 25.04.2019. Dostupné na: <<https://msdn.microsoft.com/en-us/magazine/dd419663.aspx>>.
- [21] THE DOE NETWORK: INTERNATIONAL CENTER FOR UNIDENTIFIED & MISSING PERSONS. *Case File: 439UFCA* [online]. březen 2019. Navštíveno 08.04.2019. Dostupné na: <<http://www.doenetwork.org/cases/439ufca.html>>.
- [22] VIELHAUER, C. *Biometric User Authentication for IT Security: From Fundamentals to Handwriting*. [b.m.]: Springer, 2005. ISBN 0-387-26194-X.
- [23] VITALIA.CZ. *Není ekzém jako ekzém* [online]. září 2010. Navštíveno 29.01.2019. Dostupné na: <<https://www.vitalia.cz/tiskove-zpravy/neni-ekzem-jako-ekzem/>>.
- [24] YOLE DÉVELOPPEMENT. *Fingerprint market: from almost zero to a multibillion dollar value in three years* [online]. leden 2017. Navštíveno 08.04.2019. Dostupné na: <<http://www.yole.fr/Fingerprint\textunderscoreMarketOverview.aspx>>.

Příloha A

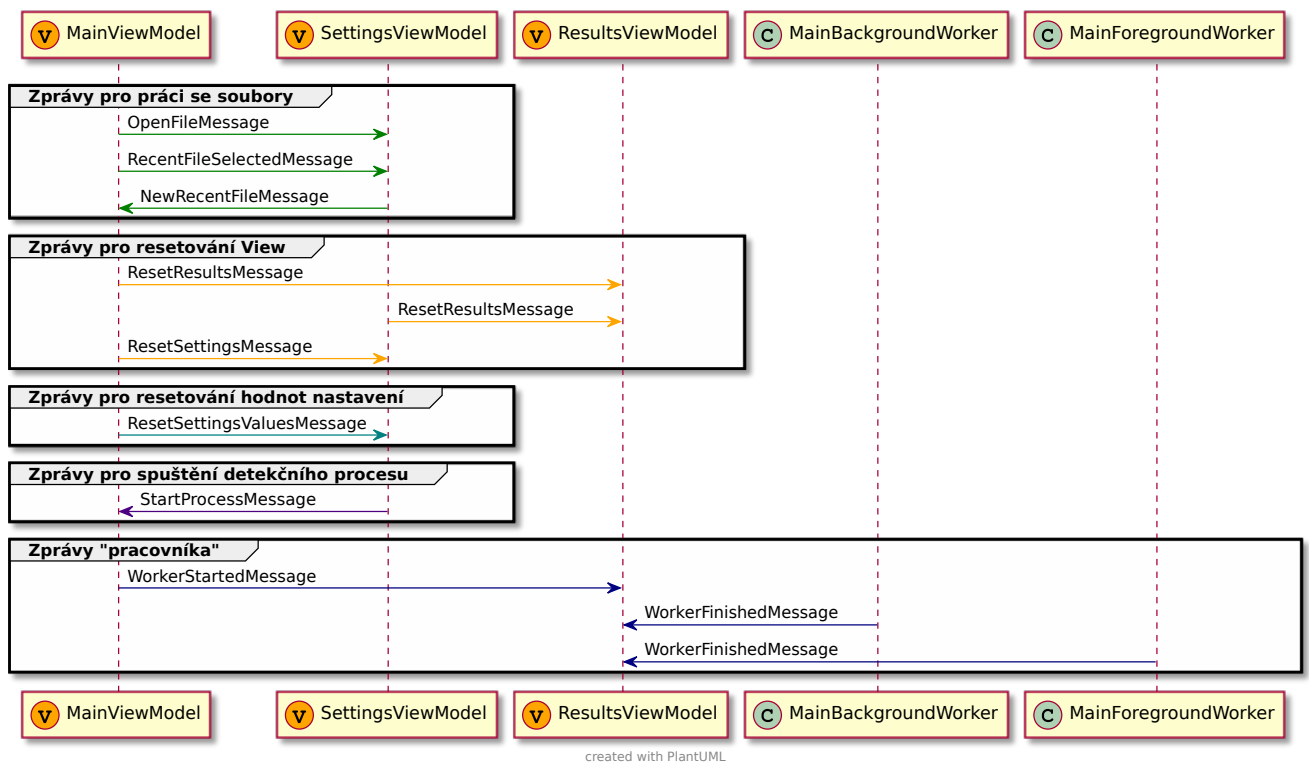
Diagram toku dat



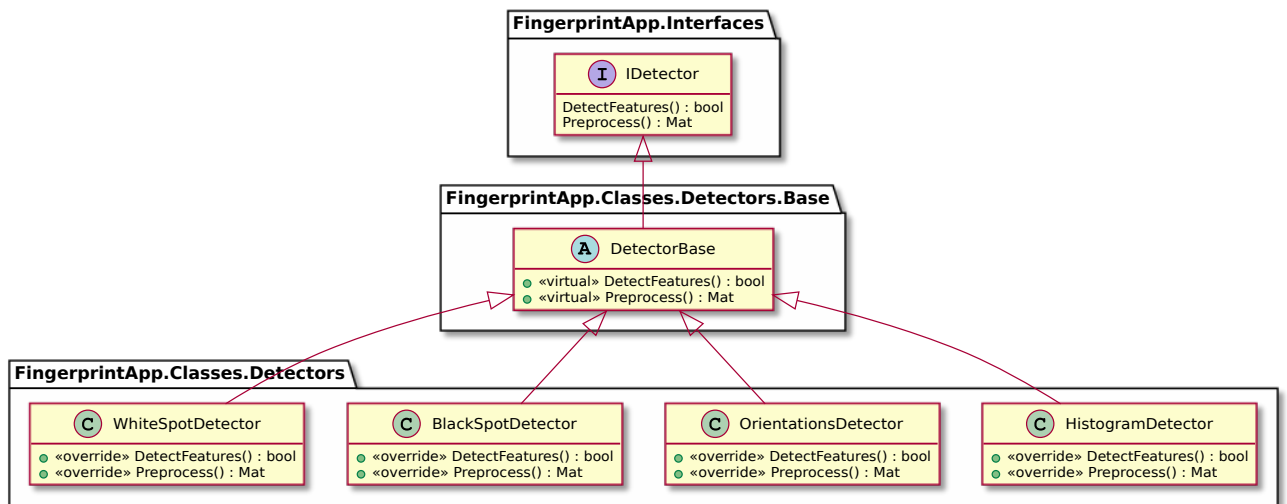
Obrázek A.1: Zjednodušený model toku dat.

Příloha B

UML diagramy



Obrázek B.1: MVVM Zprávy (V – View, C – Třída)

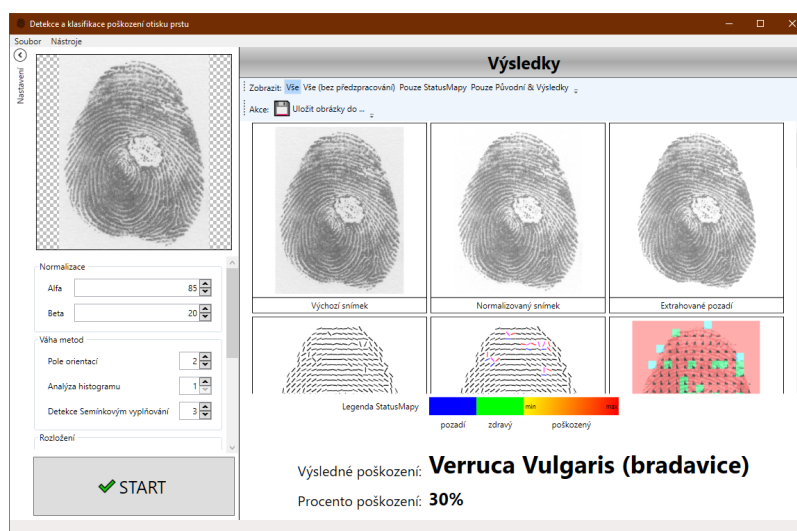


created with PlantUML

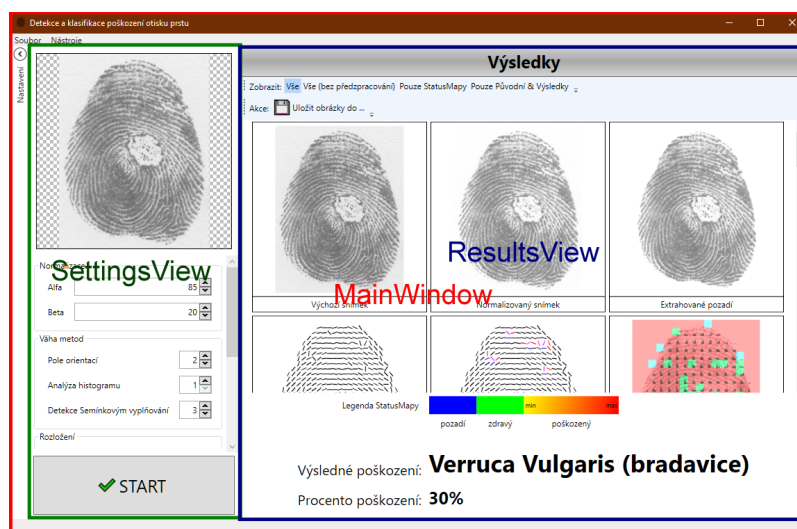
Obrázek B.2: Návrh tříd detektorů

Příloha C

Grafické rozhraní



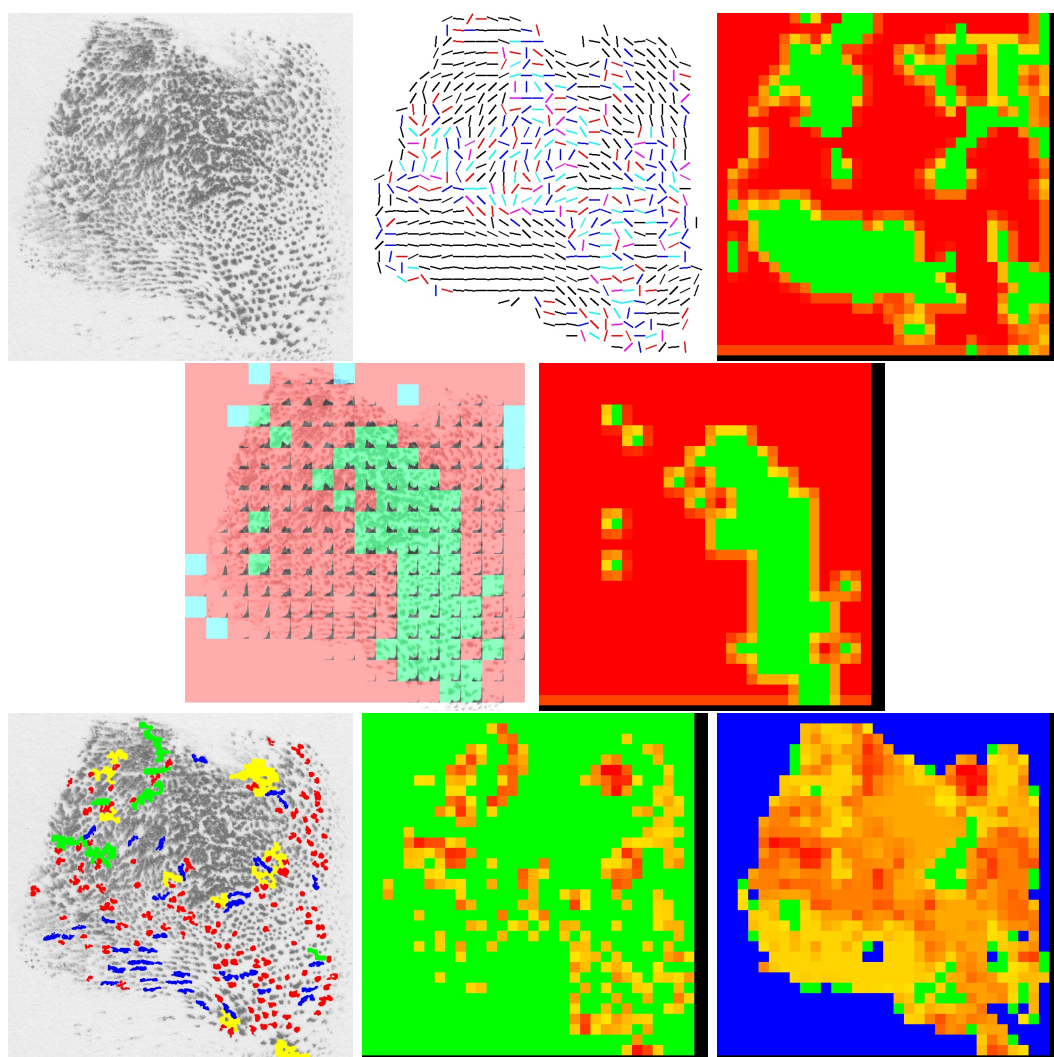
Obrázek C.1: Grafické rozhraní



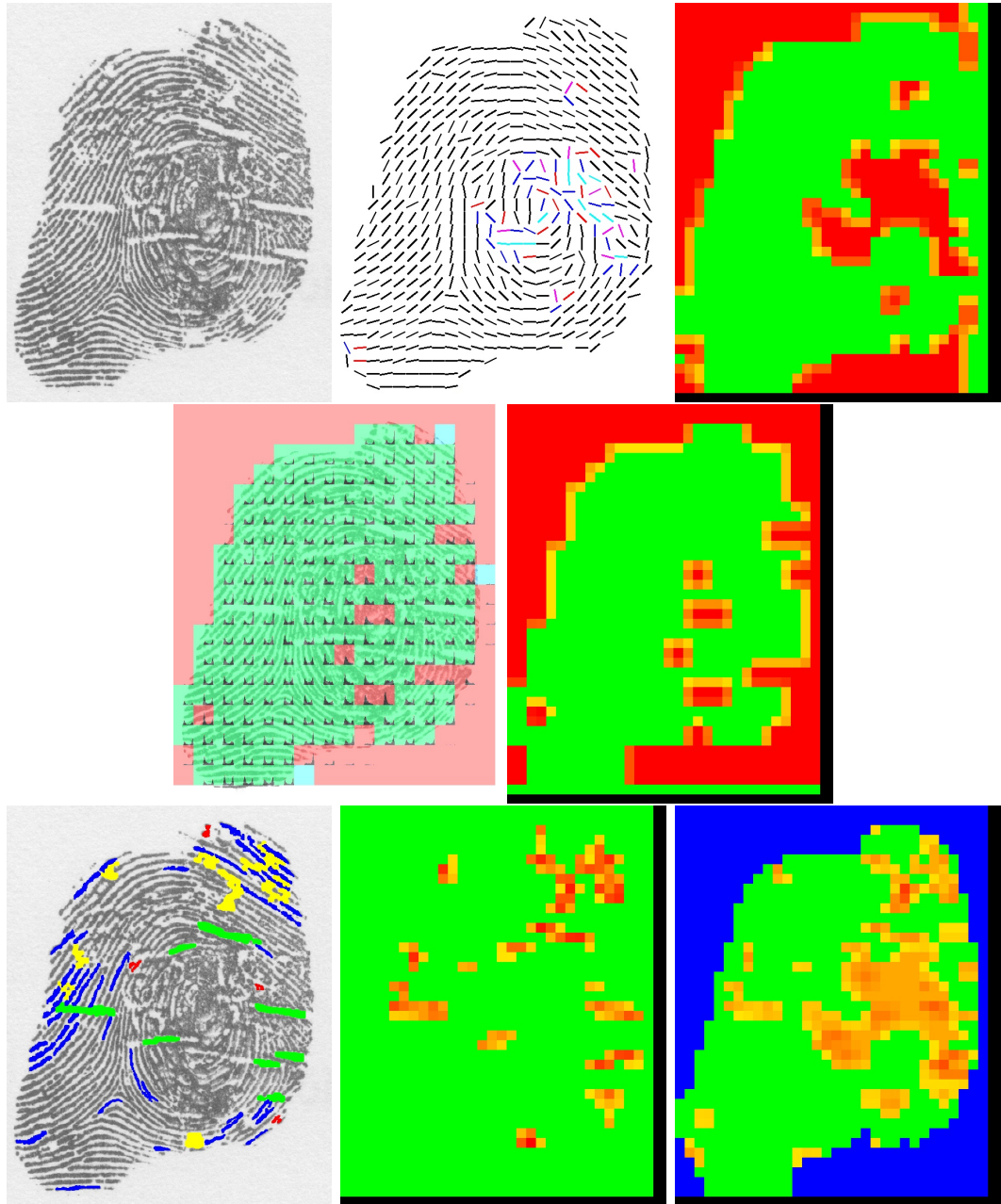
Obrázek C.2: Grafické rozhraní (zvýrazněné ViewModely)

Příloha D

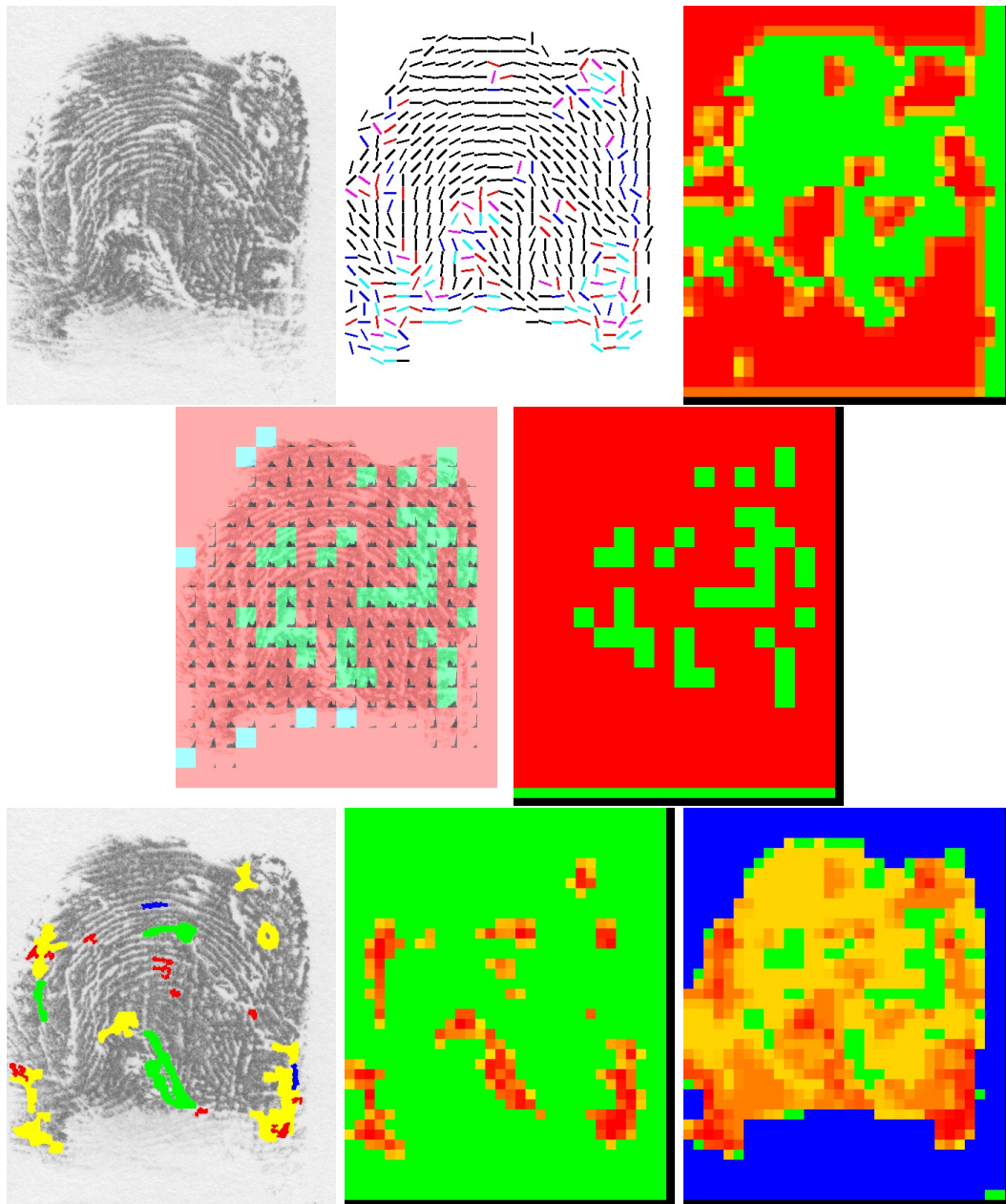
Výsledky experimentů



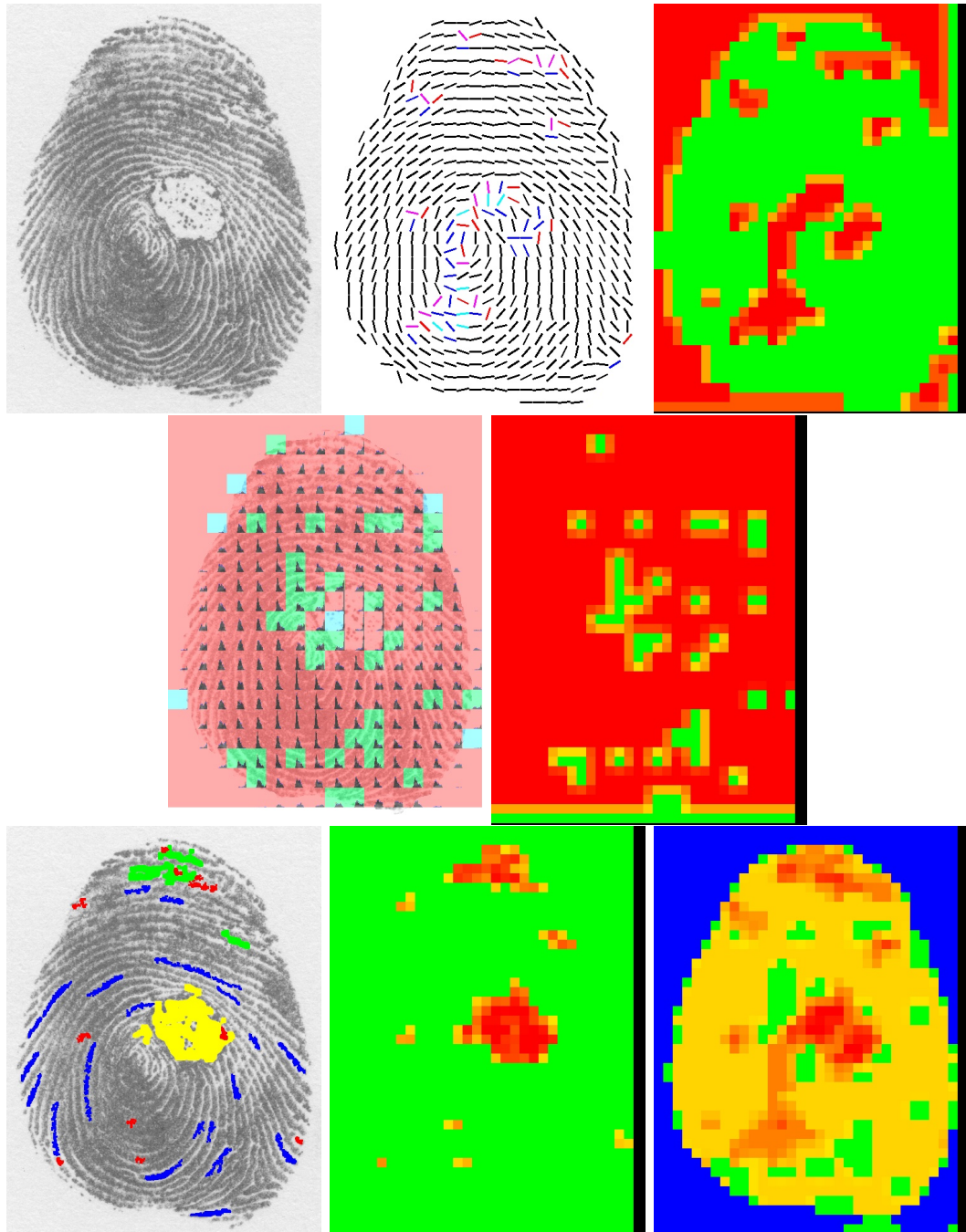
Obrázek D.1: Výsledky: *Acrodermatitis*



Obrázek D.2: Výsledky: *Atopický ekzém*



Obrázek D.3: Výsledky: *Lupénka*



Obrázek D.4: Výsledky: *Bradavice*