



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

**ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ**

DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

**POKROČILÉ GENEROVÁNÍ PROJEVŮ POŠKOZENÍ DO  
SYNTETICKÝCH OTISKŮ PRSTŮ**

ADVANCED GENERATION OF DAMAGE EFFECTS INTO SYNTHETIC FINGERPRINTS

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. VERONIKA SVORADOVÁ**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. ONDŘEJ KANICH, Ph.D.**

BRNO 2021

## Zadání diplomové práce



Studentka: **Svoradová Veronika, Bc.**  
Program: Informační technologie  
Obor: Bioinformatika a biocomputing  
Název: **Pokročilé generování projevů poškození do syntetických otisků prstů**  
**Advanced Generation of Damage Effects into Synthetic Fingerprints**  
Kategorie: Zpracování obrazu  
Zadání:

1. Prostudujte literaturu týkající se rozpoznávání podle otisků prstů a syntetického generování otisků prstů. Seznamte se z možnými poškozeními, které mohou ovlivňovat kvalitu nasnímaného otisku prstu a jejich simulacemi do syntetických otisků prstů.
2. Navrhněte vylepšení stávajícího modelu či úplně nový přístup a posléze algoritmus pro generování minimálně dvou poškození (např. onemocnění dishydróza, vliv přítlaku, vliv vlhkosti, apod.) do syntetických otisků prstů. Řešení bude umožňovat anotaci provedeného poškození a její export.
3. Navržený algoritmus z předchozího bodu implementujte.
4. Proveďte otestování Vašeho řešení pomocí vhodných algoritmů (např. IDkit, VeriFinger, FiQivi, apod.). Prozkoumejte vliv poškození na porovnávání otisků prstů, na určení jejich kvality a posuďte rozdíl mezi původním a vylepšeným řešením.
5. Dosažené výsledky shrňte a diskutujte. Uveďte možná rozšíření Vašeho řešení.

### Literatura:

- Maltoni, D., Maio, D., Jain, A.K. and Prabhakar, S.: *Handbook of Fingerprint Recognition*. Springer, 2009, p. 512. ISBN 978-1-8488-2254-2.
- Kanich, O.: *Research in Fingerprint Damage Simulations*, Doctoral thesis, FIT BUT in Brno, Brno, 2018, p. 148.
- Svoradová, V.: *Generování onemocnění kůže do syntetických otisků prstů z generátoru SFinGe*, Bakalářská práce, FIT VUT v Brně, Brno, 2019.

Při obhajobě semestrální části projektu je požadováno:

- Body 1 a 2.

Podrobné závazné pokyny pro vypracování práce viz <https://www.fit.vut.cz/study/theses/>

Vedoucí práce: **Kanich Ondřej, Ing., Ph.D.**  
Vedoucí ústavu: Hanáček Petr, doc. Dr. Ing.  
Datum zadání: 1. listopadu 2020  
Datum odevzdání: 19. května 2021  
Datum schválení: 11. listopadu 2020

## Abstrakt

Hlavným cieľom tejto práce bolo navrhnuť a implementovať aplikáciu, ktorá by bola schopná generovať poškodenia odtlačkov prstov do syntetického odtlačku prsta. Aplikácia dokáže vytvárať obrázky odtlačkov prstov poškodené prítlakom, vlhkosťou a kožným ochorením dyshidrózou s rôznou intenzitou poškodenia. Aplikácia taktiež umožňuje anotáciu generovaného poškodenia a jej export. Vybrané poškodenia pred samotným vytvorením návrhu boli analyzované. Pre analýzu poškodení spôsobené tlakom a vlhkosťou bola vytvorená vlastná databáza s odtlačkami prstov od piatich užívateľov. Vytvorené snímky a dosiahnuté výsledky boli testované nástrojmi VeriFinger a FiQiVi. Pre testovanie bolo vytvorených 19 sád s odtlačkami prstov s rôznou intenzitou a rôznym typom poškodenia. Experimenty ukázali, že kvalita odtlačku prsta sa najviac znížila pri generovaní vlhkosti s najvyššou intenzitou poškodenia, kde kvalita klesla o 61,8 %. Táto práca môže byť použitá k ďalšej výskumnej činnosti v oblasti biometrického spracovania odtlačkov prstov.

## Abstract

The main goal of this thesis was to design and implement an application that would be able to generate fingerprint damage into a synthetic fingerprint. The application can create fingerprint images damaged by pressure, moisture and skin disease dyshidrosis with different intensity of damage. The application also allows annotation of the generated damage and its export. Selected damages were analyzed before the design was created. A database of fingerprints from five users was created to analyze the damage caused by pressure and moisture. The generated images and the achieved results are tested with VeriFinger and FiQiVi. For testing, 19 sets with fingerprints of different intensity and different type of damage were created. Experiments showed that the quality of the fingerprint decreased the most during the generation of moisture with the highest intensity of damage, where the quality decreased by 61.8 %. This thesis can be used for further research in the field of biometric fingerprint processing.

## Kľúčové slová

odtlačky prstov, poškodenia odtlačkov prstov, syntetické odtlačky prstov, kvalita odtlačkov prstov, dyshidróza, vlhkosť, tlak

## Keywords

fingerprints, fingerprints damages, synthetic fingerprints, quality of fingerprints, dyshidrosis, moisture, pressure

## Citácia

SVORADOVÁ, Veronika. *Pokročilé generování projevů poškození do syntetických otisků prstů*. Brno, 2021. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Ing. Ondřej Kanich, Ph.D.

# Pokročilé generování projevů poškození do syntetických otisků prstů

## Prehlásenie

Prehlasujem, že som túto diplomovú prácu vypracovala samostatne pod vedením pána Ing. Ondřeje Kanicha, Ph.D. Uviedla som všetky literárne pramene, publikácie a ďalšie zdroje, z ktorých som čerpala.

.....  
Veronika Svoradová  
17. mája 2021

## Podakovanie

Chcela by som sa poďakovať Ing. Ondřeji Kanichovi, Ph.D. za to, že viedol túto prácu a svojej rodine, priateľovi a kamarátom za podporu.

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Základy odtlačkov prstov</b>	<b>4</b>
2.1	Základy biometrie . . . . .	4
2.2	Štruktúra kože . . . . .	5
2.3	Papilárne línie . . . . .	6
2.4	Charakteristické znaky odtlačku prsta . . . . .	7
2.5	Získavanie odtlačkov prstov . . . . .	9
2.6	Klasifikácia odtlačkov prstov . . . . .	9
2.7	Rozpoznávanie odtlačkov prstov . . . . .	11
2.8	Porovnávanie odtlačkov prstov . . . . .	12
<b>3</b>	<b>Kvalita a verifikácia</b>	<b>14</b>
3.1	Vplyv senzora . . . . .	15
3.2	Vplyv prostredia . . . . .	16
3.3	Vplyv užívateľa . . . . .	17
3.4	Odhad kvality odtlačkov . . . . .	20
3.5	VeriFinger . . . . .	21
<b>4</b>	<b>Syntetické odtlačky prstov</b>	<b>22</b>
4.1	Generovanie syntetických odtlačkov prstov . . . . .	22
4.2	Simulácia poškodenia do syntetických odtlačkov prstov . . . . .	28
<b>5</b>	<b>Návrh rozšíreného generovania</b>	<b>34</b>
5.1	Získavanie odtlačkov prstov . . . . .	34
5.2	Vlhkosť . . . . .	36
5.3	Tlak . . . . .	37
5.4	Dishydróza . . . . .	39
5.5	Export generovaného poškodenia . . . . .	41
<b>6</b>	<b>Implementácia</b>	<b>42</b>
6.1	Grafické užívateľské rozhranie . . . . .	42
6.2	BaseGenerator . . . . .	43
6.3	Generovanie tlaku . . . . .	45
6.4	Generovanie vlhkosti . . . . .	47
6.5	Vylepšenie generovania dishydrózy . . . . .	48
6.6	Kombinácia tlaku a vlhkosti . . . . .	50

<b>7 Testovanie</b>	<b>52</b>
7.1 Dátové sady . . . . .	52
7.2 Vyhodnotenie testovania . . . . .	53
7.3 Zhrnutie výsledkov . . . . .	59
<b>8 Záver</b>	<b>61</b>
<b>Literatúra</b>	<b>62</b>
<b>A Obsah priloženého pamäťového média</b>	<b>66</b>

# Kapitola 1

## Úvod

Biometrické rozpoznávanie a jeho použitie sa v dnešnej dobe neustále rozvíja a rozširuje. Je založené na rozpoznávaní jedinečných vlastností človeka či jeho chovania. Medzi základné biometrické vlastnosti patrí odtlačok prsta, dúhovka oka, tvár či geometria ruky. Dnes už takmer každé mobilné zariadenie obsahuje čítačku odtlačku prsta, ktorá je používaná k odomknutiu telefónu či prístupu k aplikáciám a k overeniu mobilných platieb. S biometrickým rozpoznávaním je možné sa okrem telefónov stretnúť u notebookoch, hodinkách, bankomatoch, aplikáciách, dochádzkových systémoch či vstupoch do zabezpečených priestorov.

Každá biometrická charakteristika má svoje silné a slabé stránky. Najznámejšou a najpoužívanejšou biometrickou vlastnosťou je odtlačok prsta. Je takmer isté, že na svete neexistujú žiadni dvaja ľudia, ktorí by mali rovnaký vzor odtlačku prsta. Práve preto je proces rozpoznávania odtlačkov prstov považovaný za veľmi spoľahlivý a bezpečný. Vďaka tomu sa rozpoznávanie odtlačkov prstov používaná i v prípade usvedčovania páchatela v kriminalistike. Pri používaní odtlačkov prstov je nutné zamerať sa na problémy, ktoré sa pri získaných odtlačkoch môžu vyskytovať a majú výrazný vplyv na kvalitu odtlačku prsta. Kvalitu získaného odtlačku prsta môže ovplyvniť prostredie, senzor a samotný užívateľ.

Táto práca sa zameriava na generovanie poškodení do syntetických odtlačkov prstov, ktoré výrazným spôsobom ovplyvňujú kvalitu získaných odtlačkov prstov. Poškodené odtlačky prstov nie je možné ďalej spracovať a porovnávať. Vytvorené obrázky poškodených odtlačkov prstov môžu byť použité pri vyvíjaní a testovaní metód a algoritmov pre detekciu či spracovanie poškodenia na odtlačku prsta.

V kapitole 2 sú rozpísané základné teoretické informácie týkajúce sa odtlačkov prstov, ktoré čitateľa bližšie uvedú do problematiky. Taktiež uvádza samotné spracovanie odtlačkov prstov, získavanie, klasifikáciu, rozpoznávanie a porovnávanie odtlačkov prstov. V kapitole 3 sú popísané jednotlivé faktory, ktoré ovplyvňujú kvalitu odtlačkov prstov. Okrem toho sú v kapitole rozpísané metódy na odhad kvality a nástroj VeriFinger slúžiaci na verifikáciu odtlačkov prstov. Kapitola 4 popisuje spôsob generovania syntetických odtlačkov prstov štyrmi zvolenými generátormi. Zameraná je hlavne na popis algoritmu SFinGe, z ktorého vychádza väčšina z vybraných generátorov. Taktiež je v tejto kapitole uvedená doterajšia vytvorená simulácia poškodení do syntetických odtlačkov prstov. V kapitole 5 je rozpísaný návrh generovania vybraných poškodení a ich podrobnejšia analýza, na základe ktorej bol vytvorený algoritmus pre generovanie. Implementácia a dosiahnuté výsledky sú popísané v kapitole 6. V kapitole 7 sú uvedené vytvorené dátové sady pre testovanie, ktoré obsahujú snímky odtlačkov prstov generované vytvorenou aplikáciou. Okrem toho je v kapitole popísaný priebeh testovania a získané výsledky z testovania.

## Kapitola 2

# Základy odtlačkov prstov

Odtlačok prsta je typickým zástupcom fyzických charakteristík človeka [12]. Splňa viaceré vlastnosti, ktoré sú pri používaní biometrie dôležité. Je obrazom vzoru papilárnych línií [17].

V minulosti sa metóda identifikácie pomocou odtlačkov prstov používala vo väčšine prípadov len v kriminalistickej praxi na identifikáciu páchatela [38]. V súčasnosti je to iné. Pokrok v informačných technológiach umožňuje používať množstvo biometrických charakteristík aj mimo kriminalistiku v bežných aplikáciách [32]. Pre každú aplikáciu sú vhodné odlišné vlastnosti biometrických charakteristík, podľa ktorých je možné vybrať ideálnu charakteristiku.

### 2.1 Základy biometrie

Biometriou sa označuje súbor metód, ktoré sú určené na identifikáciu alebo verifikáciu osôb pomocou jedinečných fyzických alebo behaviorálnych charakteristík človeka [25]. Odtlačok prsta patrí medzi fyzické znaky. Okrem odtlačku prsta tam zaraďujeme aj tvar a vlastnosti dúhovky, veľkosť ruky, DNA či obraz tváre. Ku behaviorálnym znakom patrí napríklad hlas či chôdza jedinca [1].

Identitu osoby dokazujeme prostredníctvom toho, čo máme a vlastníme (kľúč, čipová karta, token, identifikačné doklady), čo poznáme a vieme (heslo, PIN) a čím v skutočnosti fyzicky a duševne sme, kam patria okrem fyzického vzhľadu, očí, hlasu, štruktúry DNA aj odtlačky prstov [39]. Inak povedané, svoju identitu dokazujeme na základe vlastníctva, znalostí a biometrických charakteristík. Vlastníctvo a znalosť môžu byť ale zneužitie inou osobou, keďže vlastníctvo nám môže byť odcudzené a znalosť môže byť uhádnutá alebo získaná ďalšou osobou [11].

Biometria sa začala objavovať už od 19. storočia [17]. Prvýkrát biometrickú identifikáciu začala používať polícia na hľadanie a usvedčovanie kriminálnikov [21]. V súčasnosti sa biometria nachádza všade okolo nás a využíva sa nielen v malých aplikáciách, ale aj v rozsiahlych systémoch, ako napríklad zabezpečenie mobilných telefónov, monitorovanie prístupu v bankách či vládnych inštitúciách [17].

Existuje niekoľko vlastností, ktoré majú vplyv na výber použitia ideálnej biometrickej charakteristiky [25]:

- Univerzálnosť - existencia u všetkých ľudí,
- jedinečnosť - bezpečné a istotné odlišenie človeka od ostatných,
- permanentnosť - zachovalosť po celý život,



- merateľnosť - biometrickú vlastnosť je možné kvantitatívne merať,
- neprenositelnosť - identifikačné znaky nie je možné preniesť na inú osobu,
- prijateľnosť - ochota ľudí poskytnúť charakteristiku,
- cena - koľko stojí zavedenie biometrického systému založeného na biometrickej vlastnosti,
- výkonnosť - biometrická vlastnosť by sa nemala zmeniť,
- údržba - cena údržby biometrického systému s touto vlastnosťou.

### 2.1.1 Biometrický systém

Biometrické systémy sa používajú pre automatizované spracovanie a porovnanie biometrických charakteristík [17]. Jeho úlohou je rozpoznať osobu na základe konkrétnej fyzickej alebo behaviorálnej vlastnosti. Na základe typu aplikácie rozoznávame biometrický systém verifikačný alebo identifikačný [40].

V prípade, že sa overuje existencia užívateľa v databáze, alebo sa zisťuje, kto je užívateľ, ide o identifikáciu. Vykonáva sa párovanie 1:N, kde N predstavuje počet užívateľov uložených v databáze [40]. Je to výpočtovo náročný proces a spracovanie trvá pomerne dlhú dobu [24]. Tento postup sa používa hlavne v kriminalistike pri vyhľadávaní páchateľov [38]. Verifikácia oproti identifikácii predstavuje overenie dvoch biometrických vzorkov a ide o relatívne ľahší problém oproti identifikácii [40]. Určuje, či vzorky pochádzajú od rovnakého užívateľa. Vykonáva kontrolu 1:1, čo má za dôsledok rýchlejší priebeh [24].

Biometrický systém sa skladá z dvoch hlavných modulov [17]:

1. Registračný modul,
2. verifikačný/identifikačný modul.

Na začiatku sa vloží identita používateľa do registračného modulu. Následne je možné použiť verifikačný/identifikačný modul. Oba moduly sa skladajú z biometrického čítača, extraktora markantov a databázy, v ktorej sú uložené všetky záznamy s biometrickými datami. Verifikačný/identifikačný modul navyše obsahuje porovnávaciu časť. [17]

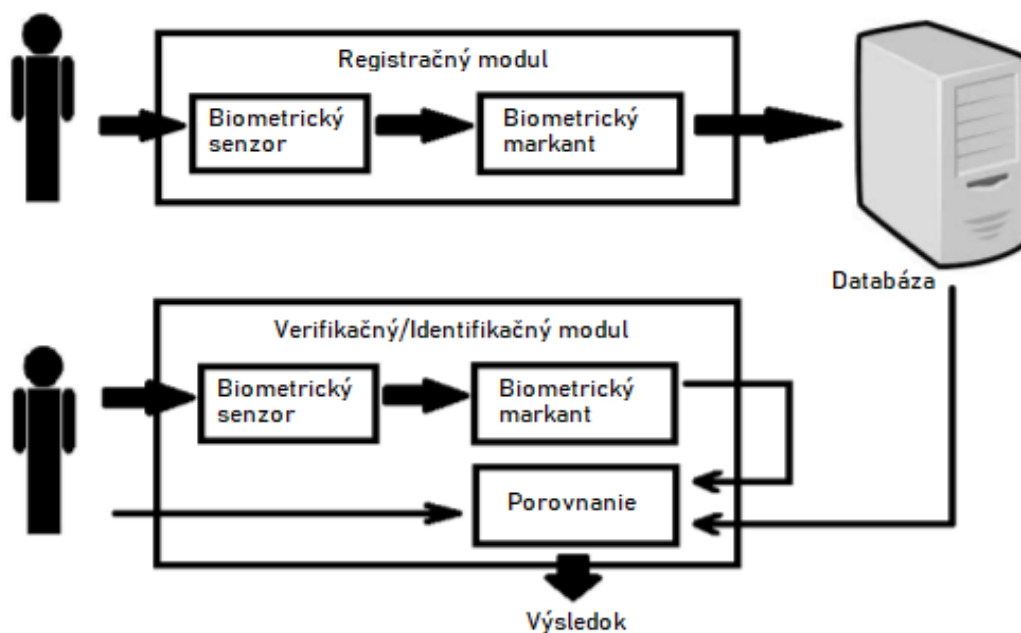
Pri verifikačnom systéme sa porovnáva a overuje identita jedinca pomocou získaných biometrických dát so záznamami v databáze. Užívateľ musí potvrdiť svoju identitu napríklad svojím menom. Následne sa poskytnuté dáta porovnávajú s vybraným záznamom z databázy a zistí sa úspešnosť. Príkladom systému, ktorý využíva verifikáciu sú napríklad prístupové systémy a e-mailové služby. [17]

Identifikačný systém porovná získané dáta so všetkými záznamami v databáze. Nie je potrebná identifikácia od užívateľa. Ak bola nájdená zhoda medzi datami, tak identifikácia bola úspešná. [17]

Biometrický systém je zobrazený na obrázku 2.1.

## 2.2 Štruktúra kože

Koža sa celkovo skladá z troch vrstiev. Na najvyššej úrovni je pokožka, ktorú je možné bežne vidieť. Prostrednou vrstvou je zamša a na najnižšej úrovni je podkožný tuk [23]. Koža zaisťuje rôzne životne dôležité funkcie a behom života sa stále regeneruje [12].



Obr. 2.1: Príklad všeobecného biometrického systému. Prevzaté a upravené z [17].

Hlavnou úlohou pokožky je vytvoriť ochranu pred vonkajším prostredím [12]. Má regeneračnú schopnosť a skladá sa z piatich ďalších vrstiev: bazálna, mukózna, granulárna, lesklá a zrohovatená vrstva [5].

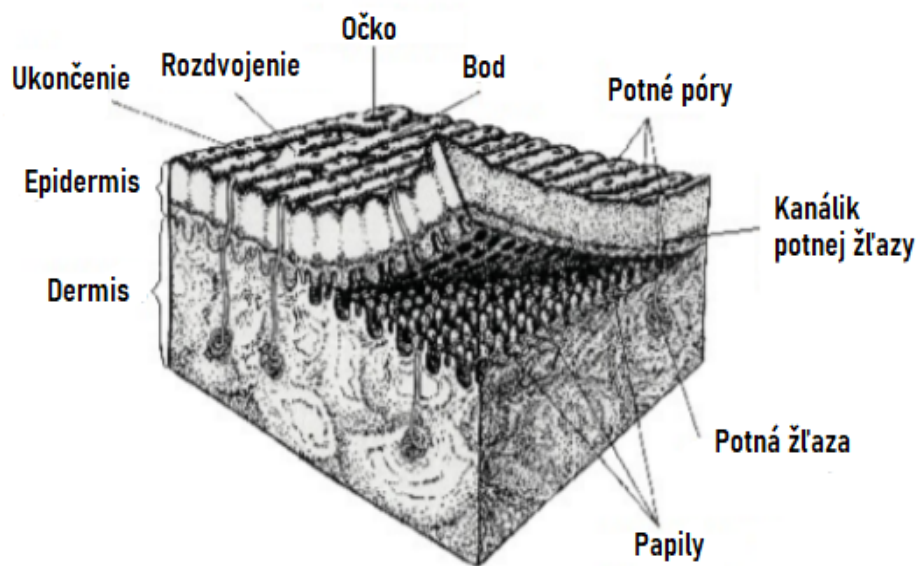
Zamša (dermálna vrstva kože) je prostredná vrstva kože. Nachádza sa pod pokožkou a je najhrubšou vrstvou kože [5]. Zodpovedá za pružnosť a odolnosť pokožky. Skladá sa z kolagénu a elastických vlákien [18]. Obsahuje krvné cievy a nervy [18]. Na jej povrchu sa nachádzajú papily, ktoré vytvárajú charakteristický obraz odtlačkov prstov každého človeka.

Najvnútornejšou vrstvou kože je podkožný tuk a nachádza sa pod zamšou. Skladá sa hlavne z tkaninových a tukových buniek [5]. Pôsobí ako tlmič nárazov a tepelný izolant, ktorý ochraňuje tkanivá a bunky pred chladom [5]. V procese rozpoznávania odtlačkov prstov táto vrstva kože nie je dôležitá.

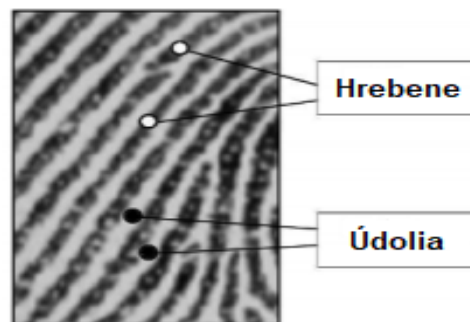
Vrchná časť kože je znázornená na obrázku 2.2. Na povrchu sú viditeľné niektoré z typov markantov, ktoré budú bližšie popísané v podkapitole 2.4.

## 2.3 Papilárne línie

U každého človeka sa na povrchu prstov na rukách nachádzajú papilárne línie, ktoré tvoria zložitý a jedinečný vzor [17]. Papilárne línie nemajú žiadne iné živočíchy okrem primátov [25]. Sú vytvorené už v priebehu embryonálneho vývoja ľudského plodu [32]. Začínajú sa objavovať okolo 13. týždňa vývinu a okolo 21. týždňa vývinu sú úplne vyvinuté a nemenné [43]. Papilárne línie predstavujú vyvýšené reliéfy, ktoré dosahujú výšku v rozsahu 0,1 - 0,4 milimetra a šírku 0,2 - 0,7 milimetrov [17]. Zlepšujú ľuďom citlivosť na dotyk a vďaka nim sa nám lepšie chytajú predmety [12]. Vzor papilárnych línií môže byť ovplyvnený určitými abnormalitami skorého vývoja či genetickými poruchami [43]. Na obrázku 2.3 je zobrazený snímok odtlačku prsta, kde v typickom prípade tmavé čiary predstavujú hrebene a svetlé miesta údolia.



Obr. 2.2: Štruktúra kože. Prevzaté a upravené z [17].



Obr. 2.3: Hrebene a údolia na odtlačku prsta. Prevzaté a upravené z [26].

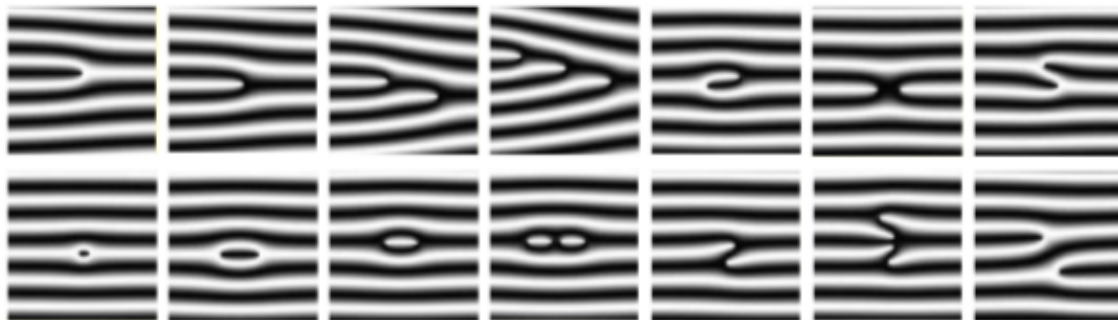
Na svete neexistujú žiadne dve osoby, ktoré by mali rovnakú štruktúru, ktorú papilárne línie vytvárajú. Ďalšou významnou vlastnosťou papilárnych línií je, že nejdú odstrániť počas života človeka a vzor vytvorený papilárnymi líniami sa relatívne nemení po celý zvyšok života [25]. Platí to ale len v prípade, že nedôjde k priamemu odstráneniu zárodočnej vrstvy kože [10]. V prípade spálenia, porezania či odretia ostávajú papilárne línie zachované a za určitý čas dochádza k ich zregenerovaniu. V prípade, že dôjde ku poškodeniu dermálnej vrstvy kože, papilárne línie na tomto mieste nebudú obnovené a dochádza k ich trvalému odstráneniu [10].

## 2.4 Charakteristické znaky odtlačku prsta

Existuje niekoľko charakteristických znakov, ktoré sa na odtlačku prsta objavujú a pomocou ktorých je možné rozlišovať či porovnávať odtlačky prstov. Najdôležitejšími znakmi, pomocou ktorých sa rozlišujú a porovnávajú odtlačky prstov sú *markanty*. Väčšina systémov na rozlišovanie a porovnávanie odtlačkov prstov je založená práve na ich porovnávaní

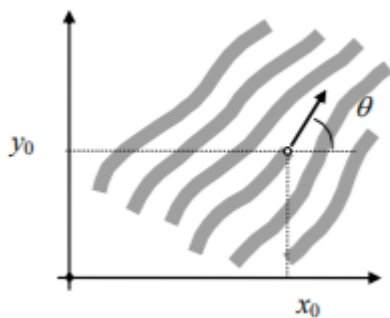
a preto je dôležitá presná a spoľahlivá extrakcia markantov. Markanty sú špeciálne útvary vytvorené na základe papilárnych línií (viď. kapitola 2.2). Identifikácia človeka pomocou odtlačku prsta potom spočíva na základe nájdenia určitého počtu zhodných markantov. [25] [10] [32]

Existuje veľké množstvo markantov, z nich nie všetky môžu byť použité pri rozpoznávaní odtlačkov prstov. Na obrázku 2.4 sú znázornené základné druhy markantov. V prvom rade zľava je zobrazený typ *ukončenie*, *vidlička*, *dvojitá vidlička*, *trojitá vidlička*, *hák*, *kríženie*, *bočný kontakt* [16]. V druhom rade zľava je zobrazený typ *bod*, *interval*, *jednoduchá smyčka*, *dvojitá smyčka*, *jednoduchý most*, *dvojitý most*, *priesečná línia* [16].

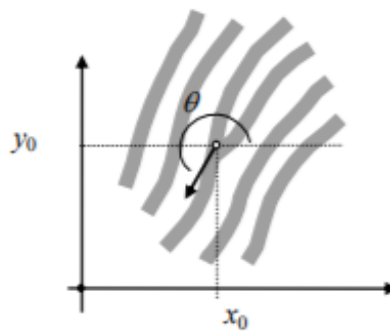


Obr. 2.4: Základné druhy markantov. Prevzatý a upravený z [16].

Medzi najčastejšie používané markanty patrí ukončenie a vidlička, ktoré sú znázornené na obrázku 2.5 a 2.6. Vidlička je bod, kde sa papilárna línia rozdeľuje na dve ďalšie vetvy [32]. Ukončenie je bod, kde papilárna línia zrazu skončí [32].



Obr. 2.5: Ukončenie:  $[x_0, y_0]$  označujú súradnice markantu a  $\theta$  je uhol, ktorý zvierá s vodorovnou osou. Zdroj: [32].



Obr. 2.6: Vidlička: definovaná pomocou ukončenia zodpovedajúceho pôvodnej vidličke v negatívnom obraze. Zdroj: [32].

Použitie len dvoch základných typov markantov je vyhovujúce v zjednodušení procesu rozpoznávania pomocou systému, pretože ich detekcia je jednoduchá a jednoznačná [10]. Detekovanie zložitejšieho markantu ovplyvní výpočetnú náročnosť, čo je veľmi nežiaduce, ak sa získaný odtlačok porovnáva s veľkým množstvom odtlačkov v databáze [25]. V daktyloskopických systémoch, ktoré slúžia pre kriminalistické účely, sa využíva omnoho väčší počet markantov, ktoré je možné odvodiť zo základných typov [25].

## 2.5 Získavanie odtlačkov prstov

Pri používaní metódy rozpoznávania odtlačkov prstov je potrebné na začiatku samotného procesu získať odtlačok prsta z prsta užívateľa do počítača [32]. Existuje niekoľko spôsobov na snímanie odtlačkov prstov. Stretávame sa s tromi rôznymi druhmi odtlačkov prstov, ktoré môžeme získať použitím jednotlivých spôsobov [17]: rolovaný (válaný), pichaný (živý), latentný (skrytý).

V prvých počiatkoch používania odtlačkov prstov sa používala daktyloskopická karta, kde sa odtlačok prsta získal nanosením atramentu alebo chemickej látky na prst a následne bol prst odtlačený na kartu. Pri daktyloskopickej karte vznikajú dva typy odtlačkov: rolovaný a pichaný [17]. Rolovaný odtlačok prsta bol vytvorený postupným rolovaním prsta z jednej strany na druhú. Pichaný odtlačok prsta vznikol priložením prsta na papier karty. Karta obsahovala všetkých desať prstov jedinca. Použitie tejto metódy zanechávalo prsty špinavé a nebolo zaistené vyhovujúce získanie odtlačku prsta [12]. Latentný odtlačok prsta sa nachádza na hladkých miestach a je vytvorený dotykom prstu. Môže sa vyskytovať na miestach činu [32]. Zvyšky takýchto odtlačkov prstov kriminalistickí experti opatrne získavajú pomocou špecializovaných techník [30]. Na vylepšenie odtlačkov a získanie snímku používajú rôzne chemikálie, ktorých výber sa líši v závislosti od povrchu plochy, kde sa odtlačok nachádza [30]. Jednotlivé druhy odtlačkov prstov sú znázornené na obrázku 2.7.



Obr. 2.7: Druhy odtlačkov. Vľavo je rolovaný odtlačok [16], v strede pichaný [16] a vpravo latentný odtlačok prsta [32].

Digitálne snímky odtlačkov prstov môžu byť získané použitím *off-line* alebo *online* metód [32]. Off-line metódy nezískavajú priamo digitálny odtlačok prsta. Ten je neskôr získaný pomocou skenovania alebo fotením. Pomocou off-line prístupu býva získaný latentný odtlačok prsta [32]. Oproti rolovaným a pichaným odtlačkom prstov majú latentné odtlačky prstov slabšiu kvalitu [25].

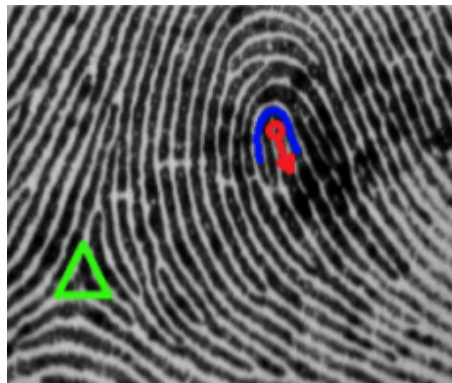
V súčasnosti sa využívajú online skenovacie metódy, ktoré získavajú digitálny odtlačok prsta priamym skenovaním prsta [32]. Pri tejto metóde nie je potrebný atrament. Užívateľ priloží prst na senzor, kde sa formuje obraz odtlačku prsta [32]. Digitálne obrázky odtlačkov prstov môžu byť nasnímané optickým senzorom, kapacitným senzorom, teplotným senzorom, ultrazvukovým senzorom, tlakovým senzorom, elektro-optickým senzorom a senzorom elektrického poľa [25].

## 2.6 Klasifikácia odtlačkov prstov

Na svete existuje v dnešnej dobe obrovské množstvo odtlačkov prstov, ktoré sú zhromažďované a ukladané do databázy [17]. Odtlačky prstov je potrebné klasifikovať presným

a dôsledným spôsobom, aby sme znížili výpočetnú zložitosť a čas vyhľadávania a následne mohli znížiť zložitosť procesu zhody dvoch snímkov [32]. Pomocou zavedenia klasifikačného systému je možné rýchlejšie odmietnuť odtlačky prstov, ktoré patria do odlišnej triedy a výrazne urýchliť identifikáciu [27].

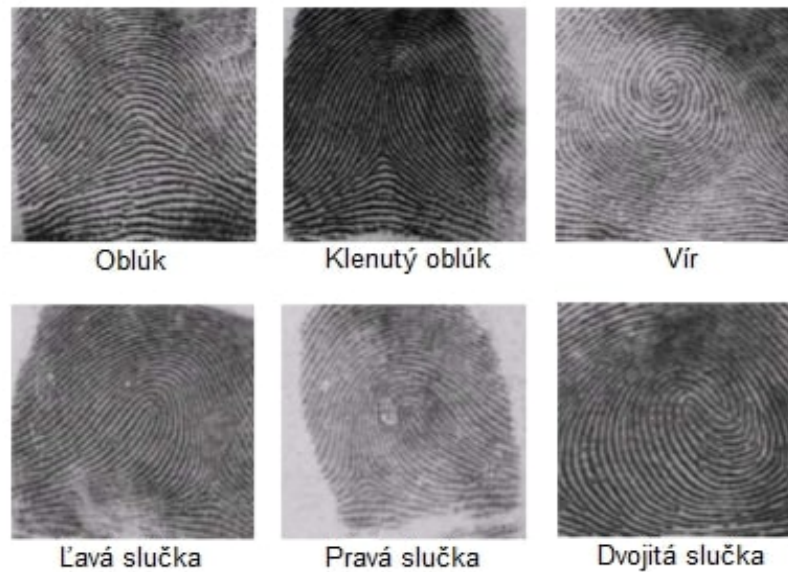
Pri klasifikácii sú dôležité riadiace body, takzvané singularity [17]. Rozoznávame dva typy singularít: *delta* a *jadro* odtlačku prsta. Jadro je stredom odtlačku prsta. Tento stred sa nachádza na najspodnejšom vyklenutí papilárnych línií a nie vždy sa nachádza uprostred odtlačku [6]. Delta je miesto v odtlačku prstu, kde papilárne línie smerujú do troch smerov [6]. V jednom odtlačku prsta sa nemusí nachádzať len jedna delta a jedno jadro [11]. Ďalšie dobre definovanou oblasťou odtlačku prsta sú typové línie, ktoré vymedzujú priestor medzi najspodnejšou papilárnou líniou patriacou k delte a najvrchnejšou papilárnou líniou patriacou k stredu [17]. Na obrázku 2.8 je jadro zobrazené modrou farbou, delta je označená zeleným trojuholníkom a smer jadra, ktorý označuje smer slučky odtlačku prsta je znázornený červenou šípkou.



Obr. 2.8: Delta, jadro a smer jadra odtlačku prsta. Zdroj: [27].

Jedna z najznámejších klasifikácií je Henryho klasifikačný systém [31]. Využíva sa v systémoch AFIS (automatizovaný systém identifikácie odtlačkov prstov) [25]. Henryho klasifikácia obsahuje tri základné triedy [17]. Jedná sa o oblúk, slučku a vír. V súčasnosti existujú rozšírené verzie, kde sú tieto tri triedy rozdelené na bližšie špecifikované podtriedy označované ako jednoduchý oblúk, klenutý oblúk, pravá slučka, ľavá slučka, dvojité slučka a jednoduchý vír. Odtlačok prsta patriaci do triedy jednoduchého oblúku neobsahuje žiadne singularity a papilárne línie tvoria jednoduché oblúky. V prípade klenutého oblúku sa zvyčajne nachádza jedna delta a jedno jadro na odtlačku prsta. U ľavej slučky papilárne línie vytvárajú slučku, ktorá vedie vľavo a vpravo od stredu slučky sa vyskytuje delta. Naopak, odtlačok prsta patriaci k pravej slučke obsahuje slučku z papilárnych línií, ktorá vedie vpravo a vľavo od jej stredu sa nachádza delta. Trieda vír je špecifická tým, že odtlačok prsta obsahuje jedno jadro a dve delty a do triedy dvojité slučka patrí odtlačok prsta s dvomi deltami a dvomi jadrami. [32]

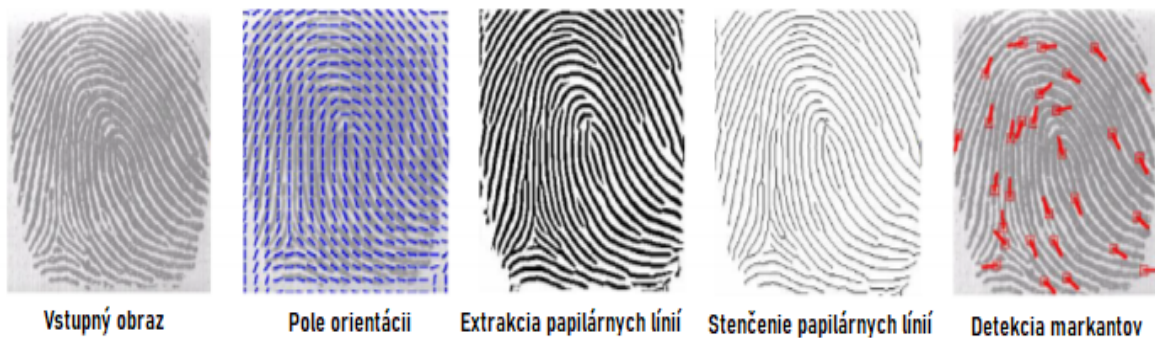
Všetky tieto podtriedy nie sú rovnako často vyskytujúce na prstoch [27]. Najčastejšie sa vyskytujúcimi triedami je pravá slučka, ľavá slučka a vír [32]. Pri klasifikácii odtlačku prsta sa vstupný odtlačok prsta zaradí do jednej z definovaných tried a potom sa porovná s podmnožinou databázy, ktorá patrí k danej triede, čím sa zníži počet šablón na porovnanie. Na obrázku 2.9 sú znázornené triedy odtlačkov prstov.



Obr. 2.9: Triedy odtlačkov prstov. Zdroj: [44].

## 2.7 Rozpoznávanie odtlačkov prstov

Rozpoznávanie odtlačkov prstov sa považuje za najobľúbenejšiu a najpoužívanejšiu metódu biometrickej identifikácie [17]. Rozpoznávanie odtlačkov prstov sa skladá z piatich hlavných častí [48]. Na obrázku 2.10 sú znázornené jednotlivé kroky procesu spracovania odtlačku prsta.



Obr. 2.10: Výstupy z jednotlivých krokov procesu rozpoznávania odtlačkov prstov. Obrázok bol prevzatý a upravený z [16].

### 2.7.1 Získanie odtlačku

Digitálny snímok je možné získať snímaním odtlačkov prstov pomocou biometrických senzorov, prípadne z inej predlohy. Získaný digitálny odtlačok prsta obsahuje množstvo šumu, ktorý je potrebné odstrániť. Pri snímaní sa určí, či daný odtlačok prsta je pichaný, rolovaný alebo latentný. Taktiež sa musí skontrolovať či je prst živý, alebo sa jedná o falošný odtlačok prsta. [17]

### 2.7.2 Vytvorenie poľa orientácií

V získanom obraze má každý bod svoju intenzitu, ktorá predstavuje hodnotu odtieňa sivej. Podľa danej hodnoty sa z okolia pre každý bod v obraze vypočíta smer papilárnych línií. Ak sa bod nachádza priamo na papilárnej líinii, určuje jej smer. Následne je aplikovaná transformácia na blokové pole orientácií, ktoré je namapované na pôvodný obraz. [17]

### 2.7.3 Extrakcia papilárnych línií

Obraz je upravený a získa sa čiernobiely obrázok s papilárnymi líniami. Medzi úpravy patrí napríklad škálovanie histogramu a kontrola kvality vstupného snímku. Následne papilárne línie sú reprezentované tmavými pixelmi, ktorých hodnota intenzity je nízka a svetlé pixely reprezentujú údolia, miesta medzi papilárnymi líniami, ktorých hodnota intenzity je vysoká. [17]

### 2.7.4 Stenčenie papilárnych línií

V tomto kroku dôjde ku stenčeniu papilárnych línií na šírku jedného pixelu. Existuje niekoľko algoritmov, ktoré znížia počet pixelov na obraze papilárnych línií, aby sa dosiahla požadovaná hrúbka. Je dôležité a nutné, aby papilárna línia neubúdala v žiadnom smere, aby sme sa vyhli problémom s polohou markantov. [17]

### 2.7.5 Detekcia markantov

Posledným krokom je detekcia markantov, kde sa používa takzvaná Hongova metóda. Pracuje sa iba s dvomi základnými typmi markantov - ukončenie a vidlička. Na základe súčtu bodov v okolí na obrázku stenčenej papilárnej línie sa určí jeden zo základných markantov. Metóda detekuje ukončenie, keď je súčet bodov v okolí rovný dvom. Keď je súčet bodov v okolí väčší ako tri, metóda detekuje vidličku. Pre každý detekovaný markant sa ukladajú nasledujúce informácie: [17]

- Pozícia markantu (súradnice X a Y),
- typ markantu (ukončenie/vidlička),
- gradient (orientácia/sklon).

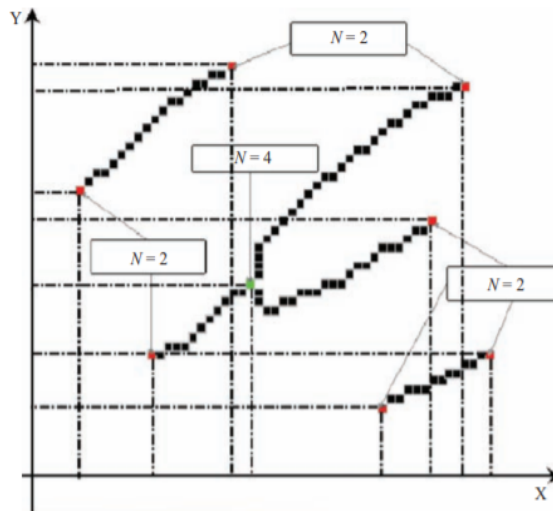
Na obrázku 2.11 je znázornená detekcia markantov. Červenou farbou je označené ukončenie, zelenou farbou vidlička. Počet bodov v okolí daných markantov reprezentuje N.

## 2.8 Porovnávanie odtlačkov prstov

Porovnávanie odtlačkov prstov je relatívne náročný proces, keďže dochádza k určitej rozdielnosti medzi odtlačkami toho istého prsta. Hlavné faktory, ktoré ovplyvňujú kvalitu odtlačku prsta sú popísané v kapitole 3.

Porovnávanie môže prebiehať rôznymi spôsobmi: porovnávanie na základe korelácií, porovnávanie na základe markantov a porovnávanie na základe vlastností papilárnych línií [32].





Obr. 2.11: Detekcia markantov v stenčených papilárnych líniách. Zdroj: [13].

### 2.8.1 Metódy založené na korelácii

Porovnávanie založené na korelácii používa obrázky odtlačkov prstov v odtieňoch sivej. Porovnávané obrázky sa prekrývajú a korelácia medzi dvomi zodpovedajúcimi pixelmi sa počíta pre rôzne prekrytia obrázkov (ich posuny, rotácie, atď.). Tento typ metódy je výpočetne náročný. [32]

### 2.8.2 Metódy založené na markantoch

Najpoužívanejšie je porovnávanie založené na markantoch. Všeobecne sa jedná o problematiku porovnávania vzorov. Pre porovnanie sa využíva pozícia, typ a gradient markantov. Z obrázka odtlačku prsta sú extrahované informácie o markantoch, ktoré sú následne uložené v dvojrozmernom poli. Porovnávanie potom spočíva v nájdení takého prekrytia dvoch polí, v ktorom je maximálny počet zhodných markantov. [32]

### 2.8.3 Metódy založené na vlastnostiach papilárnych línií

Tento typ metódy sa používa v prípade, že je k dispozícii nekvalitný obrázok odtlačku prsta, kde je problematická detekcia markantov. Taktiež je to výhodné použiť pri zariadeniach s malou čítaciou plochou, pri ktorých nie je možné získať dostatočný počet markantov. V takýchto situáciách je vhodné využiť iné vlastnosti papilárnych línií, ako napríklad smer alebo frekvencia, ktoré môžu byť z obrázka extrahované. Tieto metódy porovnávania majú nízku rozlišovaciu schopnosť a sú menej spoľahlivé ako metódy založené na markantoch. [32]

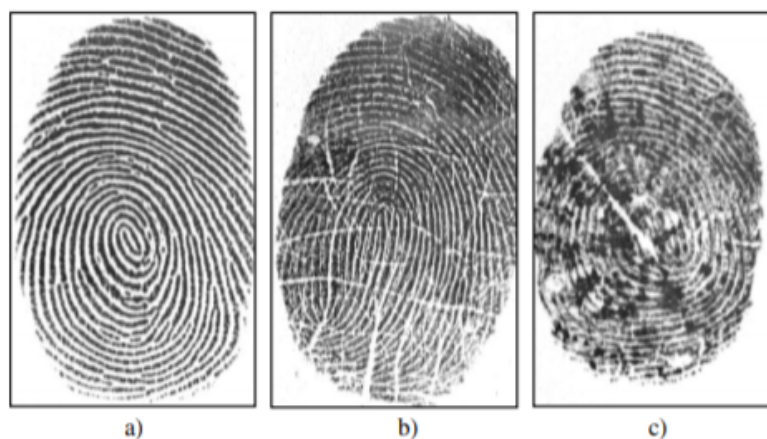
## Kapitola 3

# Kvalita a verifikácia

Kvalita získaného odtlačku prsta má významný vplyv pre jeho ďalšie spracovanie [32]. Presná definícia kvality odtlačku prsta neexistuje [12]. Pod kvalitou smínky odtlačku prsta si môžeme predstaviť jasnosť a viditeľnosť hrebeňa a údolí. Podľa medzinárodnej normy ISO/IEC 19794-4:2005 je kvalita definovaná ako celé číslo [12]. Zavedenie šandardizácie kvality obrazu odtlačkov prstov bolo významné a dôležité kvôli existencii rôznych meraní kvality odtlačkov prstov [45].

Kvalitu prsta charakterizujú parametre, ako napríklad rozlíšenie snímku odtlačku prsta, jeho plocha, jasnosť papilárnych línií, počet pixelov a kontrast [12]. Zachytená plocha prsta je dôležitá, lebo z dôvodu tvaru prsta nie je možné zachytiť priložením prsta na senzor celý odtlačok prsta [32]. V prípade, že vystúpenie papilárnych línií na prstoch ruky človeka je veľmi nízke, tak aj obrázok, ktorý vytvorí skener je nekvalitný. Takýto problém sa väčšinou vyskytuje u starších či manuálne pracujúcich ľudí [32]. Na obrázku 3.1 sú zobrazené príklady kvality odtlačkov prstov.

V nasledujúcich podkapitolách sú popísané tri hlavné skupiny, ktoré môžu poškodiť kvalitu odtlačku prsta. Jedná sa o vplyv senzoru, prostredia a užívateľa. Taktiež je vysvetlený odhad kvality snímku a nástroj VeriFinger slúžiaci na verifikáciu odtlačkov prstov použitý na verifikáciu odtlačkov prstov aj v tejto práci.



Obr. 3.1: a) Dobrá kvalita odtlačku prsta; b) horšia kvalita odtlačku prsta spôsobená škrabancami a prerušeniami papilárnych línií; c) veľmi zlá kvalita odtlačku prsta na základe vysokého šumu. Zdroj: [32].

## 3.1 Vplyv senzora

Snímacie senzory sú rozdelené do troch hlavných skupín: kontaktné, bezkontaktné a potahovacie. Problémy pri použití senzoru môžu byť spôsobené samotným poškodením snímača [28]. Na obrázku 3.2 sú zobrazené odtlačky prstov získané jednotlivými senzormi.

### 3.1.1 Dotykový senzor

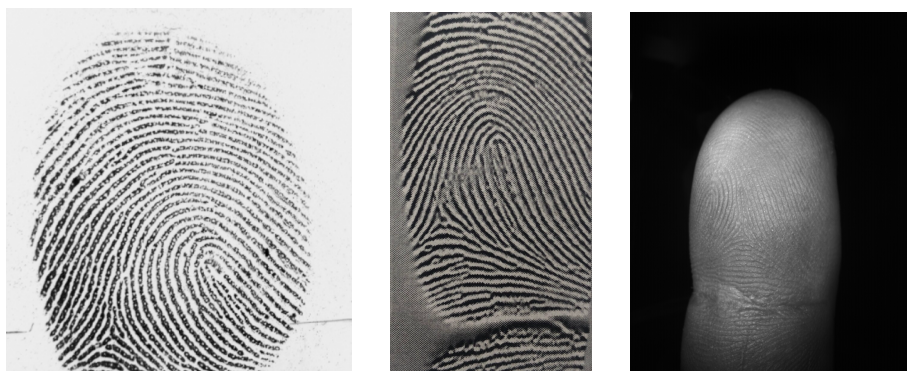
Pri použití dotykových senzorov je prst položený na plochu senzora. Výhodou je jednoduché použitie. Avšak tento typ senzoru má viacero nevýhod. Prvou z nich je nesprávne umiestnenie prsta na dotykovú plochu. Často sa neodhadne správne miesto dotyku a môže dôjsť k problému, že na snímku chýba jadro odtlačku prsta alebo je umiestnené na okraj snímku, čo nie je optimálne pre spracovanie viacerých algoritmov. Preto je dôležité mať dostatočne veľkú snímaciu plochu senzora. To vedie k ďalšiemu problému. Čím je dotyková oblasť snímača väčšia, tým vyššie sú cenové náklady [28]. Najväčšou nevýhodou je ale výskyt latentných odtlačkov, ktoré po dotyku môžu na snímačej ploche ostať. Senzor sa pri každom použití zašpiní a musí byť po každom použití očistený. Znečistené senzory vytvárajú špinavý a nekvalitný odtlačok prsta, čo vedie k vysokej miere falošného odmietnutia. [28] [12] [14]

### 3.1.2 Senzor potiahnutím

Ďalším typom je senzor, ktorý získava odtlačok prsta postupným potiahnutím po snímačej ploche. Jeho výhodou sú nižšie náklady z dôvodu malej dotykovj plochy. Taktiež s ním nie je spojený ani problém s latentným odtlačkom prsta. Avšak práca s týmto typom senzoru je o niečo zložitejšia. Pri nezachovaní správnej rýchlosti, polohy a stability pohybu dochádza k vytvoreniu nekvalitného snímku. Pri použití musí užívateľ prstom prejsť po ploche senzora a následne sa všetky postupne zachytené snímky spoja do finálneho odtlačku prsta. [28]

### 3.1.3 Bezkontaktný senzor

Posledným typom je bezkontaktný senzor. Funguje podobne ako dotykový senzor, avšak prst užívateľa sa nemusí dotýkať snímačej plochy vďaka čomu sa vyhneme latentným odtlačkom a iným problémom, ktoré boli pri predchádzajúcich typoch spomenuté. Nevýhodou je vysoká cena a nižšia prijateľnosť. [28] [12]



Obr. 3.2: Odtlačky prstov získané dotykovým senzorom (ľavý obrázok); bezdotykovým senzorom (stredný obrázok); potahovacím senzorom (pravý obrázok). Zdroj: [12].

## 3.2 Vplyv prostredia

Ďalšiu dôležitú úlohu v ovplyvňovaní kvality odtlačku prsta má okolité prostredie. Pri prostredí sa môžeme stretnúť s nevhodným osvetlením, elektromagnetickou radiáciou, vibráciami, špinavým senzorom či teplotou, na ktorú je citlivá teplotná technológia.

### 3.2.1 Vibrácie

Vibrácie väčšinou nie sú škodlivé pre žiadne senzory. Môžu spôsobiť len uvoľnenie niektorých vnútorných či mechanických častí a spôsobiť poruchu zariadenia. Avšak, je tu väčší problém, ktoré vibrácie zapríčínajú, a to je jemná zmena pozície prsta. Takáto jemná zmena posunutia môže rozmazať odtlačok prsta, čím sa výrazne zmení kvalita odtlačku prsta. [27] [12]

### 3.2.2 Okolité osvetlenie

Okolité osvetlenie ovplyvňuje iba optické a elektrooptické technológie. Tieto dve metódy používajú komponentu, ktorá je citlivá na svetlo. Snímacia plocha má väčšinou veľkosť priemernú veľkosti prsta a nezakrytá plocha, kde by mohlo dopadať svetlo je pomerne malá. Horšie je to v prípade, kedy je snímacia plocha väčšia a vplyv svetla je obrovský. Takýto problém sa vyskytuje aj pri bezkontaktných senzorov či daktyloskopických zariadeniach. [27] [12]

### 3.2.3 Teplota

Teplota môže spôsobiť problémy u tepelnej technológií získavania odtlačkov prstov. Tak tiež je známe, že ultrazvuková metóda nefunguje správne pri extrémne nízkych teplotách. Pri extrémnych teplotách môžu vzniknúť veľmi suché alebo veľmi vlhké prsty, ktoré môžu ovplyvniť výsledný obraz. V iných prípadoch sa nezvyknú vyskytovať žiadne problémy, aj keď teplota senzora, prsta a prostredia je odlišná. [27] [12]



Približne  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$

Približne  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$

Obr. 3.3: Vplyv teploty pri získavaní odtlačku prsta. Použitý senzor pri snímaní odtlačkov na prvom riadku je Bergdata FCAT-100, na druhom riadku Veridicom 5<sup>th</sup> Sense. Zdroj [12].

### 3.2.4 Elektromagnetická radiácia

Posledným faktorom zo skupiny prostredia je elektromagnetická radiácia, ktorá sa vyskytuje u všetkých typoch technológií. Nie sú ovplyvnené len samotné senzory, ale všetky elektronické komponenty a káble. Záleží to od sily žiarenia. Niektoré zariadenia pod vplyvom elektromagnetickej radiácie vytvoria rozmazaný obraz. [27] [12]

## 3.3 Vplyv užívateľa

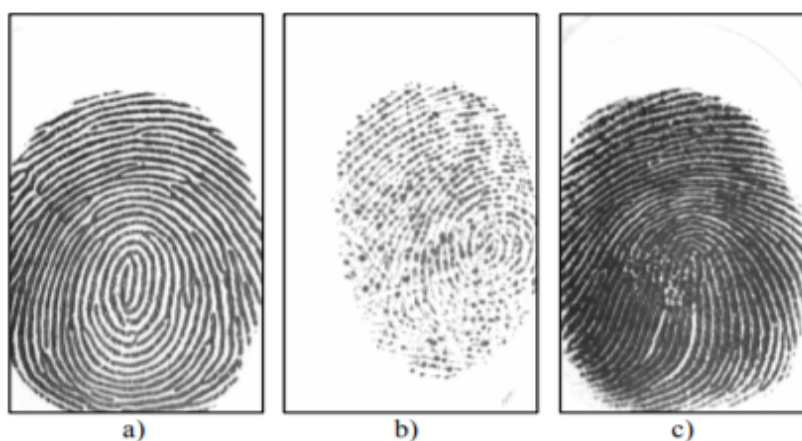
Posledným typom faktorov, ktoré ovplyvňujú kvalitu odtlačku prsta je vplyv užívateľa. V nasledujúcich podkapitolách budú vysvetlené jednotlivé poškodenia, ktoré súvisia s užívateľom a jeho prstom. Patrí sem napríklad suchý či mokrý prst, špinavý prst, nekooperatívne správanie užívateľa, fyzické poškodenie prsta, tlak pri skenovaní či kožné ochorenia, ktorými v dnešnej dobe trpí veľká časť populácie. [27] [12]

### 3.3.1 Fyzické poškodenie prsta

Fyzickým poškodením prsta rozumieme rôzne odreniny či rezy na prstoch užívateľa. Niektorí ľudia sú schopní podstúpiť rôzne operácie, ktoré menia alebo úplne nahrádzajú hrebene na ich prstoch. V niektorých prípadoch dokáža k pripáleniu, rezaniu či dokonca k použitiu kyseliny. [27] [12]

### 3.3.2 Suchý alebo mokrý prst

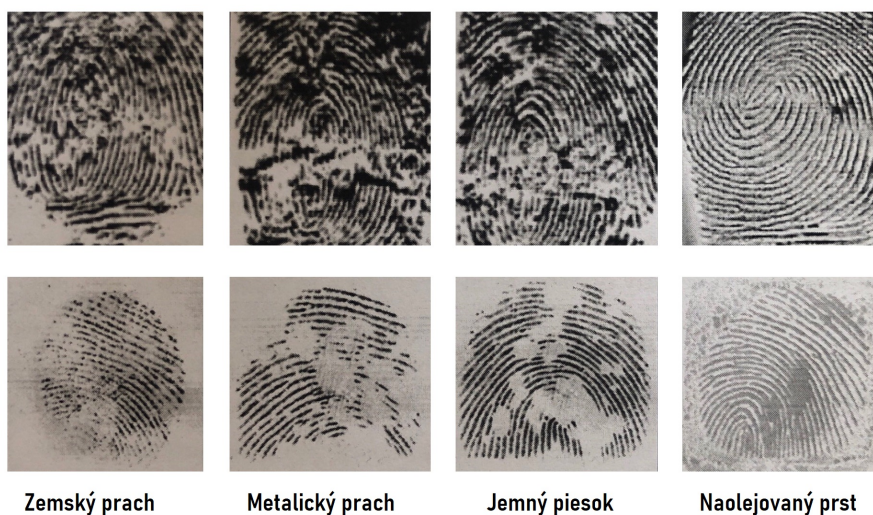
Suchý alebo mokrý prst je typický príklad poškodenia u všetkých typoch senzorov. Tento typ poškodenia môže byť spôsobený umývaním rúk, nervozitou používateľa a následným potením na prstoch či nanášaním krému na veľmi suché ruky. Nadmerná suchosť alebo vlhkosť prstov vedie k nevýrazným papilárnym líniam alebo k rozširovaniu hrebeňov. [27] [12] Na obrázku 3.4 sú zobrazené odtlačky nepoškodeného, suchého a mokrého prsta.



Obr. 3.4: Príklad odtlačku prsta získaného optickým senzorom. Všetky tri odtlačky prsta pochádzajú z rovnakého prsta užívateľa. Odlišujú sa podmienkami pri jeho snímaní. a) Originálny kvalitný odtlačok prsta; b) suchý prst; c) mokrý prst. Zdroj: [3].

### 3.3.3 Špinavý prst

Problém zašpineného prsta sa vyskytuje pri všetkých typoch senzorov a je jedným z najčastejších sa vyskytujúcich poškodení. Všetky typy senzorov sú ovplyvnené nečistotami na prste vo forme prachu, väčších častíc či mastnoty. Niektoré nečistoty môžu byť neúmyselné, avšak niektoré môžu byť spôsobené nespokojnými alebo nespolupracujúcimi používateľmi a je ťažké sa im vyhnúť. Najproblematickejšie druhy nečistôt sú vodivé materiály a kvapaliny. [27] [12]



Obr. 3.5: Vplyv špinavého prsta na odtlačok prsta. Zdroj: [12].

### 3.3.4 Nekooperatívne správanie

Nekooperatívne správanie užívateľa je typické v prípadoch, kedy sa užívateľ hrá so senzorom, nepáči sa mu daná technológia a snaží sa nájsť limity zariadenia. V takomto prípade užívateľ schválne umiestni prst na zlé miesto senzora, takže nemôže dôjsť ku správne rozpoznaniu. Taktiež môže vyvíjať tlak, pohybovať s prstom počas snímania, umiestniť prst pod zlým uhlom na senzor, prípadne dochádza k úmyselnému zašpineniu prsta. Žiadna zo snímacích technológií nie je odolná voči takémuto typu poškodenia. [27] [12]

### 3.3.5 Tlak

Ďalším faktorom je tlak, ktorý spôsobí zmenu hrúbky papilárnych línií a markanty nebudú správne. Výsledkom môžu byť taktiež rozmazané časti na obrázku odtlačku prsta. Príliš veľký tlak počas skenovania môže vytvoriť z odtlačku prsta veľký čierny ovál či dokonca až poškodiť skenovacie zariadenie. Jediné bezkontaktné senzory sú odolné voči tomuto typu poškodenia a kvalita odtlačku prsta ostáva nezmenená. [27] [12]

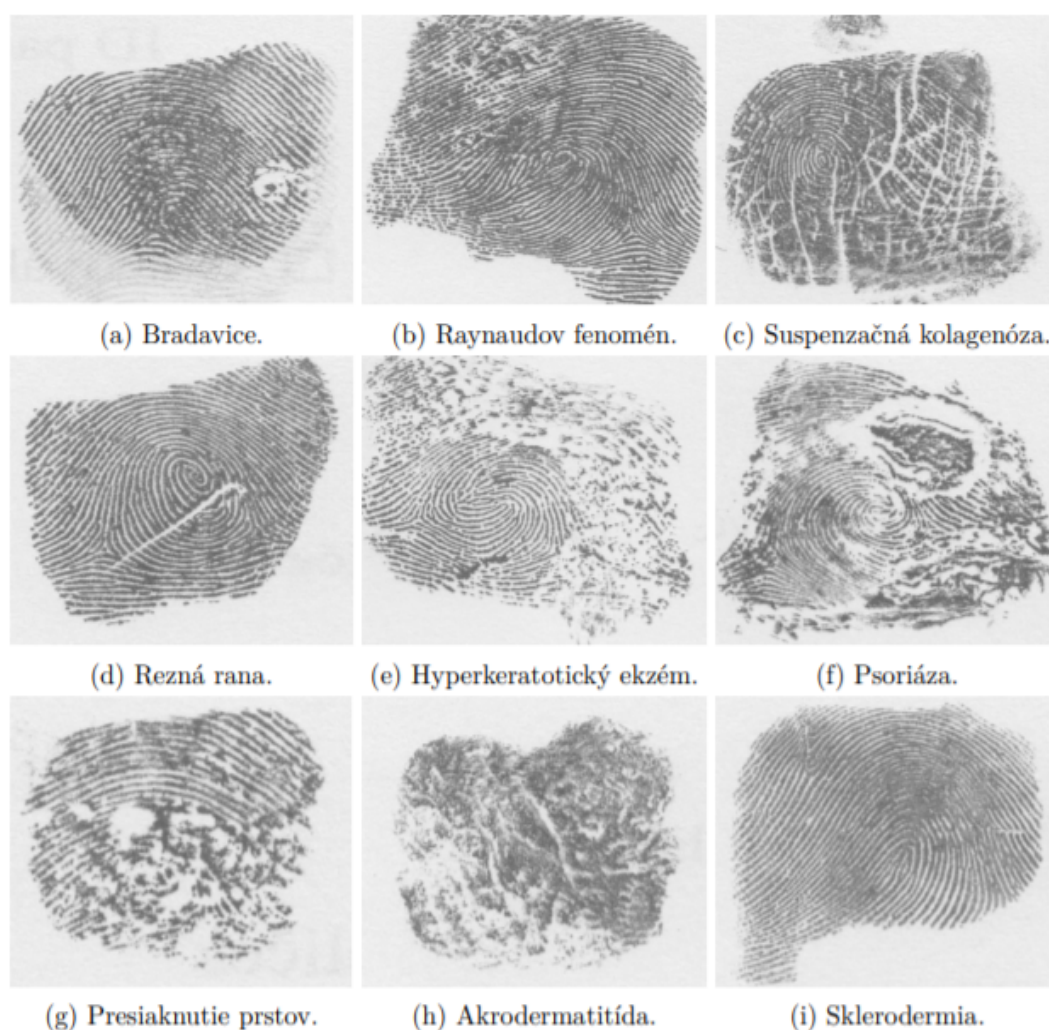
### 3.3.6 Kožné ochorenie

Posledným poškodením, ktoré ovplyvňuje kvalitu odtlačkov prstov je kožné ochorenie. V súčasnosti veľa ľudí trpí kožnými ochoreniami, ktoré sa nachádzajú na prstoch rúk a pri procese

rozpoznávania na základe odtlačkov prstov to spôsobuje problémy. Existujú ochorenia, ktoré menia a poškodzujú papilárne línie. V prípade poškodenia v hlbšej časti kože, neexistuje žiadna metóda, ktorá by dokázala získať pôvodnú štruktúru. [27] [12]

Ochorenia kože môžeme rozdeliť do troch skupín. Prvou z nich sú ochorenia, ktoré spôsobujú zmenu papilárnych línií. Do tejto skupiny patrí napríklad atopický ekzém či bradavice. Druhou skupinou sú ochorenia, ktoré spôsobujú zmenu farby pokožky, kam patrí epidermolytická hyperkeratóza, syndróm ruka - noha - ústa a xanthomy. Poslednou skupinou sú ochorenia, ktoré spôsobujú zmenu štruktúry papilárnych línií a farbu pokožky. Patrí sem psoriáza, raynaudov fenomén a dishydróza. [12]

Na obrázku 3.6 sú zobrazené príklady jednotlivých kožných ochorení na odtlačkoch prstov. Zobrazené odtlačky prstov s ochoreniami boli získané z databázy skupiny STRaDe na Fakulte informačných technológií na VUT v Brne. Databáza obsahuje viac než 1000 snímok, ktoré boli získané od rôznych pacientov.



Obr. 3.6: Príklad kožných ochorení z databázy STRaDe. Zdroj: [44].

### 3.4 Odhad kvality odtlačkov

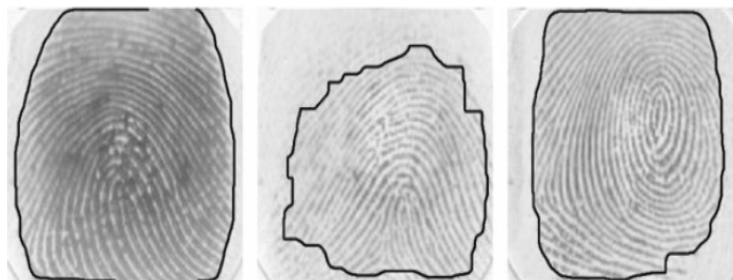
Proces odhadu kvality obrazu odtlačku prsta je neoddeliteľnou súčasťou rozpoznávania odtlačkov prstov. Vďaka tomuto odhadu je možné počas procesu registrácie užívateľa odmietnuť odtlačky prstov kvôli ich nízkej kvalite a požiadať užívateľa o opakované zaregistrovanie kvalitnejšieho odtlačku prsta. Ďalej je možné odmietnuť odtlačky prstov, ktoré majú veľmi nízku kvalitu počas procesu porovnávania. Zabezpečuje vhodný výber porovnávacieho algoritmu, ktorý bude najvhodnejší pre zistenú kvalitu odtlačku prsta v systémoch a taktiež pomáha pripojiť váhy jednotlivým markantom podľa kvality, ktoré sa počas procesu porovnávania založených na markantoch budú brať do úvahy. [15]

Metódy odhadu kvality odtlačkov prstov sa delia do dvoch skupín: prístupy založené na extrakcii lokálnych znakov a prístupy založené na extrakcii globálnych znakov [15]. Proces odhadu kvality odtlačkov prstov sa spravidla skladá z troch fáz [15]:

1. Segmentácia oblasti odtlačkov prstov.
2. Extrakcia prvkov objektu odtlačkov prstov (lokálna alebo globálna).
3. Odhad hodnoty kvality.

Segmentácia je veľmi komplexná a náročná úloha. Je dôležitým krokom pri automatickom rozpoznávaní odtlačku prsta pomocou systému. Ak sa na snímku nachádza len jeden objekt, je označovaná ako detekcia objektu/pozadia. Nasnímaný obraz sa zvyčajne skladá z dvoch komponent, ktoré sa označujú ako objekt a pozadie odtlačku prsta. Objekt obrazu je časť, ktorá vznikla priložením prsta na snímaciu plochu. Úlohou segmentácie odtlačkov prstov je rozhodnúť, ktorá časť obrazu je objekt a ktorá časť patrí pozadiu. Hlavným cieľom je zahodiť pozadie odtlačku prsta, čím sa zníži počet falošných a nepotrebných znakov. [4] [15]

Prst a odtlačok prsta majú typicky oválny tvar. Snímky odtlačkov prstov z elektronických daktyloskopických skenerov majú ale tvar obdĺžnika, ktorý obsahuje odtlačok prsta oválneho tvaru a pozadie. Kvôli procesu odhadu kvality, ktorý je založený na extrakcii lokálnych znakov, je dôležité vyhodiť pozadie zo získaného snímku. Pred segmentáciou plochy odtlačku prsta je potrebná extrakcia hlavných znakov objektu odtlačkov prstov. Pomôže to urýchliť čas výpočtu a spresniť samotný proces odhadu. Medzi techniky segmentácie plochy odtlačkov prstov patrí metóda blokovej odchýlky v odtieňoch šedej a metóda Gáborovho filtra. [4] [15]



Obr. 3.7: Príklad detekcie objektu odtlačkov prstov. Zdroj: [4].

Metódy založené na extrakcii lokálnych znakov rozdelia vstupný obraz na bloky tvaru obdĺžnika určitej veľkosti a následne sa odhadne kvalita odtlačku prsta pre jednotlivé bloky. Na základe týchto hodnôt je možné vypočítať hodnotu kvality odtlačku prsta pre celý obraz.



Výsledná hodnota kvality snímku je vypočítaná ako podiel hodnoty počtu blokov, ktoré majú definované vysoké kvality danej oblasti odtlačku prsta s celkovým počtom blokov. Medzi algoritmy, ktoré riešia extrakciu lokálnych znakov patrí metóda smerového kontrastu, metóda smeru, metóda Gáborovho filtra a metóda kontrolného pomeru. [15]

Metódy extrakcie globálnych znakov odhadujú kvalitu odtlačkov prstov na základe extrahovaných znakov z celého snímku odtlačku prsta.

### 3.4.1 Metódy odhadu kvality

Medzi metódy, ktoré dokážu merať kvalitu odtlačkov prstov patrí NFIQ a NFIQ2. Metóda NFIQ (NIST Fingerprint Image Quality) bola vyvinutá americkým Národným inštitútom pre štandardy a technológie (NIST). Táto metóda rozdeľuje snímky do piatich kategórií, podľa ich kvality, kde  $NFIQ = 1$  je snímok s najlepšou kvalitou a  $NFIQ = 5$  je snímok s najhoršou kvalitou [45]. Na obrázku 3.8 sú zobrazené príklady odtlačkov prstov s rôznou hodnotou kvality.



Obr. 3.8: Príklady ohodnotenia kvality jednotlivých snímkov: a)  $NFIQ = 1$ ; b)  $NFIQ = 2$ ; c)  $NFIQ = 3$ ; d)  $NFIQ = 4$ ; e)  $NFIQ = 5$ . Zdroj: [45].

Metóda NFIQ2 je nová a vylepšená verzia NFIQ, ktorá ponúka analýzu kvality odtlačkov [12]. Vyznačuje sa vyššou citlivosťou, keďže jeho výstup je číslo na intervale  $(0, 100)$ , pričom hodnota 0 predstavuje najnižšiu možnú kvalitu a hodnota 100 zodpovedá najlepšej novej kvalite odtlačku prsta, podľa medzinárodného štandardu kvality biometrickej vzorky [20]. Oproti pôvodnej verzii je rýchlejší, má vyššiu presnosť pri odhade kvality odtlačkov prstov, modulárny dizajn a umožňuje rekvalifikáciu na prispôbenie sa konkrétnym kontextom, ako sú napríklad latentné odtlačky prsty [35].

## 3.5 VeriFinger

VeriFinger je technológia slúžiaca na identifikáciu odtlačkov prstov určená pre biometrické systémy, ktorá poskytuje najvýkonnejšie algoritmy rozpoznávania odtlačkov prstov. Algoritmus je založený na hlbokých neurónových sieťach. Dokáže porovnávať odtlačky prstov s vysokou mierou spoľahlivosti a presnosti, pretože je tolerantný voči deformáciám odtlačkov prstov. Rolované odtlačky prstov majú oveľa väčšiu deformáciu v dôsledku špecifickej techniky skenovania. Taktiež je ústretový voči posunu, rotácii a dokáže sa vysporiadať s odtlačkami prstov, ktoré majú nesprávne rozlíšenie. VeriFinger porovnávací algoritmus môže vykonávať párovanie 1:1 alebo 1:N [19]. Je schopný zabezpečiť ukladanie najkvalitnejších odtlačkov prstov do databázy. Taktiež eliminuje šum z poškodeného odtlačku prsta pomocou adaptívneho filtrovania. Algoritmus využíva body markantov a množstvo nešpecifikovaných algoritmických riešení, ktoré zvyšujú výkon a spoľahlivosť systému. [34]

## Kapitola 4

# Syntetické odtlačky prstov

Syntetické odtlačky prstov sa snažia napodobniť reálne obrázky odtlačkov prstov, ktoré boli získané pomocou elektronických skenerov, keďže väčšina komerčných aplikácií využíva online získavanie odtlačku prsta [32]. V niektorých prípadoch je možné generovať odtlačky prstov podobné aj tým, ktoré boli získané offline technikou [27].

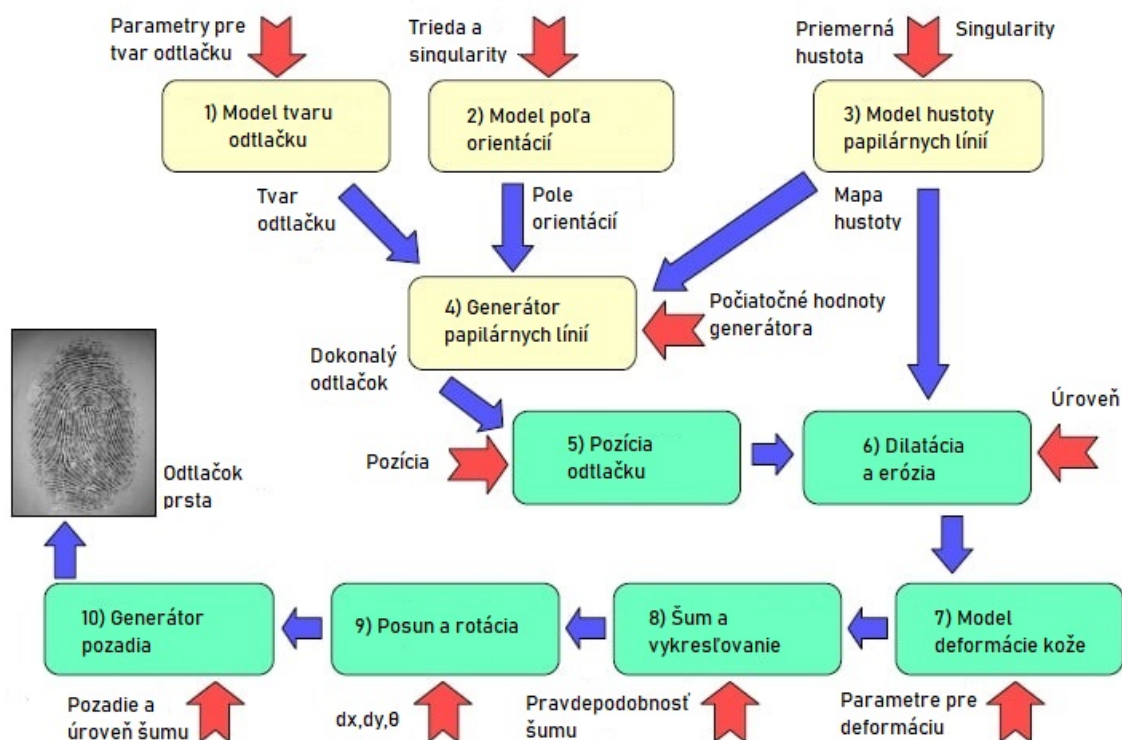
V dnešnej dobe sú problémom relatívne malé databázy, na ktorých sa vyhodnocuje presnosť rôznych algoritmov. Na základe tohto problému sú odhady vysoko závislé na údajoch a nedokážu dobre reagovať na obrázky odtlačkov prstov, ktoré boli zachytené pri odlišných podmienkach, ako napríklad odlišné aplikácie či prostredie. Pre lepšie výsledky a presnejšie odhady je potrebná veľká databáza, ktorá obsahuje tisíce až desaťtisíce snímok odtlačkov prstov. Avšak uchovávanie takýchto rozsiahlych databáz je finančne a časovo veľmi nákladné a problematické z dôvodu právnych predpisov o ochrane súkromia vzťahujúce sa na biometrické údaje. Tvorba nových databáz syntetických odtlačkov prstov poskytuje možnosť trénovať, testovať a optimalizovať algoritmy pre rozpoznávanie a porovnávanie odtlačkov prstov [50]. To je dôvod, prečo sa začali vyvíjať generátory syntetických odtlačkov. Vďaka takýmto generátorom dokážeme získať neobmedzené množstvo nových a odlišných odtlačkov, ktoré eliminujú vyššie spomínané problémy. Najznámejším generátorom syntetických odtlačkov prstov je SFinGe. Okrem neho do tejto skupiny patrí generátor Anguli, SyFDaS a SynFi. Jednotlivé generátory sú popísané v nasledujúcej podkapitole. [50]

### 4.1 Generovanie syntetických odtlačkov prstov

Generovanie odtlačku prsta je opačný proces oproti rozpoznávaniu odtlačkov prstov [10]. Podľa vstupných parametrov prebieha proces rozpoznávania odtlačkov prstov od konca až po začiatok [27]. Na internete nie je veľké množstvo dostupných generátorov odtlačkov prstov. Pri generátoroch je dôležité, aby ich výsledné odtlačky prstov boli čo najviac podobné reálnym snímkom. V nasledujúcich podkapitolách budú podrobnejšie popísané štyri generátory: SFinGe, Anguli, SyFDaS a SynFi.

#### 4.1.1 Generátor SFinGe

Celý postup algoritmu SFinGe je znázorený na obrázku 4.1. Proces je rozdelený na dve hlavné časti. Prvá časť označená žltou farbou symbolizuje generovanie hlavného odtlačku prsta. Druhá časť je označená zelenou farbou a predstavuje generovanie odvodeného odtlačku prsta z hlavného odtlačku. Červené šípky pri jednotlivých fázach označujú vstup danej fázy, modré šípky predstavujú výstup fázy a zároveň vstup ďalšej fázy.



Obr. 4.1: Metóda generovania odtlačkov prstov generátorom SFInGe. Obrázok bol prevzatý a upravený z [9].

Ako prvé je potrebné vygenerovať hlavný dokonalý odtlačok prsta, z ktorého je následne vytvorených niekoľko ďalších pomocou generovania rôznych poškodení a úprav odtlačku. Generovanie hlavného dokonalého odtlačku prsta pozostáva zo štyroch krokov [47]:

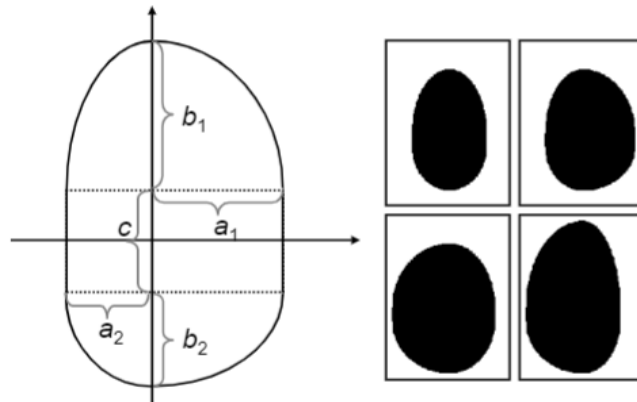
1. Generovanie tvaru odtlačku prsta,
2. generovanie poľa orientácií,
3. generovanie mapy hustoty papilárnych línií,
4. generovanie vzoru papilárnych línií.

V prvom kroku je vytvorený tvar odtlačku prsta, ktorého východzí tvar je oválny. Pomocou rôznych nastavení piatich parametrov  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $c$  je možné vytvoriť viaceré tvary, z ktorých niektoré sú zobrazené na obrázku 4.2.

Výsledkom druhého kroku je pole orientácií. Určuje sa trieda, do ktorej odtlačok prsta patrí. Jednotlivé triedy boli popísané v kapitole 2.6. Taktiež tu dochádza k rozmiestneniu singulárnych bodov, ktorých pozíciu je možné meniť. [8]

V treťom kroku sa vytvorí mapa hustoty papilárnych línií na základe heuristických kritérií, ktoré sú odvodené z vizuálnej kontroly niekoľkých skutočných odtlačkov prstov [9].

V poslednom kroku vytvorenia hlavného odtlačku prsta sa generujú papilárne línie. Vstupom generovania sú výstupy prvých troch krokov. Z niekoľkých počiatočných bodov za pomoci Gáborových filtrov, poľa orientácií a mapy hustoty dôjde k vykresľovaniu papilárnych línií. Markanty sú automaticky generované na náhodné miesta v odtlačku prsta. Výstupy z druhého, tretieho a štvrtého kroku sú zobrazené na obrázku 4.3.



Obr. 4.2: Prvý krok algoritmu. Zdroj: [9].



Obr. 4.3: Zobrazené sú výstupy druhého, tretieho a štvrtého kroku algoritmu na generovanie hlavného dokonalého odtlačku prsta. Zľava: pole orientácii, mapa hustoty papilárnych línií, tvar papilárnych línií. Obrázok bol prevzatý a upravený z [9].

Po vytvorení hlavného odtlačku prsta nasleduje generovanie odvodených odtlačkov, ktoré vznikajú pridaním nasledovných zmien [9]:

1. Kontaktná plocha odtlačku so sensorom (5.krok),
2. hrúbka papilárnych línií (6.krok),
3. nelineárne skreslenie (7.krok),
4. šum (8.krok),
5. posun a rotácia (9.krok),
6. pozadie (10.krok).

V piatom kroku sa určuje kontaktná plocha prsta, kde sa nastaví kontakt prsta so sensorom. Umiestnenie kontaktu má vplyv na vzor papilárnych línií na odtlačku [9].

V nasledujúcom šiestom kroku sa mení hrúbka papilárnych línií v závislosti od intenzity tlaku a vlhkosti kože na prste. V prípade nízkeho tlaku alebo suchej kože sú papilárne línie tenšie [9]. Naopak, papilárne línie sú hrubšie pri vlhkej koži a vysokom tlaku [9].

V siedmom kroku sa na odtlačok prsta aplikuje nelineárne skreslenie. Je to vytvorené na základe rôznych priložení prsta na snímaciu plochu a rôznym tlakom na sensor. Na vykreslenie skreslenia sa používa Lagrangeova interpolácia. Šum do výsledného obrazu sa

pridáva v ôsmom kroku. Okrem toho sa môžu generovať rôzne trhliny a odreniny, ktoré dodávajú odtlačku realistickú podobu a zhoršujú kvalitu odtlačku prsta. [9]

V predposlednom kroku sa na simuláciu nedokonalého umiestnenia prsta na snímáciu plochu aplikuje otočenie, prípadne posun. Na záver sa na odtlačok prsta pridáva realisticky vyzerajúce pozadie, ktoré je umiestnené za odtlačok prsta. [9]

Na obrázku 4.4 sú znázornené na jednotlivých riadkoch štyri rôzne odtlačky generované z rovnakého hlavného odtlačku prsta.



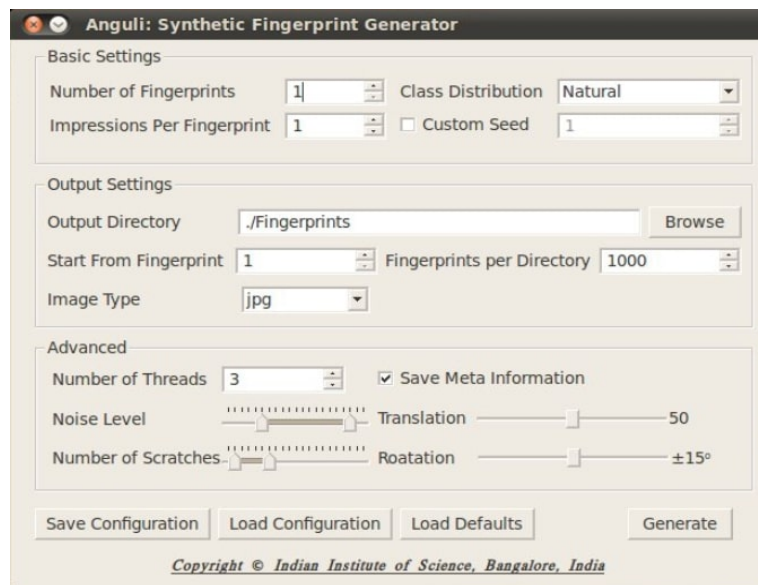
Obr. 4.4: Príklady generovaných odtlačkov prstov z hlavného odtlačku prsta. Na jednotlivých riadkoch sa nachádzajú generované odtlačky prstov z rovnakého hlavného odtlačku prsta. Zdroj: [33].

#### 4.1.2 Anguli

Druhým zvoleným generátorom je Anguli, ktorý je inšpirovaný algoritmom, ktorý používa generátor SFinGe. Dokáže vytvoriť rozsiahle databázy odtlačkov prstov. Udáva sa, že za necelé 4 dni je schopný vygenerovať až milión odtlačkov. Generátor Anguli sa používa v akademických štúdiách odtlačkov prstov a pomáha pri testovaní systémov slúžiacich na identifikáciu odtlačkov prstov. [46]

Pri generovaní si užívateľ môže zvoliť veľkosť databázy, triedu odtlačku prsta, rozsah šumu, počet škrabancov, uhol otočenia, posunutie či formát výstupu. Je možné nastaviť si počet vlákien na generovanie a tak urýchliť proces. [46]

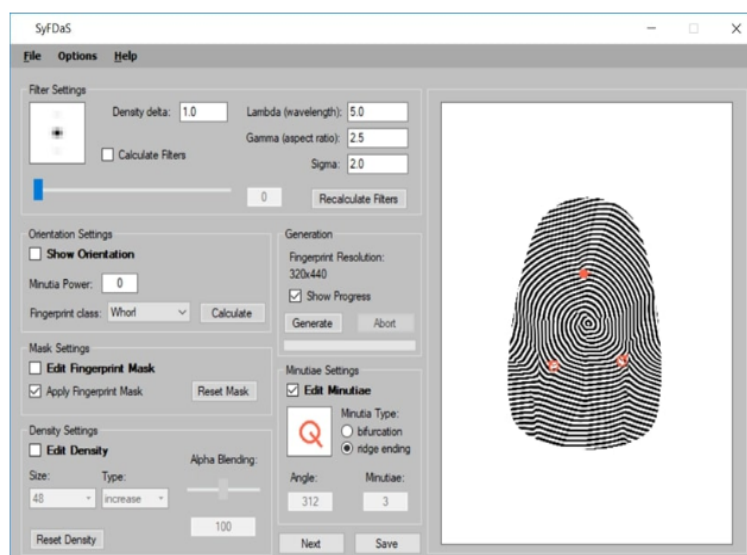
Na obrázku 4.5 je zobrazené hlavné okno generovania databázy odtlačkov prstov. Je rozdelené do troch hlavných častí: základné nastavenie, nastavenie výstupu a rozšírené nastavenie. V prvej časti si užívateľ zadáva počet generovaných odtlačkov a počet generovaných snímkov z jednej šablony. V nastavení výstupu sa určuje typ obrázku, číslovanie odtlačkov a výstupný adresár. V poslednej časti si užívateľ určí rozsah šumu a škrabancov, rotáciu a transláciu odtlačku a počet vlákien. [46]



Obr. 4.5: Okno generovania odtlačkov prstov z Anguli. Zdroj: [46].

### 4.1.3 SyFDaS

Tretím generátorom je SyFDaS [28], ktorý bol vytvorený na Fakulte informačných technológií Vysokého učenia technického v Brne. Na obrázku 4.6 je znázornené hlavné okno aplikácie. Jedná sa o aplikáciu s grafickým užívateľským rozhraním, kde je možné nastaviť rôzne parametre, ktoré ovplyvňujú samotné generovanie odtlačku. Metodika je podobná ako u generátora SFinGe.



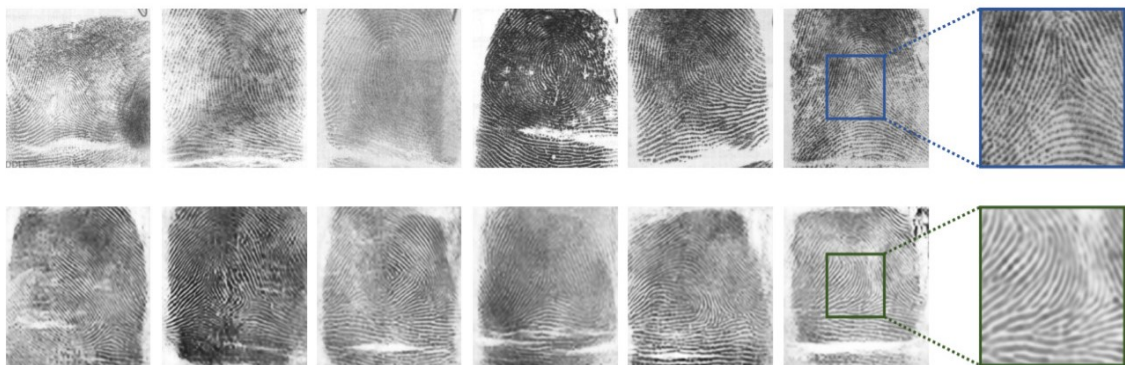
Obr. 4.6: Hlavné okno SyFDaS. Zdroj: [27].

V prvej časti si užívateľ môže nastaviť parametre pre Gáborov filter ovplyvňujúci generovanie papilárnych línií. Taktiež je možné nastaviť pole orientácii a triedu odtlačku prsta. Na výber je z piatich tried: oblúk, klenutý oblúk, špirála, ľavá smyčka a pravá smyčka.

Okrem toho je možné nastaviť hustotu papilárnych línií. Na záver je potrebné nastaviť typ a umiestnenie markantov. Na výber sú dva typy markantov: ukončenie a rozdvojenie. Je nutné umiestniť aspoň jeden markant do odtlačku. Súčasťou aplikácie je simulácia poškodenia, ktoré je typické pre dotykové a potahovacie senzory. Aplikácia umožňuje načítanie vlastného odtlačku prsta a do neho generovať poškodenie. Pre generovanie poškodenia je možné nastaviť typ senzoru a druh poškodenia. Simulácia poškodení je bližšie popísaná v kapitole 4.2. [28]

#### 4.1.4 SynFi

Posledným popísaným generátorom je SynFi, ktorý na rozdiel od vyššie spomínaných generátorov, pre generovania kvalitných syntetických odtlačkov prvkov využíva neurónové siete. Riešenie sa skladá z GAN (Generative Adversarial Network) a SR (Super Resolution). SynFi slúži pre automatické generovanie vysoko kvalitných syntetických odtlačkov prstov. Každý vygenerovaný odtlačok prsta vychádza z úplne náhodného šumu. Pred samotným generovaním je potrebná segmentácia odtlačku prsta, keďže súbor obsahuje viaceré artefakty, ako kódy a čísla. Zistí sa hranica odtlačku prsta, oreže sa a upraví jeho mierka. Po tomto kroku má väčšina odtlačkov prstov rozlíšenie 256 x 256 pixelov, ktoré sa použijú ako vstup pre sieť SR. Pre trénovanie siete GAN je ale potrebné takéto odtlačky upraviť a vytvoriť databázu odtlačkov prstov s rozlíšením 64 x 64 pixelov. Generovanie prebieha v dvoch fázach. V prvej fáze sa trénuje generovanie syntetických odtlačkov prstov pomocou siete WGAN (Wasserstein Generative Adversarial Network) z vektora vstupného šumu. Trénovaný model ale nie je schopný generovať odtlačky prstov vo vysokej kvalite. Z dôvodu nižšej kvality je potrebná druhá fáza generovania, v ktorej SynFi prevedie obraz nízkej kvality do obrazu vyššej kvality, vďaka čomu má obraz podrobnejšiu textúru. V tejto fáze sa využíva ESRGAN (Enhanced Super-Resolution Generative Adversarial Network) architektúra, ktorá sa skladá z niekoľkých konvolučných vrstiev. Vytvorené odtlačky prstov generátorom SynFi sú znázornené na obrázku 4.7. [42]



Obr. 4.7: Porovnanie skutočných odtlačkov prstov (prvý riadok) a syntetických odtlačkov prstov generované pomocou SynFi (druhý riadok). Zdroj: [42].

## 4.2 Simulácia poškodenia do syntetických odtlačkov prstov

V nasledujúcej časti budú predstavené simulácie poškodení do syntetických odtlačkov prstov. Konkrétne pôjde o poškodenie snímku odtlačku prsta poškodeným sensorom, tlakom, vlhkosťou a kožnými ochoreniami, ako bradavice, atopický ekzém, psoriáza a dishydróza. Simulácia všetkých poškodení okrem dishydrózy je súčasťou generátora SyFDaS, ktorý bol popísaný v kapitole 4.

### 4.2.1 Poškodený senzor

Snímky vytvorené poškodeným sensorom môžu obsahovať čiernu čiaru, ktorá je obvykle spojená s okrajom získaného odtlačku prsta, čo predstavuje prasklinu na ochrannom skle, mihalnicu či vlas. V niektorých prípadoch môže namiesto jednej praskliny existovať niekoľko prasklín, ktoré vytvárajú tvar pavučiny. Tento typ poškodenia sa simuluje jednoduchým vykreslením čiary v danej oblasti odtlačku prsta. Generovanie čiary je určené počiatočným bodom, smerom, dĺžkou a hrúbkou. Koncový bod čiary je určený rovnicou 4.1. [28]

$$\begin{aligned}x_{end} &= \sin(\text{angle}) \cdot \text{length} \\y_{end} &= \cos(\text{angle}) \cdot \text{length}\end{aligned}\tag{4.1}$$

Dĺžka je definovaná na základe šírky obrázku rovnicou 4.2. [28]

$$\text{length}_{absolute} = \frac{\text{ImageWidth}}{10} \cdot \left(1 + \frac{\text{length}_{relative} \cdot 2}{10}\right)\tag{4.2}$$

### 4.2.2 Tlak a vlhkosť

Vlhkosť aj tlak zvyšujú hrúbku a kontrast hrebeňov [28]. Čím väčší je tlak, tým silnejšie sú čiary. Na simuláciu vlhkosti a tlaku sú použité morfologické operácie erózia a dilatácia. Morfologické operácie potrebujú štruktúrny prvok na určenie ich veľkosti. Jednotlivé vzorce sú definované rovnicou 4.3 pre eróziu a 4.4 pre dilatáciu, kde symbol  $S$  symbolizuje intenzitu.

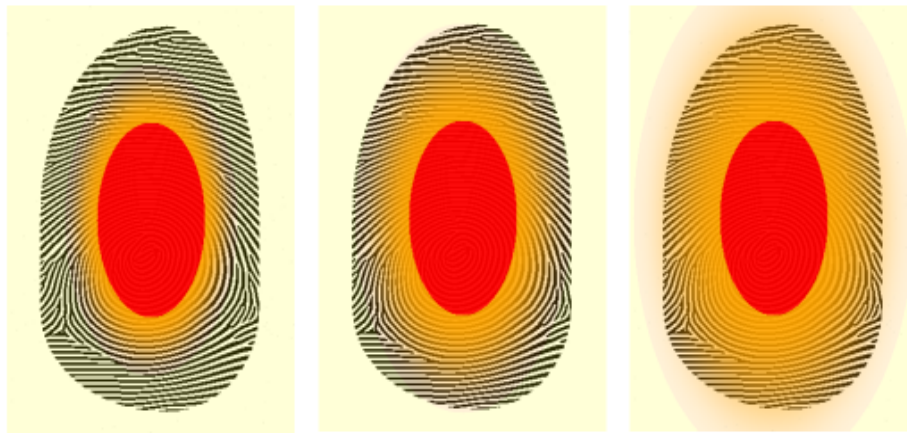
$$\text{erodia}(x, y) = \min_{\forall(u,v) \in S} (x + u, y + v)\tag{4.3}$$

$$\text{dilatacia}(x, y) = \max_{\forall(u,v) \in S} (x + u, y + v)\tag{4.4}$$

### 4.2.3 Deformácia odtlačku prsta

Tento typ poškodenia sa vytvára na základe deformácie kože a pôsobenia tlaku na senzor. Deformácia sa vytvára pri každom malom pohybe prsta, ktorý sa dotýka senzoru. Deformácia odtlačkov prstov dokáže zmeniť polohu markantov a taktiež zmeniť vzdialenosť medzi jednotlivými markantmi. Na simuláciu sa využil rovnaký model deformácie ako v SFinGe, kde je odtlačok prsta rozdelený do troch oblastí. Jednotlivé oblasti sú znázornené na obrázku 4.8. Červená plocha označuje vnútornú oblasť a prst je tu tak silno zatlačený, že nedochádza k deformácii. Druhá oblasť je označená žltou farbou, kde dochádza k maximálnej deformácii. Tretia oblasť označuje oblasť prechodu a je znázornená oranžovou farbou. Čím vyššia je intenzita oranžovej farby, tým je menšia deformácia odtlačku prsta.





Obr. 4.8: Rôzne oblasti deformácie odtlačkov prstov. Zdroj: [28].

#### 4.2.4 Bradavice

Bežné bradavice sú najrozšírenejším typom bradavíc. Zvyčajne sa nachádzajú na rukách, typicky na dlaniach. Ich priemerná veľkosť je 5 mm, avšak môžu dosahovať veľkosť až 1 cm. Na povrchu bradavice môžu byť viditeľné malé čierne bodky. Na obrázku 4.9 sú zobrazené tri odtlačky prstov poškodené výskytom bradavíc. Umiestenie bradavíc do odtlačku prsta je úplne náhodné a jedna bradavica často produkuje okolo seba niekoľko ďalších menších bradavíc. [7]



Obr. 4.9: Rôzne odtlačky prstov postihnuté bradavicami získané senzorom Sagem MSO 300. Zdroj: [7].

Na začiatku generovania podobných syntetických odtlačkov prstov dochádza k lokalizácii oblasti odtlačku prsta na obrázku. Určí sa veľkosť novej bradavice a nájde sa jej stredový bod v odtlačku prsta. Samotné generovanie bradavice prebieha pomocou vytvárania malých kruhov okolo stredového bodu bradavice. Do vnútra bradavice sa nakreslia tmavé bodky a stanoví sa konečná farba jednotlivých pixelov bradavice. Na záver sa vytvorená bradavica rozmazá. Takto vytvorená bradavica sa generuje do obrázku odtlačku prsta. Je možné generovanie sekundárnej bradavice. [7]

Na obrázku 4.10 a 4.11 sú zobrazené odtlačky prstov s generovanými bradavicami.



Obr. 4.10: Generovaná bradavica do odtlačku prsta. Zdroj: [7].



Obr. 4.11: Dogenerovanie druhotných bradavíc. Zdroj: [7].

#### 4.2.5 Atopický ekzém

Jedná sa o najčastejšie sa vyskytujúce kožné ochorenie. Typickými znakmi atopického ekzému je suchá koža, svrbenie a začervenanie kože. Taktiež sa môžu objaviť vyrážky, trhliny, pluzgiere a šupiny. [7]

Atopický ekzém sa môže prejavovať ako u dospelých, tak aj u detí. Existujú viaceré štádia atopického ekzému na prstoch. Jednotlivé štádia sú zobrazené na obrázku 4.12. Počas ranného štádia je pokožka vlhká a objavuje sa vezikula. Uprostred prsta sa objavuje začervenanie a popraskanie kože. V pokročilom štádiu sa začínajú strácať papilárne línie, koža je suchšia a začína sa odlupovať. V poslednom, chronickom štádiu sú papilárne línie na prstoch úplne stratené a odtlačky z takýchto prstov sú nepoužiteľné. [44]



Obr. 4.12: Rôzne štádia atopický ekzému. Zdroj: [44].

Na základe dostupných snímok z databázy a pozorovania boli určené hlavné znaky atopického ekzému na odtlačkoch prstov [44]:

- Tenké biele čiary s rozdielnou dĺžkou,
- tmavé plochy nepravidelných tvarov,
- biele plochy nepravidelných tvarov.

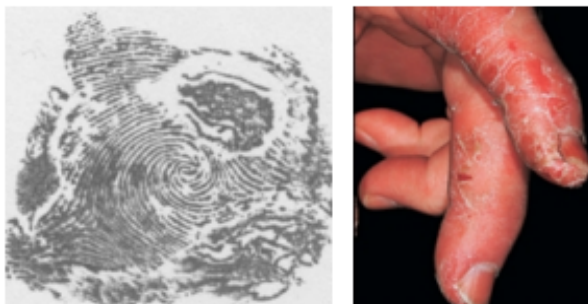
Ako prvé sa pri simulácii atopického ekzému lokalizuje oblasť odtlačkov prstov na obrázku. Následne sa vytvorí prázdny buffer, kam sa vykreslia škvrny. K vykresleniu škvrny je potrebné určiť jej stred a veľkosť. Škvrny sa vykresľujú svetlé alebo tmavé. V ďalšom kroku sa určí farba každého pixelu škvrny a celá škvrna sa rozmazá. Po vykreslení škvrn dochádza k vyobrazeniu bielych čiar. Určí sa začiatkový bod, smer a dĺžka čiar. Takto definované čiary sa generujú a interpolujú sa ich generované body. Následne dochádza k vykresleniu čiar a ich rozmazaniu. Na záver sa buffer nakreslí do odtlačku prsta. Na obrázku 4.13 sú vyobrazené snímky odtlačkov prstov poškodené atopickým ekzémom.



Obr. 4.13: Výsledok generovania atopického ekzému. Zdroj: [7].

#### 4.2.6 Psoriáza

Psoriáza je chronické kožné ochorenie. Typickými znakmi sú suché plochy pokryté suchými šupinami [2]. Patrí medzi kožné ochorenia, ktoré sa vyskytujú u ľudí pomerne často. Najčastejšie sa vyskytuje na rukách, laktoch a kolenách [41].



Obr. 4.14: Vľavo je odtlačok prsta so psoriózou. Vpravo je psoriáza na prstoch ruky. Zdroj: [2].

Tento typ ochorenia je generovaný do syntetických odtlačkov prstov na základe detekcie subjektov kožného poškodenia a následného generovania subjektov do obrázku syntetického odtlačku prsta, až kým je dosiahnutý požadovaný stupeň poškodenia. Na začiatku prebieha načítanie snímku a získanie veľkosti plochy odtlačku prsta. Ďalším krokom je vloženie subjektov do obrázku. Subjekty psoriázy sú rozdelené do kategórií na základe ich veľkosti

a farby (tmavé subjekty, veľké biele subjekty a malé biele subjekty). Následne dochádza k výpočtu bodu pre umiestnenie jednotlivých subjektov. Na obrázku 4.15 je znázornený pôvodný odtlačok prsta a výsledný obrázok s generovaným poškodením.



Obr. 4.15: (a) Načítaný obrázok syntetického odtlačku prsta. (b) Výsledný obrázok s generovaným poškodením psoriázy. Zdroj: [29].

#### 4.2.7 Dishydóza

Dishydóza je často sa vyskytujúcim kožným ochorením, ktorá je nazývaná aj pompholyx [44]. Nachádza sa na dlaniach a bočných stranách prstov [44]. Výskyt dishydózy na rukách je zobrazený na obrázku 4.16.

Existujú dve formy dishydózy: akútna a chronická. Pri akútnej forme vznikajú pľuzgierky, ktoré je vidieť voľným okom. Tie následne praskajú počas niekoľkých týždňov. Po odlúpení a odhalení červenej plochy so škvŕnami je táto forma ukončená. Chronická forma je ťažko rozoznateľná. Pri dlhšom pôsobení dishydózy môže dôjsť až ku narušeniu nechtov. Predpokladá sa, že vznik ochorenia je spojený so stresom. [44]



Obr. 4.16: Dishydóza. Zdroj: [44].

Na základe dostupných snímok a pozorovania boli určené hlavné znaky dishydózy na odtlačkoch prstov [44]:

- Tenké biele čiary s rozdielnou dĺžkou,

- biele škvrny rozmanitých tvarov,
- malé čierne škvrny.

Na začiatku generovanie kožného ochorenia dishydrózy sa detekuje plocha odtlačku prsta na snímku. Následne sú do odtlačku prsta generované biele čiary a biele škvrny, do ktorých sú vytvorené malé čierne škvrny.

Pre každú čiaru sú náhodne generované dva krajné body. Biele čiary sa môžu nachádzať po celom odtlačku prsta. Ich umiestnenie je náhodné. Počet vygenerovaných čiar závisí od zadanej hodnoty od užívateľa. V najväčšom percentuálnom zastúpení sú čiary orientované horizontálne, až 60 %. Nasleduje 25% pravdepodobnosť vertikálne orientovaných čiar a na záver 15 % zvyšných smerov. Po vygenerovaní každého bodu prebieha kontrola či sa daný bod nachádza v oblasti odtlačku prsta a nie je generovaný mimo plochy odtlačku. Zakrivenie čiar je vykonávané pomocou náhodného rozmiestnenia náhodného počtu bodov po čiare, ktoré sú s náhodnou dĺžkou posúvané po osy x a y. [44]

Biele škvrny sú najprv generované do pomocnej masky, kde sa generujú aj tmavé malé škvrny. Masky je následne rozmazaná a vložená do pôvodného odtlačku prsta. Na obrázku 4.17 sú zobrazené snímky odtlačkov prstov, do ktorých bolo ochorenie generované vytvoreným generátorom v predchádzajúcej práci.



Obr. 4.17: Výsledok generovania dishydrózy. Zdroj: [44].

## Kapitola 5

# Návrh rozšíreného generovania

Obsahom tejto kapitoly je predstavenie návrhu metód generujúcich poškodenie do syntetických odtlačkov prstov. Medzi generované poškodenia, ktoré narúšajú kvalitu odtlačku prsta boli vybrané vlhkosť prsta, prítlak a kožné ochorenie dishydróza. Prejavy jednotlivých vybraných poškodení sú generované do syntetických odtlačkov prstov.

Generátor poškodení je aplikácia s grafickým užívateľským rozhraním. Pred samotným generovaním vybraných poškodení je nutné detekovať papilárne línie a ich umiestnenie, aby mohla byť určená plocha odtlačku prsta. Následne môžu byť generované typické znaky jednotlivých poškodení. V tejto kapitole je popísané získavanie odtlačkov prstov potrebných pre analýzu poškodení spôsobené vlhkosťou a prítlakom, analýza vybraných poškodení a návrh ich generovania.

### 5.1 Získavanie odtlačkov prstov

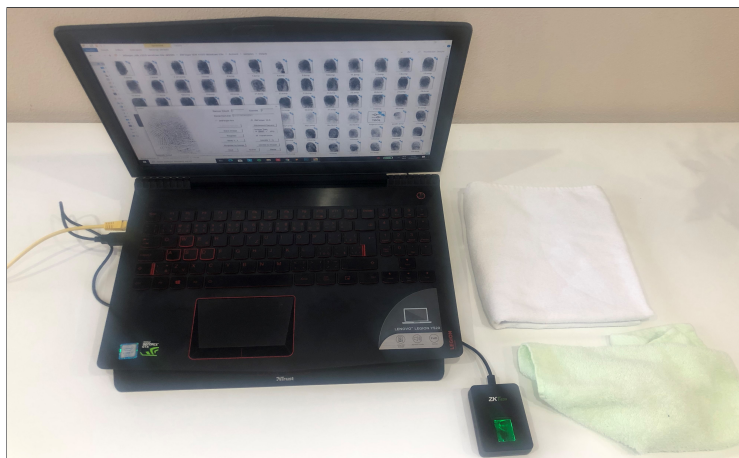
Pred samotnou implementáciou je potrebná analýza odtlačkov prstov s vybranými poškodeniami. Odtlačky prstov s dishydrózou boli použité z databázy poskytnutej výskumnou skupinou STRaDe. Počet snímok odtlačkov prstov poškodených dishydrózou je v databáze viac než 100. Okrem kožného ochorenia dishydrózy databáza obsahuje veľké množstvo snímok odtlačkov prstov, ktoré sú poškodené ďalšími kožnými ochoreniami ako atopický ekzém, lupénka či psoriáza.

#### 5.1.1 Databáza pre vlhkosť a tlak

Odtlačky poškodené vlhkosťou a tlakom museli byť pred samotnou analýzou nasnímané, keďže takto štrukturovaná databáza neexistovala. K vytvoreniu databázy bol použitý optický senzor ZKTeco:Live10R. Spolu bolo nasnímaných 40 snímok odtlačkov prstov určených pre analýzu vlhkosti a 50 snímok odtlačkov prstov vytvorené pod vplyvom rôzneho tlaku pri procese získavania odtlačku prsta. Vytvorené odtlačky prstov boli získané od piatich rôznych užívateľov. Pôvodne bolo v pláne rozsiahlejšie snímanie odtlačkov prstov, avšak kvôli núdzovému stavu v dôsledku pandemickej situácie spôsobenej ochorením COVID-19 bolo uskutočnené snímanie odtlačkov prstov s menším počtom užívateľov v blízkom okolí.

Proces získavania snímok bol zameraný na rôznu intenzitu poškodenia prítlaku a vlhkosti. Celkovo boli zvolené tri úrovne intenzity pre oba typy poškodenia: nízka, stredná a vysoká intenzita. V záujme získania čo najväčšej variability rozloženia poškodenia pre následnú analýzu nestačilo získať snímky jednej úrovne poškodenia len od jedného užívateľa,

ale od každého užívateľa bolo nasnímaných niekoľko snímok ku každej úrovni oboch poškodení. Na obrázku 5.1 je zobrazené snímanie odtlačkov prstov.



Obr. 5.1: Proces tvorby databázy odtlačkov prstov poškodené prítlakom a vlhkosťou.

V prípade procesu získavania odtlačkov prstov ovplyvnené tlakom jednotlivý užívateľia prikladali postupne prsty s rôznou silou priloženia na snímaciu plochu senzora. Na základe snímok bola sila priloženia užívateľa korigovaná, aby sa získala požadovaná intenzita poškodenia. Pre tvorbu vlhkosti bola použitá navlhčená utierka, ktorá sa prikladala užívateľovi na prst podľa potreby intenzity vlhkosti. Po každom priložení prsta na snímaciu plochu bola plocha vyčistená z dôvodu vzniku latentných odtlačkov. Na obrázku 5.2 sú zobrazené ukážky nasnímaných odtlačkov prstov z vytvorenej databázy s rôznou intenzitou poškodení.



Obr. 5.2: Príklad odtlačkov prstov od rôznych užívateľov z databázy s rôznou intenzitou poškodenia: a) slabá; b) stredná; c) silná intenzita. V hornom riadku sú zobrazené odtlačky prstov ovplyvnené prítlakom a v spodnom riadku odtlačky prstov ovplyvnené vlhkosťou.

## 5.2 Vlhkosť

Prvým z vybraných poškodení odtlačkov prstov je vlhkosť prsta. Ako bolo vysvetlené v časti 3.3.2, vplyv vlhkosti prsta na odtlačok prsta je typickým príkladom poškodenia u všetkých typov senzorov. To je jeden z dôvodov, prečo bol vybraný tento typ poškodenia. V nasledujúcej podkapitole je uvedená analýza hlavných znakov, ktoré znižujú kvalitu odtlačku prsta. Taktiež je v tejto kapitole uvedený popis generovania poškodenia do obrázku syntetického odtlačku prsta a popísaný rozdiel rozloženia poškodenia prítlaku a vlhkosti na odtlačku prsta.

### 5.2.1 Analýza

Na obrázku 5.3 sú uvedené niektoré z obrázkov odtlačkov prstov poškodených vlhkosťou, ktoré sa nachádzajú vo vytvorenej databáze určenej pre analýzu tohto typu poškodenia. Vlhkosť je obvykle nerovnomerne rozdelená. Môžu nastať dva hlavné prípady pri tomto type poškodenia:

- Príliš suchý odtlačok,
- príliš vlhký odtlačok.

Z pozorovania týchto obrázkov vyplýva, že v prípade suchého odtlačku prsta je získaný odtlačok prsta bledší a papilárne línie sú stenčené po celej ploche rovnomerne. Na druhej strane, pri vlhkom prste vzniká odtlačok prsta s hrubšími a tmavšími papilárnymi líniami. V extrémnych prípadoch nie sú viditeľné žiadne papilárne línie. Odtlačok prsta je buď čisto biely alebo čierny.



Obr. 5.3: Príklad odtlačkov prstov vytvorené rôznou vlhkosťou: a) odtlačok suchého prsta; b) odtlačok prsta bez poškodenia; c) odtlačok mokrého prsta.

Z nasnímaných snímok poškodených odtlačkov prstov bola vykonaná aj podrobnejšia štatistika polohy poškodenia na ploche odtlačku prstu. Pri nízkej úrovni poškodenia sa poškodenie môže vyskytovať kdekoľvek na odtlačku prsta. Rôzni používatelia mali rozdielne rozloženie poškodenia na odtlačku prsta. Avšak bolo zistené, že poškodenie nie je rovnomerne rozložené po celom odtlačku prsta, ale s najväčšou pravdepodobnosťou sa nachádza



v okolí stredu odtlačku prsta. Pri strednej úrovni poškodenia vznikajú oblasti, na ktorých sa zoskupujú menšie tmavé oblasti, čím vytvárajú niekoľko väčších tmavých plôch na odtlačku prsta. Opäť sa poškodenie nachádza kdekoľvek na odtlačku prsta, avšak s najväčšou pravdepodobnosťou sa zhrubnuté papilárne línie nachádzajú po okrajoch odtlačku prsta. Pri najvyššej intenzite poškodenia sú papilárne línie poškodené takmer vždy po okrajoch odtlačku prsta a v strednej časti, kde vytvárajú veľké čierne nepravidelné oblasti. Okrem toho sú typické zhrubnuté papilárne línie po celej ploche odtlačku prsta.

### 5.2.2 Generovanie

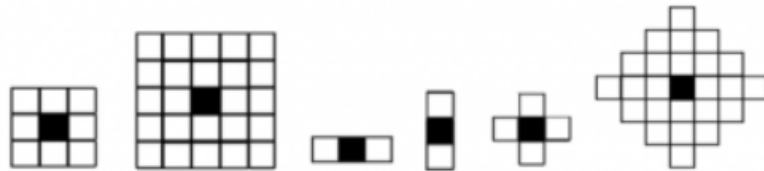
Pri simulácii vlhkosti prsta sa použijú hlavné morfológické operácie erózia a dilatácia, ktoré hlavne pracujú s binárnymi obrazmi [22]. Dilatácia je označovaná ako  $A \oplus B$  a je definovaná vzťahom 5.1, kde  $E^2$  predstavuje dvojrozmerný euklidovský priestor [22].

$$A \oplus B = \{p \in E^2 \mid p = a + b, a \in A, b \in B\} \quad (5.1)$$

Erózia je označovaná  $A \ominus B$  a je definovaná vzťahom 5.2 [37].

$$A \ominus B = \{p \in E^2 \mid p + b \in A, \text{ pre } \forall b \in B\} \quad (5.2)$$

Navzájom sa môžu kombinovať, vďaka čomu vznikajú ďalšie morfológické operácie, ktoré je možné použiť pri spracovaní binárnych, monochromatických či farebných obrazoch [22]. Pre definovanie tvaru a veľkosti morfológického filtra je potrebné určiť štruktúrally element, ktorý obsahuje významný bod označovaný ako reprezentatívny bod (origin). Na obrázku 5.4 sú znázornené viaceré druhy štruktúrallych elementov. Reprezentatívny bod je označený čiernou farbou.



Obr. 5.4: Rôzne druhy štruktúrallych elementov. Zdroj: [22].

Algoritmus generovania poškodenia vlhkosťou bude z časti podobný postupu generovania poškodenia spôsobené tlakom. V časti 5.3.2 je popísaný algoritmus pre obe poškodenia. Algoritmy generovania poškodení sa odlišujú v spôsobe výberu plochy, kde sa bude poškodenie generovať.

### 5.3 Tlak

Druhým z vybraných poškodení odtlačkov prstov je tlak. Výsledný obraz odtlačku prsta získaný vplyvom príliš malého alebo veľkého tlaku je podobný ako obraz odtlačku prsta vytvorený vlhkým prstom. Spôsobuje zmenu hrúbky papilárnych línií. Výsledkom je rozmazaná časť na obraze odtlačku prsta. Podrobnejší popis tohto poškodenia je popísaný

v časti 3.3.5. V nasledujúcich častiach kapitoly je popísaná analýza snímok odtlačkov prstov vytvorených pod vplyvom rôzneho tlaku a algoritmus generovania poškodení.

### 5.3.1 Analýza

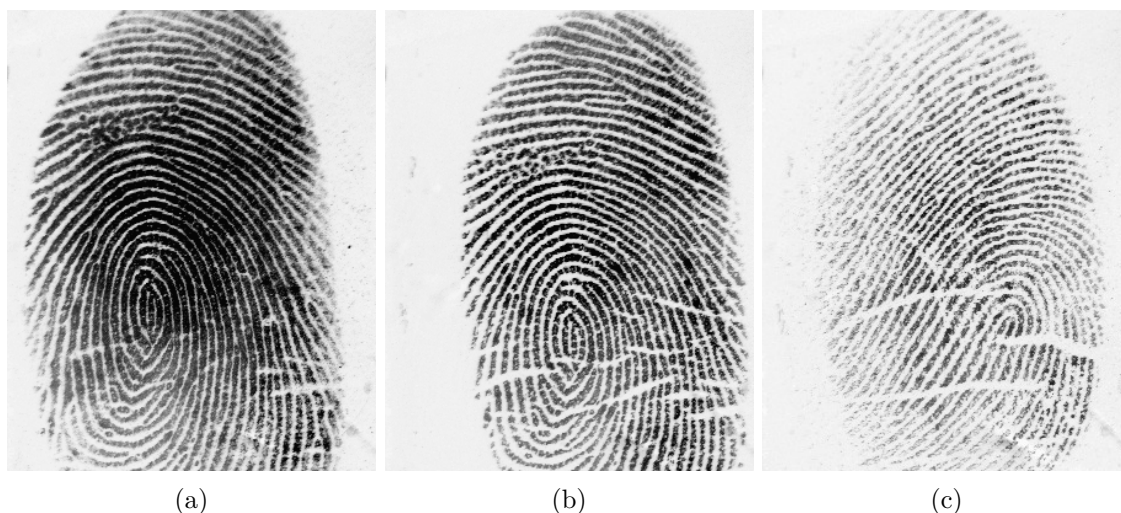
Na obrázku 5.5 sú uvedené niektoré z obrázkov odtlačkov prstov vytvorené vplyvom tlaku, ktoré sa nachádzajú vo vytvorenej databáze. Môžu nastať dva prípady pri tomto type poškodenia:

- Nízky tlak,
- vysoký tlak.

Z pozorovania týchto obrázkov vyplýva, že v prípade odtlačku prsta, ktorý bol vytvorený pôsobením veľkého tlaku na snímaciu plochu, je získaný odtlačok prsta tmavší a papilárne línie sú hrubšie. Na druhej strane pri slabom priložení prsta na senzor dôjde k nízkemu tlaku a získaný odtlačok prsta je bledší. V extrémnych prípadoch nie sú viditeľné žiadne papilárne línie. V takomto prípade je odtlačok prsta čisto biely alebo čierny.

Poloha plochy generovaného poškodenia spôsobené prítlakom sa oproti vlhkosti odlišuje. Pri tlaku bolo pozorovaných niekoľko tried nerovnomerného prítlaku. S najväčšou pravdepodobnosťou sa prítlak nachádzal v pravej časti odtlačku prsta alebo v ľavej časti. Taktiež sa veľmi často vyskytoval v strede odtlačku prsta, hlavne v prípade prítlaku s nižšou intenzitou výskytu. S menšou opakovateľnosťou, ale tiež veľmi častým výskytom bol prítlak v hornej časti odtlačku. Poslednou triedou prítlaku je spodná oblasť odtlačku prsta. Okrem spomínaných tried sa prítlak nachádzal s oveľa menšou pravdepodobnosťou výskytu aj v iných oblastiach odtlačku prsta, ktoré neboli na odtlačkoch prstov od užívateľov pravidelne sa vyskytujúce.

Pri prítlaku je taktiež dôležitá intenzita poškodenia. Čím väčšou silou užívateľ priloží prst na snímaciu plochu, tým je plocha poškodenia väčšia a papilárne línie sú tmavšie.



Obr. 5.5: Príklad odtlačkov prstov získané pôsobením rôzneho tlaku z vytvorenej databázy: a) príliš vysoký tlak; b) dobrá kvalita odtlačku prsta; c) príliš nízky tlak.

### 5.3.2 Generovanie

Generovanie poškodenia vplyvom prítlaku je podobné generovaniu poškodenia vlhkosťou. Rozdiel je v umiestnení poškodenia papilárnych línií na odtlačku prsta. Algoritmus pre náhodné generovanie poškodenia prítlakom a vlhkosťou:

1. Detekcia plochy syntetického odtlačku prsta.
2. Spracovanie zadanej úrovne poškodenia užívateľom:
  - (a) generovanie poškodenia vplyvom vlhkosti,
    - i. detekcia zadanej intenzity poškodenia,
    - ii. určenie rozloženia,
    - iii. generovanie erózie,
    - iv. generovanie dilatácie.
  - (b) generovanie poškodenia vplyvom prítlaku,
    - i. detekcia zadanej intenzity poškodenia,
    - ii. určenie rozloženia,
    - iii. generovanie kombinácie erózie a dilatácie.
3. Grafická úprava obrazu pred uložením.
4. Vytvorenie šablóny pre export poškodenia.
5. Uloženie výsledného odtlačku prsta.

### 5.4 Dishydróza

Posledným z vybraných poškodení odtlačkov prstov je kožné ochorenie dishydróza. Jedná sa o vylepšenie už existujúcej metódy, keďže bol tentokrát dodaný väčší počet snímok a lepšie podklady pre analýzu. Využitie snímkov odtlačkov prstov s kožným ochorením boli z databázy STRaDe [14].



Obr. 5.6: Kožné ochorenie dishydróza. Zdroj: databáza [36].

### 5.4.1 Analýza

Na obrázku 5.7 sú zobrazené odtlačky prstov s dishydrózou, ktoré sú získané od rôznych ľudí a bola na nich uskutočnená analýza hlavných znakov. Prvý snímok bol získaný pomocou atramentu a zvyšné tri snímky pomocou senzora Sagem MSO 300. Na prvom obrázku sa nachádzajú hrubé biele čiary, ktoré sú orientované hlavne horizontálne. Menšia časť čiar je vo vertikálnom smere. Okrem toho sú na odtlačku prsta viditeľné nepravidelné biele plochy rozmiestnené po celom odtlačku. Na druhom snímku je taktiež možné vidieť biele čiary, nepravidelné biele škvrny a drobné tmavé body. Papilárne línie sú o niečo viac viditeľné než na prvom snímku. Tretí snímok je podobný druhému. Rozdiel je v pravidelnejšom tvare bielych škvŕn. Na niektorých miestach sú papilárne línie hrubšie a tmavšie. Na poslednom obraze odtlačku prsta papilárne línie sú hrubšie a odtlačok prsta je celkovo veľmi tmavý. Nenachádzajú sa tu žiadne biele čiary.

Na základe preskúmania viacerých snímok odtlačkov prstov postihnutých dishydrózou je zrejmé, že medzi hlavné generované znaky patria biele čiary rôznej hrúbky orientované horizontálne alebo vertikálne, prerušenia papilárnych línií, nepravidelné biele škvrny rozmiestnené po celom odtlačku, drobné čierne škvrny a nepravidelná jasnosť papilárnych línií.



Obr. 5.7: Odtlačky prsta s dishydrózou. Prvý snímok bol získaný atramentovou metódou. Zvyšné tri odtlačky prstov sa získali pomocou senzora Sagem MSO 300. Získané z databázy poskytnutej výskumnou skupinou STRaDe.

### 5.4.2 Generovanie

Program generuje hlavné znaky dishydrózy do syntetického odtlačku prsta. Algoritmus pre náhodné generovanie kožného ochorenia dishydrózy:

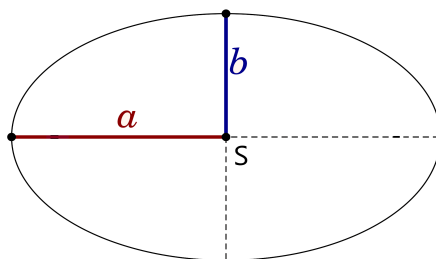
1. Detekcia plochy syntetického odtlačku prsta.
2. Spracovanie zadaných parametrov užívateľom:
  - (a) ak boli zadané parametre, tak dochádza k ich spracovaniu,
  - (b) v opačnom prípade sa vykoná náhodné generovanie.
3. Generovanie poškodenia do syntetického odtlačku prsta:
  - (a) generovanie bielych čiar,
  - (b) generovanie prerušení papilárnych línií,
  - (c) generovanie bielych nepravidelných škvŕn.
  - (d) generovanie drobných tmavých plôch.

4. Grafická úprava obrazu pred uložením.
5. Vytvorenie šablóny pre export poškodenia.
6. Uloženie výsledného odtlačku prsta.

## 5.5 Export generovaného poškodenia

Okrem generovania poškodení do syntetických odtlačkov prstov je aplikácia doplnená o možnosť exportu daného poškodenia. Aplikácia dokáže anotovať vygenerované poškodenie a následne je možný export týchto poškodení. Po vygenerovaní hlavných znakov poškodení sa jednotlivé vytvorené znaky extrahujú a uložia do súboru, v ktorom budú definované pozície a vlastnosti jednotlivých vytvorených subjektov daného poškodenia. Na prvom riadku súboru je vždy definovaný typ generovaného poškodenia, po ktorom na nasledujúcich riadkoch sú definované jednotlivé generované subjekty. Na jednom riadku sa vždy nachádza jeden generovaný objekt.

Pri generovaní prítlaku sa na prvom riadku súboru nachádza označenie **Pressure**. Dôležitým objektom pri generovaní poškodenia je elipsa, ktorej veľkosť závisí od intenzity poškodenia a oblasti odtlačku prsta, kde sa poškodenie generuje. Z toho dôvodu je v súbore zaznamenaný stredový bod elipsy **S**, dĺžka hlavnej poloosy **a** a dĺžka vedľajšej poloosy **b**, ktoré sú zobrazené na obrázku 5.8.



Obr. 5.8: Elipsa. Stred elipsy: S, hlavná poloos: a, vedľajšia poloos: b. Obrázok bol prevzatý a upravený z: [49].

Vlhkosť je v súbore označená na prvom riadku ako **Moisture**. Do súboru sú ukladané informácie o ploche, na ktorej sa poškodenie generuje, keďže táto vybraná oblasť je pri generovaní upravená a dochádza na nej ku zhrubnutiu papilárnych línií. V prípade vlhkosti je pri generovaní vybraných niekoľko menších plôch, ktoré vytvárajú celkovú plochu poškodenia. V súbore sú uložené všetky menšie poškodené plochy. Pri generovaní kombinácie poškodení spôsobené prítlakom a vlhkosťou sú v súbore definované obe poškodenia v poradí generovania jednotlivých poškodení.

Kožné ochorenie dishydróza sa označuje v súbore na prvom riadku **Dyshidrosis**. V exportovanom poškodení sú zaznamenané počiatočné a koncové body generovaných bielych čiar. Pri generovaní bielych škvŕn je dôležitá plocha, do ktorej sa poškodenie generuje. Preto je v súbore taktiež zaznamenaná plocha určená pre škvŕnu.

# Kapitola 6

## Implementácia

Táto kapitola popisuje postup implementácie algoritmov pre generovanie vybraných kožných ochorení navrhnutých v kapitole 5 a všetky nástroje a postupy použité pre implementáciu týchto algoritmov. V prvej kapitole 6.1 je popísaná implementácia grafického užívateľského prostredia, ktoré bolo navrhnuté a vytvorené pre aplikáciu. V druhej kapitole 6.2 je podrobnejšie popísaná trieda `BaseGenerator`, ktorá obsahuje metódy na spracovanie načítaného odtlačku prsta, ktoré sú nevyhnutné pred generovaním akéhokoľvek vybraného poškodenia. Okrem hlavnej triedy sú súčasťou implementácie aj ďalšie triedy, ktoré sú určené pre jednotlivé poškodenie. V kapitole 6.3 sa nachádza popis triedy `Pressure`, ktorá obsahuje metódy pre generovanie prejavov poškodenia spôsobené tlakom. Trieda `Moisture` sa využíva pre generovanie poškodení spôsobené vlhkosťou a je podrobnejšie popísaná v kapitole 6.4. Poslednou z týchto tried je `Dyshidrosis`, ktorej súčasťou sú metódy používané pri generovaní kožného ochorenia dishydrózy. Detailnejší popis metód sa nachádza v kapitole 6.5. V poslednej kapitole 6.6 je zobrazené kombinovanie implementovaných poškodení tlaku a vlhkosti, ku ktorému som dospela na základe pozorovania získaných odtlačkov prstov, na ktorých sa často nachádzala kombinácia práve týchto dvoch poškodení.

Aplikácia je implementovaná v jazyku C++ s využitím knižnice Computer Vision library OpenCV vo verzii 4.5.1. Použité funkcie z knižnice sa používajú pre úpravu a spracovanie obrazu. Aplikácia bola vyvíjaná vo vývojovom prostredí Visual Studio 2019 na platforme Windows 10. Pre vytvorenie grafického užívateľského rozhrania bola použitá knižnica Qt s verziou 5.12.

### 6.1 Grafické užívateľské rozhranie

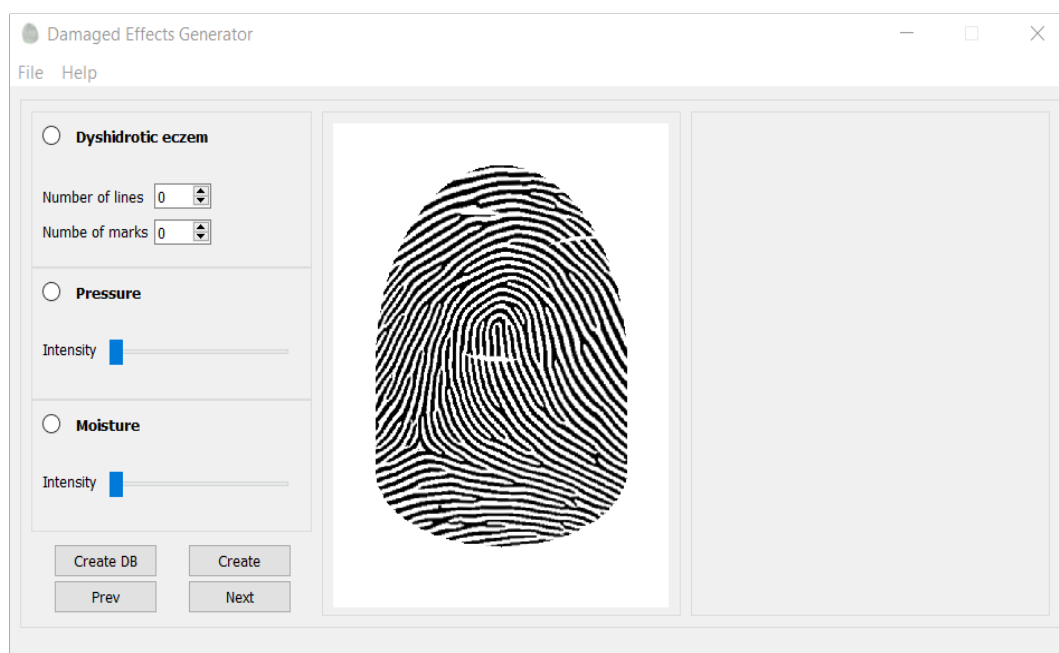
Pre lepšiu manipuláciu a prácu s generovaním poškodení bolo navrhnuté a implementované grafické užívateľské rozhranie. Na obrázku 6.1 je zobrazené hlavné okno aplikácie po načítaní obrázku odtlačku prsta. V triede `MainWindow` sa nachádzajú všetky metódy pre manipuláciu s grafickým užívateľským rozhraním.

Aplikácia umožňuje načítanie vstupného obrázku, do ktorého sa bude poškodenie generovať. K tomu slúži metóda `loadImage()`. Okrem toho je možné po vytvorení poškodenia daný snímok uložiť do zložky definovanej užívateľom pomocou metódy `saveImageFile()`.

Po načítaní snímku sa vybraný snímok zobrazí v hlavnom okne aplikácie. Následne si užívateľ môže vybrať typ poškodenia, ktoré chce generovať. Pri type poškodenia tlaku a vlhkosti si užívateľ môže nastaviť intenzitu poškodenia. V prípade, že užívateľ tento parameter nezadá, algoritmus pracuje ako náhodný generátor poškodenia a intezitu si zvolí náhodne.

Pri výbere generovania kožného ochorenia dishydrózy užívateľ môže nastaviť počet čiar a bielych veľkých škvŕn na odtlačku prsta. V opačnom prípade je nastavenie parametrov opäť náhodné. Aplikácia taktiež umožňuje vytvorenie niekoľkých snímkov naraz a vytvorí tak databázu odtlačkov prstov s daným poškodením. K tomu slúži metóda `openDatabase()`. Pre správne vytvorenie databázy užívateľ musí zadať typ poškodenia, počet snímkov a názov súboru pre výsledný poškodený obrázok odtlačku prsta, ktorý sa bude ukladať.

Okrem vytvorenia databázy aplikácia obsahuje možnosť prepínania nového rozloženia nastaveného poškodenia a taktiež návrat k predchádzajúcemu generovanému rozloženiu pri ponechaní generovaných nastavení pomocou metódy `clickedNext()` a `clickedBack()`. Poslednými metódami v tejto triede sú `exportFile()` a `writeCsvFile()`, pomocou ktorých sa uložia vygenerované jednotlivé znaky daného poškodenia do súboru. Súbor sa automaticky vytvorí po uložení poškodeného odtlačku prsta. Názov súboru bude totožný s názvom uloženého obrázka s poškodeným odtlačkom.

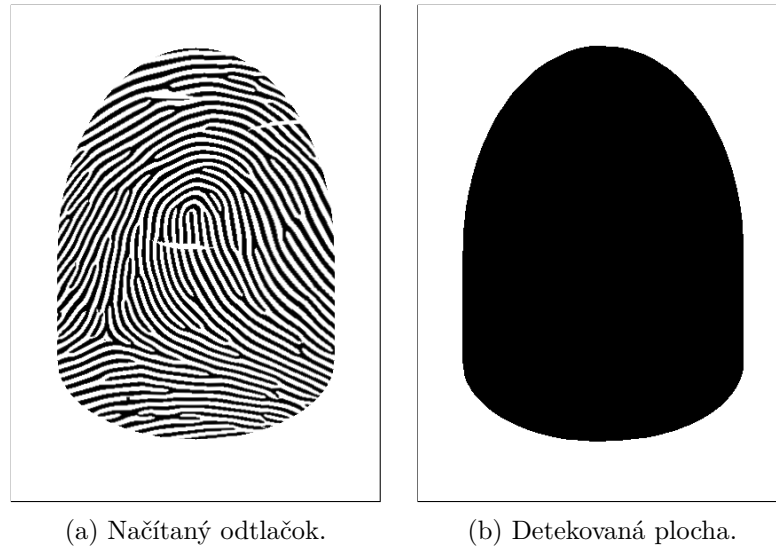


Obr. 6.1: Hlavné okno aplikácie po načítaní vstupného snímku.

## 6.2 BaseGenerator

Prvým krokom je načítanie vstupného snímku. Pred samotným generovaním je potrebné mať aspoň jeden obrázok odtlačku prsta, do ktorého sa bude vybrané poškodenie generovať. Po načítaní snímku, do ktorého sa bude poškodenie generovať sa ako prvé detekuje plocha odtlačku prsta. To sa prevedie pomocou metódy `prepareImage()`, v ktorej sa využívajú základné funkcie pre prácu s obrazom z knižnice OpenCV, ako `cvtColor()`, `threshold()`, `GaussianBlur()`, `findContours()`, `convexHull()` a `drawContours()`. Výsledný obraz s detekovanou plochou odtlačku prsta sa využíva pri procese generovania jednotlivých poškodení na overenie, aby sa vygenerované body nenachádzali mimo plochu odtlačku prsta. Na obrázku 6.2 je zobrazený príklad detekcie plochy odtlačku prsta.

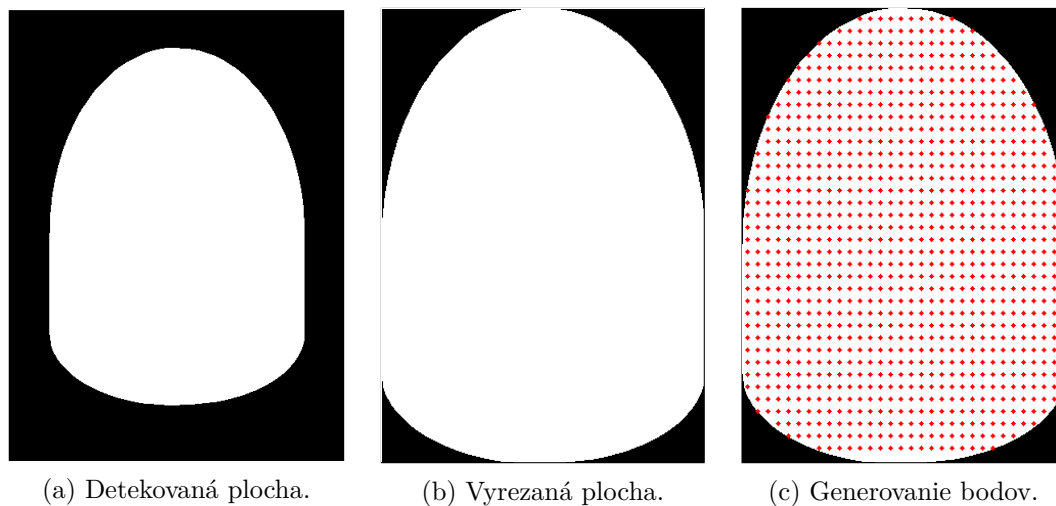
Okrem detekcie plochy odtlačku prsta je potrebné uložiť si súradnice bodov papilárnych línií. K tomu slúži metóda `findImageContour()`, ktorá má na vstupe načítaný vstupný sní-



Obr. 6.2: Detekcia plochy odtlačku prsta.

mok a vráti vektor bodov. Pre detekciu týchto súradníc bola použitá funkcia `findNonZero()` z knižnice OpenCV.

Pri generovaní poškodení tlaku je potrebné vytvoriť mriežku bodov po celej ploche odtlačku. K tomu slúži metóda `prepareImage()`, v ktorej sa na základe šírky a výšky plochy odtlačku prsta vygeneruje určitý počet bodov, ktoré sa neskôr budú používať. Ich konkrétne využitie pri generovaní poškodení spôsobené tlakom je bližšie popísané v kapitole 6.3. Na obrázku 6.3 je zobrazený postup určenia bodov pre detekovanú plochu. Pre lepšiu viditeľnosť boli výsledné body na obrázku 6.3c vykreslené červenou farbou.



Obr. 6.3: Generovanie bodov na detekovanú plochu syntetického odtlačku prsta.

Okrem generovania bodov sa v danej triede nachádza metóda `destroyPapillaryLine()`, ktorá slúži na drobné poškodenie papilárnych línií po celom odtlačku prsta. Druhou metódou na poškodenie papilárnych línií je `smallWhite()`, ktorá generuje drobné biele plochy, čím opäť dochádza k prerušeniu papilárnych línií. Poškodenie papilárnych línií sa využíva pri generovaní kožného ochorenia dishydrózy, ktoré je bližšie popísané v kapitole 6.5.

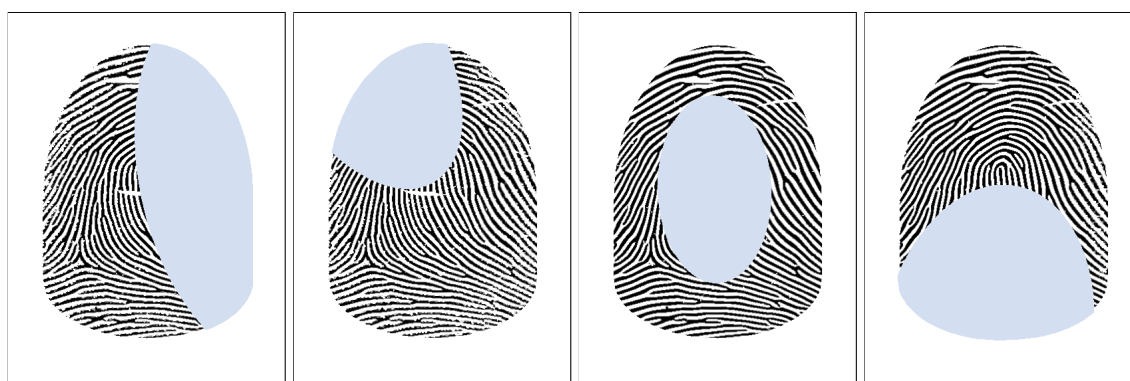


### 6.3 Generovanie tlaku

Proces generovania poškodenia prebieha v metóde `createPressure()`. Parametrami funkcie je vstupný obrázok, identifikátor náhodného generovania a intenzita tlaku. V prípade, že užívateľ nezadá konkrétnu hodnotu intenzity daného poškodenia, je hodnota intenzity zvolená náhodne. Proces generovania pozostáva zo štyroch hlavných krokov:

1. Výber oblasti pre generovanie prítlaku,
2. aplikovanie erózie na vybranú oblasť s rôznou intenzitou,
3. určenie oblasti menej viditeľných papilárnych línií,
4. aplikovanie dilácie na vybranú oblasť s rôznou intenzitou.

Pred procesom generovania hlavných znakov poškodenia spôsobené tlakom je potrebné zvoliť oblasť odtlačku prsta, kde sa bude poškodenie generovať. Celkovo bolo vytvorených 6 hlavných oblastí odtlačku prsta, kde sa poškodenie zvykne vyskytovať: ľavý okraj, pravý okraj, vrchný ľavý okraj, vrchný pravý okraj, stredná časť odtlačku prsta a spodná časť odtlačku. Na obrázku 6.4 sú zobrazené príklady hlavných oblastí výskytu poškodenia, ktoré sú vykreslené bledomodrou farbou.



(a) Pravá oblasť. (b) Vrchná ľavá oblasť. (c) Stredná oblasť. (d) Spodná oblasť.

Obr. 6.4: Príklad vybraných oblastí odtlačku prsta pre proces generovania prítlaku.

Ako už bolo spomenuté v predchádzajúcej kapitole, pre generovanie poškodenia tlaku sa používa vytvorená mriežka bodov po celej oblasti odtlačku prsta. Na základe zvolenej oblasti určenej pre poškodenie, algoritmus pracuje len s danou množinou bodov. Zvolená oblasť sa určí pomocou vykreslenej elipsy do pomocného obrázka, ktorý má šírku a výšku totožnú s obrázkom odtlačku prsta. Po okraji elipsy sú vykreslené drobné kružnice, aby bol dosiahnutý nepravidelnejší tvar vybratej oblasti. Veľkosť elipsy je priamo úmerná k veľkosti intenzity poškodenia.

Proces hrubnutia papilárnych línií prebieha v troch cykloch. Elipsa je pri opakovanom použití generovaná vždy s inými hodnotami parametrov. V prvom generovaní je elipsa najväčšia a postupne v každom cykle sa zmenšuje. V cykle sa určia body mriežky, ktoré pokrýva vykreslená elipsa a tie sa postupne predajú metóde `pressure()`, ktorá na jednotlivé body spolu s ich okolím aplikuje operáciu erózie. V metóde sa vyreže bod spolu s najbližším okolím. Vytvorí sa čierna maska s rozmermi totožnými výrezu, ktorá sa použije pri kopírovaní upraveného výrezu do pôvodného obrázku. Do masky sa vykreslí elipsa, ktorá je upravená

o pridané kružnice so stredom hraničných bodov elipsy s rôznym polomerom. Na výrez je potom aplikovaná erózia. Na záver je upravený výrez späť vložený do pôvodného obrázku. Tento proces sa zopakuje dovtedy, kým nie je aplikovaná erózia na všetky zvolené body s okolím vo vybranej oblasti. Čím vyššia intenzita poškodenia sa generuje, tým viackrát sa opätovne aplikuje erózia na niektoré vybrané body, aby bola znázornená potrebná intenzita prítlaku. Týmto procesom sa zabezpečí zároveň aj postupný prechod stmavovania a hrubnutia papilárnych línií.

Okrem generovania zhrubnutých a tmavších papilárnych línií sa využíva funkcia dilate() z OpenCV, ktorá naopak slúži k zjemneniu papilárnych línií. Keďže pri nerovnomernom prítlaku vznikajú miesta, na ktorých sú papilárne línie menej viditeľné, bolo potrebné tento znak generovať. K tomu slúži metóda makeDilate(). V prvom kroku sa označí okraj určitej hrúbky odtlačku prsta. K tomu sa používa funkcia erode(), po ktorej dostaneme zmenšenú plochu odtlačku prsta. Na rozdiel týchto dvoch plôch je aplikovaná operácia dilate(). Ku generovaniu bledších papilárnych línií sa využíva detekovaná oblasť s prítlakom, keďže dilácia je aplikovaná s najväčšou intenzitou na opačnú stranu odtlačku prsta, než sa nachádza vygenerovaný prítlak a postupne sa smerom ku oblasti s prítlakom jej intenzita znižuje. Na obrázku 6.5 je zobrazené porovnanie odtlačkov prstov z vytvorenej databázy s vygenerovanými snímkami s prítlakom.



Obr. 6.5: Výsledok generovania poškodenia spôsobené tlakom. V hornom riadku sa nachádzajú vlastné nasnímané snímky pomocou senzoru ZKTeco:Live10R. V spodnom riadku sa nachádzajú snímky, ktoré boli generované pomocou vytvorenej aplikácie.

## 6.4 Generovanie vlhkosti

Proces generovania poškodenia spôsobené vlhkosťou je v metóde `createMoisture()`. Parametrami funkcie je vstupný obrázok, identifikátor náhodného generovania a intenzita tlaku. Čím vyššia je intenzita poškodenia, tým silnejšie a rozsiahlejšie je zastúpenie plochy poškodenia. V prípade, že užívateľ nezadá konkrétnu hodnotu intenzity daného poškodenia, je hodnota intenzity zvolená náhodne. Proces generovania vlhkosti oproti tlaku pozostáva z menšieho počtu krokov. Avšak, výber oblastí odtlačku prsta, kde sa poškodenie generuje je zložitejší, keďže nám nestačí zvoliť len jednu oblasť, ale poškodenie je nerovnomerne rozložené takmer po celom odtlačku prsta. Proces generovania sa skladá z troch hlavných krokov:

1. Výber hlavnej oblasti pre generovanie vlhkosti,
  - (a) výber menších oblastí pre generovanie vlhkosti,
  - (b) aplikovanie erózie s rôznou intenzitou na menšie oblasti,
2. výber vedľajších oblastí pre generovanie vlhkosti,
3. aplikovanie erózie s rôznou intenzitou na vedľajšie oblasti.

Vlhkosť má oproti tlaku rozdielne rozloženie. Prvý krok po spustení metódy začína v metóde `randPoint()`, kde dochádza k výberu plochy, na ktorú sa bude časť poškodenia generovať. Na základe analýzy nasnímaných odtlačkov prstov sa vyberie najprv hlavná oblasť odtlačku prsta, do ktorej sa bude generovať niekoľko menších oblastí, kde stredový bod menšej plochy sa generuje náhodne pomocou `uniform()` metódy a rovníc 6.1, 6.2 a 6.3, kde  $r$  je vzdialenosť, do ktorej chceme body generovať a súradnice  $(x, y)$  reprezentujú stred hlavnej oblasti.

$$len = 2 \times \pi \times uniform() \quad (6.1)$$

$$theta = \sqrt{uniform()} \times r \quad (6.2)$$

$$\begin{aligned} x_{random} &= x + len \times \cos(theta) \\ y_{random} &= y + len \times \sin(theta) \end{aligned} \quad (6.3)$$

Okrem hlavných oblastí sa vyberajú vedľajšie oblasti, ktoré budú menšie a náhodne rozmiestnené po celom snímku odtlačku prsta.

Druhou dôležitou súčasťou generovania je vytvorenie zhrubnutých papilárnych línií a generovanie drobných čiernych škvŕn náhodne rozmiestnených po celej ploche odtlačku prsta. Postupne pre všetky vytvorené vybrané oblasti, ktoré sú určené pre generovanie znakov poškodenia, sa v metóde `moisture()` aplikuje na daný výrez operácia erózie, čím sa dosiahne efekt tmavších a hrubších papilárnych línií. Pri vysokej intenzite poškodenia je erózia aplikovaná na celú plochu odtlačku prsta. Taktiež sa v tejto metóde vytvorí prázdny obrázok s veľkosťou totožný vybranej plochy. Do prázdneho obrázku je generovaná elipsa, ktorá je upravená vykrojením drobných kružníc po jej obvodě. Takto vytvorený obrázok sa použije ako maska pri kopírovaní vybranej plochy do pôvodného odtlačku prsta. Na obrázku 6.6 sú zobrazené výsledky generovaného poškodenia spolu s obrázkami odtlačkov prstov z databázy pre porovnanie.



(a) Slabá intenzita.

(b) Silná intenzita.

Obr. 6.6: Výsledok generovania poškodenia spôsobené vlhkosťou s rôznou intenzitou poškodenia. V hornom riadku sa nachádzajú nasnímané vlastné snímky pomocou kapacitného senzoru ZKTeco:Live10R. V spodnom riadku sa nachádzajú snímky odtlačkov prstov, ktoré boli generované pomocou vytvorenej aplikácie.

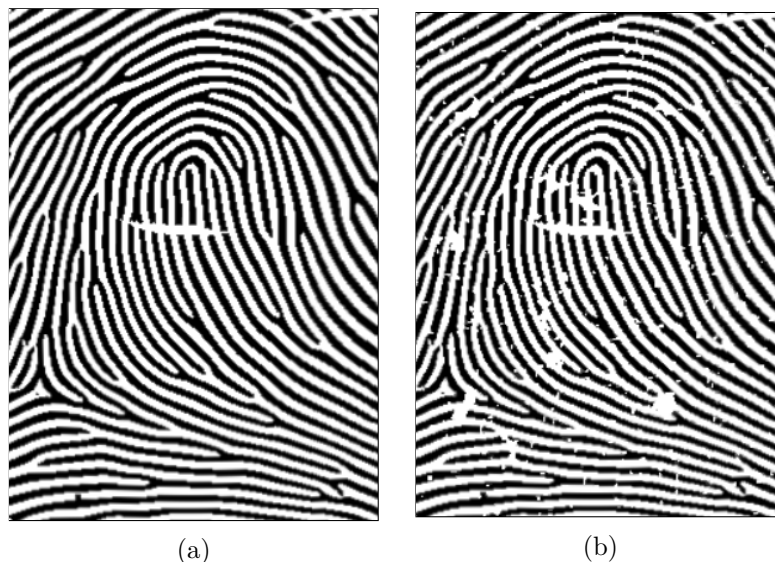
## 6.5 Vylepšenie generovania dishydrózy

Posledným typom poškodenia, ktoré bolo implementované, je kožné ochorenie dishydróza. Ide o vylepšenie už existujúcej metódy.

Proces generovania dishydrózy prebieha v metóde `createDishydrosis()`. Parametrami funkcie je vstupný obrázok, identifikátor náhodného generovania, počet čiar a počet veľkých bielych škvŕn. Prvým krokom je generovanie prerušení papilárnych línií. Drobné prerušenia sú generované pomocou vyrezania malého obdĺžnika s náhodnou šírkou a výškou v rozmedzí 3-7 pixelov z pôvodného načítaného snímku. Následne sa do výrezu generuje buď biela čiara s náhodnou dĺžkou a hrúbkou, alebo kružnica s náhodným stredom v tomto výreze. Na záver sa výrez rozmazá pomocou funkcie `medianBlur()` z knižnice OpenCV a vloží sa do obrázku odtlačku prsta. Prerušenie papilárnych línií nie je extrémne výrazné, aby nezaniikli hlavné znaky kožného ochorenia.

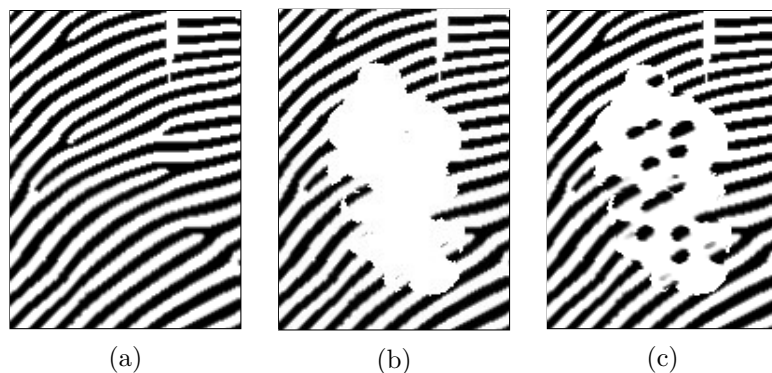
Aby bolo dosiahnuté čo najviac realisticky vyzerajúce zobrazenie prerušení papilárnych línií, tak sú vytvorené a generované aj malé biele škvŕny. Opäť sa pomocou definovaného obdĺžniku vyreže určitá časť z načítaného obrázku a vytvorí sa čierna maska s rozmermi

obdĺžnika. Do masky sa generuje elipsa, z ktorej sa postupne vykrajujú malé kružnice po jej obvodě, aby bol dosiahnutý nepravidelný tvar. Na záver sa detekuje vytvorený objekt, mierne sa rozmáže, skopíruje sa do výrezu a vloží sa do obrázku odtlačku prsta. Príklad prerušenia papilárnych línií je zobrazený na obrázku 6.7.



Obr. 6.7: Príklad generovania prerušení papilárnych línií odtlačku prsta: a) nepoškodený výrez odtlačku prsta; b) poškodený výrez odtlačku prsta generovaním drobných útvarov, ako čiar a kružníc.

Po vytvorení prerušení papilárnych línií dochádza v metóde `createMark()` ku generovaniu veľkých bielych škvŕn. Ich proces generovania je znázornený na obrázku 6.8. Na začiatku sa vyberie v metóde `selectArea()` oblasť náhodnej veľkosti, kde sa bude škvŕna generovať. Vytvorí sa čierna maska ku vybranej oblasti a vykreslí sa biela elipsa. Následne po obvodě elipsy sú vykreslené malé biele kružnice, aby bol dosiahnutý nepravidelný tvar škvŕny.



Obr. 6.8: Generovanie bielych škvŕn: a) výber plochy pre generovanie; b) generovanie bielej škvŕny; c) generovanie drobných čiernych objektov.

Súčasťou tvorby týchto škvŕn je aj tvorba drobných tmavých útvarov v bielych veľkých škvŕnách, ktoré boli vytvorené pomocou generovania malých čiernych kruhov na plochu bielej škvŕny. Týmto sa zabezpečí zachovanie malých častí papilárnych línií v oblasti bielej škvŕny. Následne aplikujeme morfológickú operáciu erózie na výrez pomocou funkcie `erode()`

z knižnice openCV, čím sa dosiahne finálna podoba veľkých škvŕn. Celý cyklus sa opakuje dovtedy, kým je vygenerovaný dostatočný počet veľkých škvŕn.

Ďalším hlavným znakom kožného ochorenia dishydróza sú biele čiary, ktoré môžu smerovať do rôznych smerov. Celý postup generovania čiar je súčasťou metódy `createLine()`. Generovanie čiar v tejto práci nebolo upravené a proces generovania bol prevzatý z pôvodného riešenia. Princíp generovania čiar je popísaný v kapitole 4.2.7.

Pre porovnanie skutočných a vytvorených odtlačkov prstov poškodených kožným ochorením dishydróza slúži nasledujúci obrázok. Na obrázku 6.9 sú zobrazené príklady generovania ochorenia dishydrózy spolu so snímkami odtlačkov prstov s kožným ochorením dishydróza z databázy od výskumnej skupiny STRaDe.



Obr. 6.9: Výsledok generovania dishydrózy. V hornom riadku sa nachádzajú snímky z databázy výskumnej skupiny STRaDe. V spodnom riadku sa nachádzajú snímky, ktoré boli generované pomocou vytvorenej aplikácie.

## 6.6 Kombinácia tlaku a vlhkosti

Vytvorená aplikácia taktiež umožňuje možnosť kombinovať jednotlivé implementované poškodenia spôsobené prítlakom alebo vlhkosťou a vytvárať tak odtlačky prstov, ktoré obsahujú obidve poškodenia zároveň. Poradie generovania jednotlivých poškodení pri tvorbe takýchto odtlačkov prstov je rozhodujúce. Je potrebné, aby sa poškodenie spôsobené prítlakom generovalo ako prvé, keďže vlhkosť vytvára tmavé nepravidelné miesta, ktoré po vplyve

tlaku nevyzerajú správne. Na obrázku 6.10 sa nachádzajú takto vytvorené snímky odtlačkov prstov. Pre lepšie porovnanie sú na obrázku taktiež zobrazené skutočné získané odtlačky prstov súčasne s obidvomi poškodeniami.



Obr. 6.10: Výsledok generovania kombinácie tlaku a vlhkosti. V hornom riadku sa nachádzajú nasnímané vlastné snímky pomocou kapacitného senzoru ZKTeco:Live10R. V spodnom riadku sa nachádzajú snímky, ktoré boli generované pomocou vytvorenej aplikácie. Prvým generovaným poškodením na oboch snímkoch bol prítlak, následne vlhkosť.

# Kapitola 7

## Testovanie

Po implementácii navrhnutej aplikácie pre generovanie poškodení do odtlačkov prstov bolo potrebné vyhodnotiť jej funkčnosť a analyzovať jej schopnosti. Pre testovanie boli zvolené dva nástroje. Nástroj VeriFinger, ktorý porovnáva obrázky jednotlivých odtlačkov prstov a vracia skóre porovnania. Druhý použitý nástroj je FiQiVi, ktorý určuje kvalitu odtlačku. Táto kapitola podrobne popisuje dátové sady, ktoré boli pre testovanie vytvorené a celkový priebeh testovania s dosiahnutými výsledkami.

### 7.1 Dátové sady

Pre testovanie dosiahnutých výsledkov bolo celkovo vytvorených 19 dátových sád, z ktorých každá sada obsahuje sto obrázkov odtlačkov prstov. Prvá dátová sada obsahuje nepoškodené syntetické odtlačky prstov z generátora SFinGe, ktoré boli získané po štvrtom kroku generovania, aby sa na nich nenachádzali žiadne generované poškodenia.

Deväť dátových sád obsahuje odtlačky s prítlakom. Z nich prvých šesť sád obsahuje poškodenie spôsobené tlakom s nízkou intenzitou poškodenia s rôznym umiestnením tlaku na odtlačku prsta. V prvej z týchto sád sa nachádza prítlak na ľavej alebo pravej strane odtlačku. Druhá sada obsahuje odtlačky s prítlakom v strednej časti. V tretej sade sa nachádza prítlak na vrchnej časti odtlačku. Štvrtá sada obsahuje odtlačky s prítlakom v spodnej časti. V piatej dátovej sade sa nachádzajú odtlačky s prítlakom v ľavej alebo pravej hornej časti odtlačku. Šiesta sada obsahuje odtlačky s nedefinovanou polohou prítlaku.

V prípade testovania poškodenia vlhkosti boli vytvorené tri dátové sady. Prvá dátová sada bola určená pre odtlačky s nízkou úrovňou intenzity poškodenia. V druhej sade sa nachádzajú odtlačky prstov so strednou úrovňou intenzity poškodenia. Tretia sada je určená pre vysoký stupeň intenzity poškodenia.

Pre dishydózu boli taktiež vytvorené tri dátové sady. Prvá sada pozostáva z odtlačkov prstov s nízkou intenzitou poškodenia. Pri generovaní poškodenia bola generovaná jedna biela škvrna a tri biele čiary. Druhá sada obsahuje odtlačky prstov so strednou úrovňou intenzity poškodenia, ktorá bola získaná generovaním dvoch bielych škvŕn a šiestich bielych čiar. Tretia dátová sada bola vytvorená z odtlačkov prstov s vysokou intenzitou poškodenia. Generovali sa tri biele škvrny a desať čiar.

Pre kombináciu poškodení tlaku a vlhkosti sú určené tri dátové sady odtlačkov prstov. Pre jednotlivé úrovne intenzity poškodenia slúži jedna sada. Ako prvé bolo do odtlačkov generované poškodenie spôsobené prítlakom a následne poškodenie spôsobené vlhkosťou.



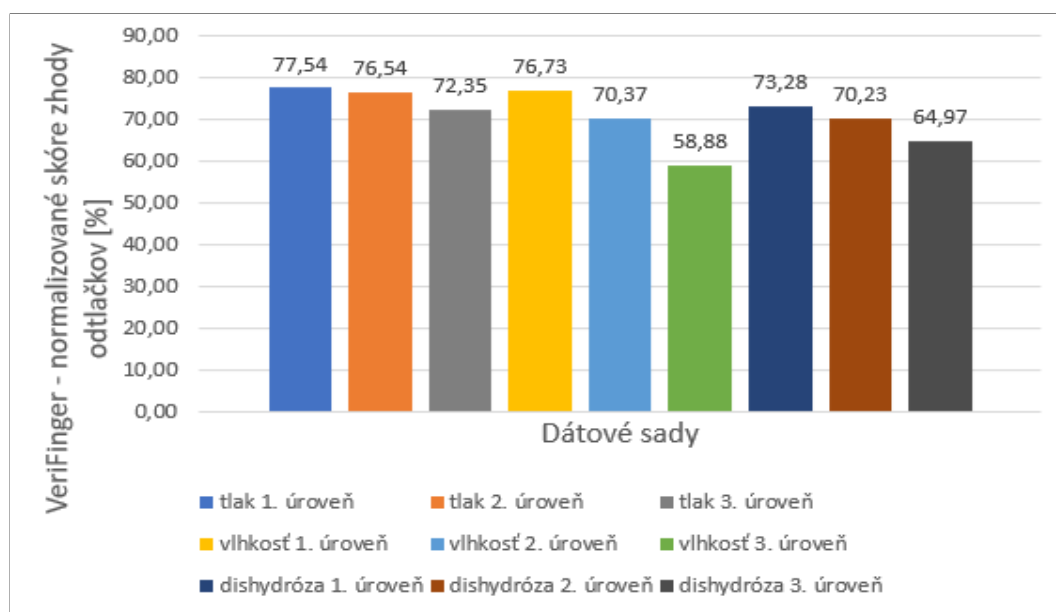
## 7.2 Vyhodnotenie testovania

Výsledky testovania snímok s poškodením v jednotlivých dátových sádach sú zobrazené v tabuľke 7.1. V tabuľke je uvedené priemerné skóre z vyhodnotenia jednotlivých dátových sád pomocou nástroja VeriFinger, ktorý identifikuje a verifikuje odtlačky prstov ku databáze, ktorá je tvorená nepoškodenými odtlačkami prstov. Výsledkom porovnania dvoch odtlačkov prstov je skóre, ktoré určuje zhodu odtlačkov prstov. Ďalšími uvedenými informáciami v tabuľke je maximálne a minimálne skóre v každej dátovej sade.

Sada	Poškodenie	Priemer	Norm. priemer	Minimum	Maximum
1	-	829,0	100,00 %	829	829
2	tlak 1. úroveň	642,1	77,54 %	619	661
3	tlak 2. úroveň	634,5	76,54 %	618	650
4	tlak 3. úroveň	599,8	72,35 %	495	622
5	vlhkosť 1. úroveň	636,1	76,73 %	608	703
6	vlhkosť 2. úroveň	583,4	70,37 %	539	642
7	vlhkosť 3. úroveň	488,1	58,88 %	395	530
8	dishydróza 1	607,5	73,28 %	544	655
9	dishydróza 2	570,9	70,23 %	503	634
10	dishydróza 3	536,1	64,97 %	434	591

Tabuľka 7.1: Štatistické vyhodnotenie testovania - nástroj VeriFinger.

Na základe získaných výsledkov z nástroja VeriFinger bol vytvorený graf kvality obrázkov odtlačkov s rozdielnym poškodením v jednotlivých dátových sádach, ktorý je zobrazený na obrázku 7.1.

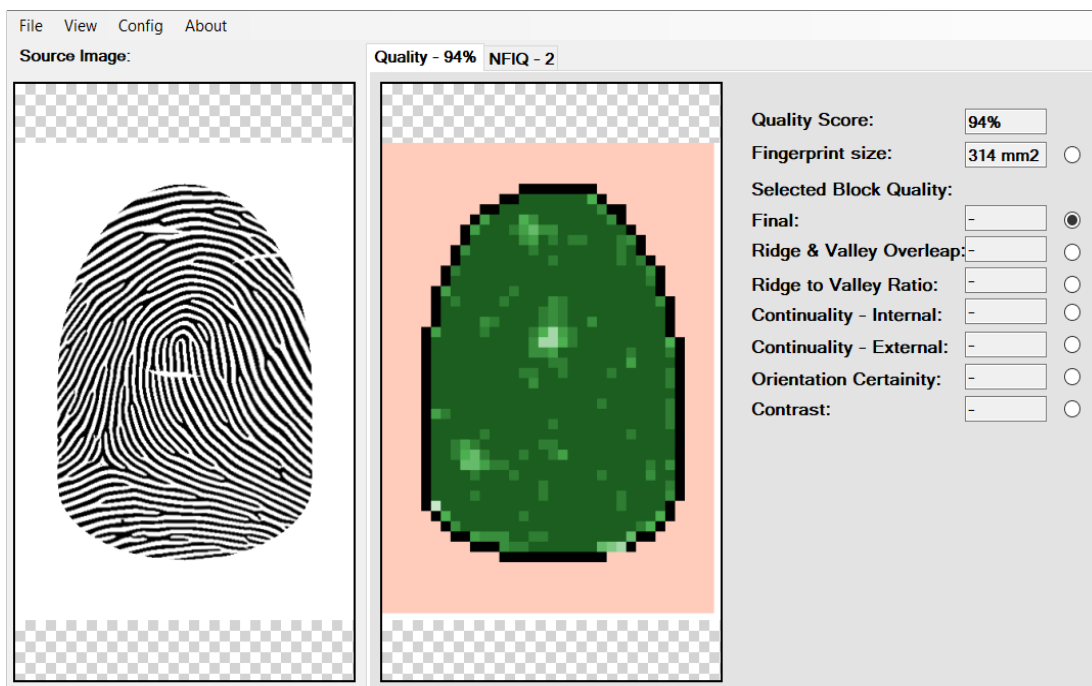


Obr. 7.1: Grafické znázornenie hodnôt skóre odtlačkov prstov v deviatich rôznych vytvorených dátových sádach s rôznymi generovanými poškodeniami. Kvalita odtlačkov prstov je určená nástrojom VeriFinger.

Pred generovaním poškodenia do odtlačku prsta bolo potrebné zistiť skóre zhody nepoškodeného odtlačku prsta. V prvom riadku tabuľky 7.1 je uvedené priemerné skóre, ktoré bolo získané pri porovnaní nepoškodeného odtlačku prsta. Následne bolo spustené meranie skóre odtlačkov vo vytvorených sadoch. Zo získaných hodnôt bolo vypočítané v percentách poškodenie odtlačku oproti nepoškodenému odtlačku.

Výsledky ukazujú, že generovanie implementovaných poškodení negatívne ovplyvňuje kvalitu odtlačku prsta. Z tabuľky 7.1 vyplýva, že najväčší vplyv na kvalitu odtlačku prsta má vlhkosť s najvyššou intenzitou poškodenia. Zhoda odtlačku sa znížila na 58,88 %. Je to spôsobené najväčším zakrytím a poškodením plochy odtlačku prsta. Vlhkosť sa taktiež často generuje do stredu odtlačku prsta, kde dochádza k zakrytiu veľkého množstva markantov. Druhá najnižšia zhoda bola nameraná pri poškodení spôsobené dishydrózou, ktoré generovalo tri biele škvrny a desať čiar. Výsledná zhoda dosiahla hodnotu 64,97 %. Naopak, najnižší pokles v zhode spôsobilo poškodenie prítlaku s nízkou a strednou intenzitou poškodenia, ktoré dosiahlo zhodu 77,54 % a 76,54 %. Podobná zhoda bola zaznamenaná aj pri generovaní poškodenia vlhkosti s nízkou intenzitou. Priemerná hodnota zhody sa takmer rovnala k priemerným hodnotám tlaku. Dosahovala hodnotu zhody 76,73 %. V prípade kožného ochorenia dishydrózy kvalita odtlačku prsta klesá s rastúcim sa počtom generovaných bielych škvŕn, čo sa dalo očakávať.

Druhým použitým nástrojom pri testovaní je FiQiVi. Na obrázku 7.2 je zobrazené hlavné okno aplikácie. Na obrázku je znázornené vyhodnocovanie kvality nepoškodeného odtlačku prsta. Kvalita vyobrazeného odtlačku prsta je 94 %.



Obr. 7.2: Hlavné okno nástroja FiQiVi.

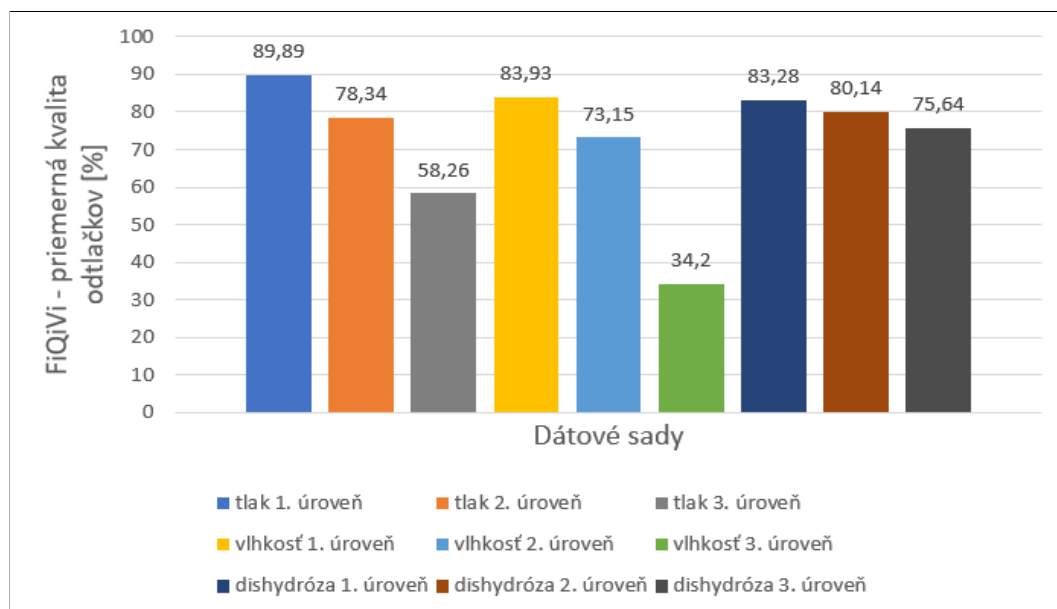
V tabuľke 7.2 sú uvedené priemerné hodnoty kvality odtlačkov v jednotlivých dátových sadoch získané týmto nástrojom. Ďalšími informáciami v tabuľke sú maximálne a minimálne dosiahnuté kvality v každej dátovej sade. Grafická reprezentácia tabuľky je vyobrazená na obrázku 7.3.

Sada	Poškodenie	Priemer	Minimum	Maximum
1	-	96,00 %	92 %	98 %
2	tlak 1. úroveň	89,89 %	77 %	94 %
3	tlak 2. úroveň	78,34 %	67 %	93 %
4	tlak 3. úroveň	58,26 %	39 %	86 %
5	vlhkosť 1. úroveň	83,93 %	78 %	91 %
6	vlhkosť 2. úroveň	73,15 %	64 %	81 %
7	vlhkosť 3. úroveň	34,20 %	27 %	43 %
8	dishydryza 1	83,28 %	78 %	90 %
9	dishydryza 2	80,14 %	72 %	89 %
10	dishydryza 3	75,64 %	60 %	86 %

Tabuľka 7.2: Štatistické vyhodnotenie testovania - nástroj FiQiVi.

V prvom riadku tabuľky sa nachádza kvalita nepoškodeného odtlačku prsta. Priemerná kvalita takéhoto odtlačku dosiahla hodnotu 96 %.

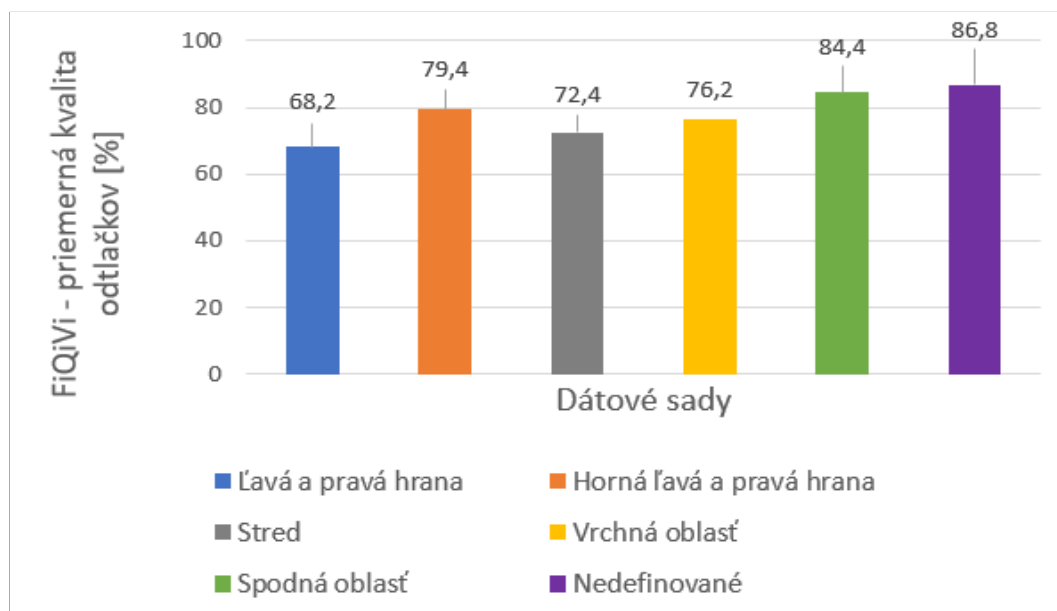
Výsledky taktiež ukazujú, že generovanie implementovaných poškodení negatívne ovplyvňuje kvalitu odtlačku prsta, keďže sa v každej dátovej sade oproti nepoškodenému odtlačku prstu znížila priemerná kvalita, čím sa potvrdili očakávania. Z tabuľky 7.2 vyplýva, že najväčší vplyv na kvalitu odtlačku prsta má vlhkosť generovaná s najvyššou intenzitou poškodenia. Kvalita odtlačku výrazne klesla na 34,2 %. Naopak, najnižší pokles v kvalite poškodeného odtlačku spôsobilo poškodenie prítlaku s nízkou intenzitou poškodenia, tak ako tomu bolo aj pri nástroji VeriFinger. Kvalita takto poškodených odtlačkov prstov klesla na 89,89 %. Druhý najnižší pokles bol nameraný pri poškodnej vlhkosti s prvou úrovňou intenzity poškodenia s hodnotou kvality 83,93 %. Tesne za vlhkosťou sa nachádza dishydryza prvej úrovne intenzity s kvalitou 83,28 %.



Obr. 7.3: Grafické znázornenie kvality odtlačkov prstov vo vytvorených dátových sádach. Kvalita odtlačkov prstov je určená nástrojom FiQiVi.

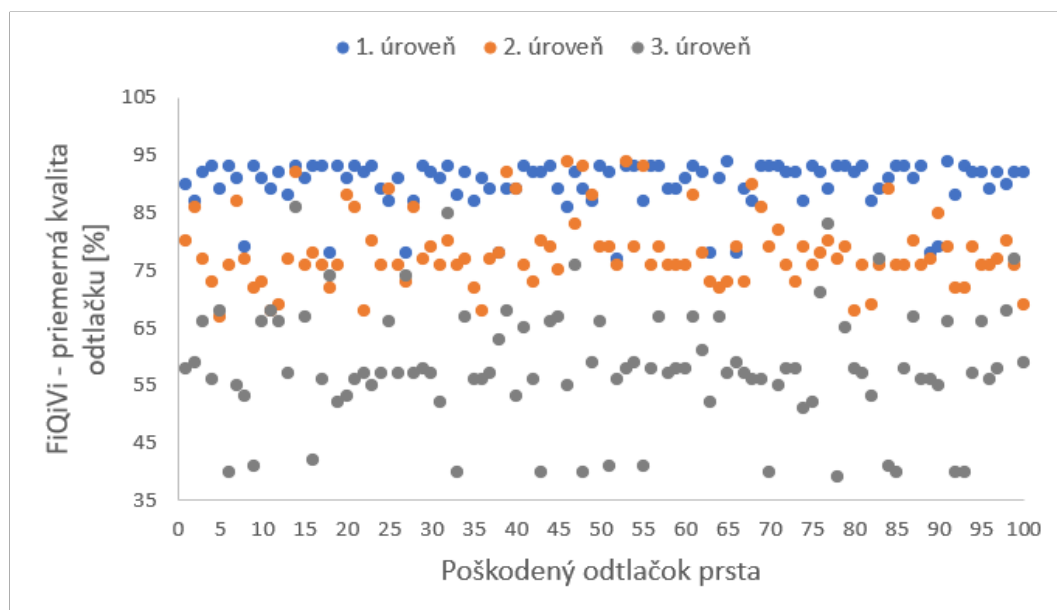
V rámci generovania nízkej úrovne intenzity poškodenia kvalita najviac klesla pri generovaní kožného ochorenia dishydrózy a dosiahla priemernú hodnotu 83,28 %. Je to spôsobené generovaním niekoľkých bielych oblastí na plochu odtlačku prsta, kde kvalita daných oblastí je nižšia. V prípade generovania strednej intenzity poškodenia kvalita sa najviac znížila pri generovaní vlhkosti, kde priemerná hodnota kvality klesla na 73,15 %. Pri vysokej intenzite poškodenia kvalita výrazne klesla pri vlhkosti, a to na 34,2 %. Pri všetkých generovaných poškodeniach kvalita odtlačku klesá s rastúcou intenzitou poškodenia.

Vytvorená aplikácia umožňuje generovať poškodenie prítlaku na špecifikovanú oblasť odtlačku prsta. Pre testovanie bolo vytvorených šesť dátových sád pre otestovanie tejto funkcionality. Na obrázku 7.4 je graficky znázornené porovnanie kvality odtlačkov prstov s aplikovaním prítlaku na špecifickú oblasť odtlačku. Z grafu je vidieť, že najväčší vplyv na kvalitu odtlačku má prítlak generovaný na ľavú a pravú stranu odtlačku prsta, kde kvalita klesla na 68,2 %. Pri nedefinovaní špecifickej oblasti odtlačku a náhodnom zvolení plochy pre generovanie poškodenia sa kvalita odtlačku znížila najmenej. Kvalita odtlačku klesla na 86,8 %. Podobne sa znížila kvalita odtlačku aj pri generovaní prítlaku na spodnú časť odtlačku, a to na 84,4 %. Zvyšné tri oblasti na odtlačku prsta určených pre generovanie poškodenia majú podobné znížené kvality odtlačku v rozmedzí od 72,4 % do 79,4 %.



Obr. 7.4: Grafické znázornenie kvality odtlačkov prstov pri generovaní poškodenia na konkrétnu oblasť odtlačku. Kvalita odtlačkov prstov je určená nástrojom FiQiVi.

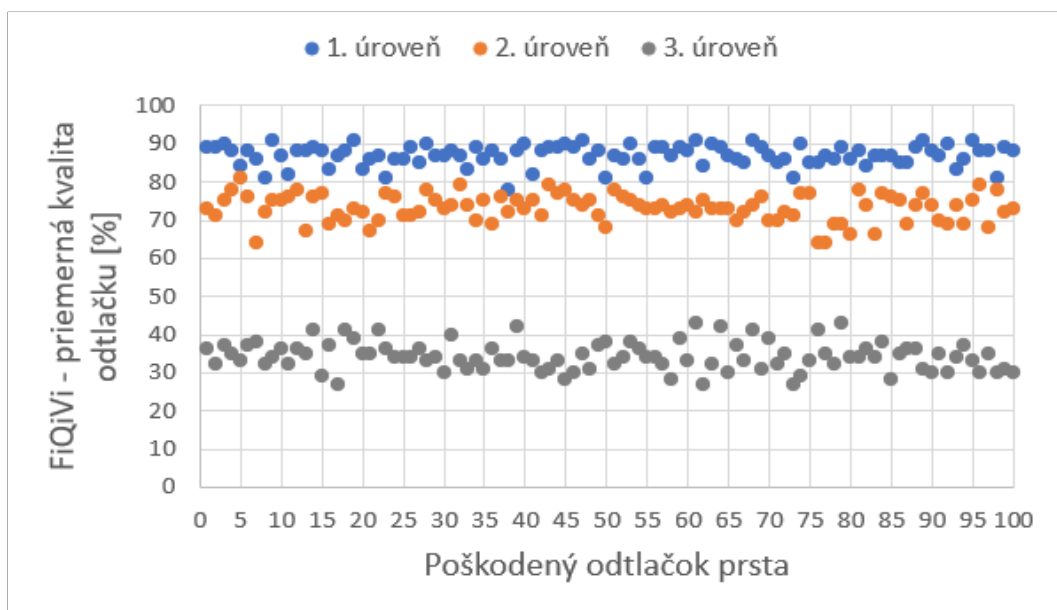
Kvalita odtlačkov prstov v dátových sádach obsahujúcich poškodenie prítlaku jednotlivých úrovní intenzity poškodenia je podrobnejšie znázornená na obrázku 7.5. Na grafe je zobrazená nameraná kvalita všetkých snímok odtlačkov vo všetkých troch dátových sádach. Je vidieť, ako sa hodnoty kvality jednotlivých sád mierne prelínajú. Na grafe je vidieť, že kvalita odtlačku prsta sa znižuje s narastajúcou intenzitou generovaného poškodenia, čo sa dalo predpokladať, keďže čím vyššia intenzita poškodenia sa generuje, tým väčšia časť odtlačku prsta je poškodená. Najvyššia dosiahnutá kvalita odtlačku je 94 % a bola nameraná v dátovej sade obsahujúcej odtlačky s generovaným poškodením s najnižšou úrovňou intenzity poškodenia. Pri najvyššej intenzite poškodenia získaná kvalita odtlačku v niektorých prípadoch klesla až na hodnotu 39 %.



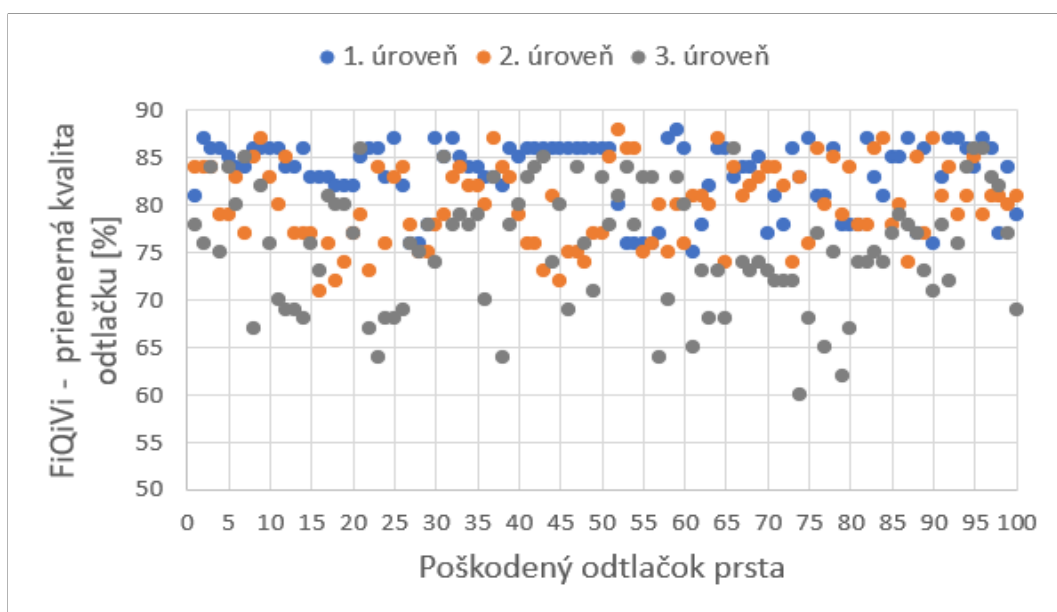
Obr. 7.5: Grafické znázornenie kvality poškodených odtlačkov prstov tlakom s tromi rôznymi úrovňami intenzity poškodenia: nízka, stredná a vysoká intenzita. Kvalita odtlačkov prstov je určená nástrojom FiQVi.

Podobne ako pri tlaku, tak aj pri vlhkosti sa kvalita odtlačku znižuje s rastúcou sa intenzitou poškodenia. Získaná kvalita všetkých odtlačkov prstov v dátových sádach s odtlačkami, ktoré sú poškodené vlhkosťou s nízkou (1. úroveň), strednou (2. úroveň) a vysokou (3. úroveň) intenzitou poškodenia je znázornená na obrázku 7.6. Pri nízkej úrovni poškodenia bola nameraná minimálna kvalita odtlačku 78 % a maximálna 91 %. V prípade strednej úrovni poškodenia minimálna kvalita klesla na 64 % a maximálna na 81 %. Čo sa týka poslednej, najvyššej intenzity poškodenia, tak kvalita odtlačku výrazne klesla. Najnižšia získaná hodnota je 27 % a najväčšia v tejto dátovej sade je 43 %. Na obrázku 7.6 je jasne vidieť, ako sa kvalita odtlačku pri generovaní najvyššej intenzity poškodenia výrazne zhoršila oproti nízkej a strednej intenzite generovaného poškodenia. Taktiež na rozdiel od poškodenia spôsobené tlakom sa pri vlhkosti kvalita odtlačkov prstov medzi jednotlivými sádami navzájom takmer neprekrýva.

Na obrázku 7.7 je znázornená kvalita odtlačkov prstov poškodených posledným vybraným typom poškodenia, kožným ochorením dishydrózou. Jednotlivé dátové sady obsahujú poškodené odtlačky prstov s rôznou intenzitou poškodenia: nízka (1. úroveň), stredná (2. úroveň) a vysoká (3. úroveň) intenzita. Celková kvalita výsledných poškodených odtlačkov sa nachádza v rozmedzí 60-90 %. Najnižšia nameraná kvalita odtlačku pri nízkej intenzite generovania poškodenia je 78 % a maximálna dosiahnutá kvalita je 90 %, podobne ako pri vlhkosti. V druhej dátovej sade s odtlačkami prstov, do ktorých sa generovala dishydróza so strednou intenzitou poškodenia, minimálna kvalita odtlačku klesla na 72 % a najväčšia dosiahnutá kvalita je 89 %. Pri poslednej dátovej sade s najvyššou intenzitou generovaného poškodenia je kvalita odtlačkov najhoršia. Minimálna nameraná hodnota je 60 % a maximálna hodnota kvality dosiahla 86 %. Na základe zobrazeného grafu je vidieť, ako sa kvality odtlačkov prstov jednotlivých dátových sád navzájom prekrývajú, tak ako to bolo pri tlaku.

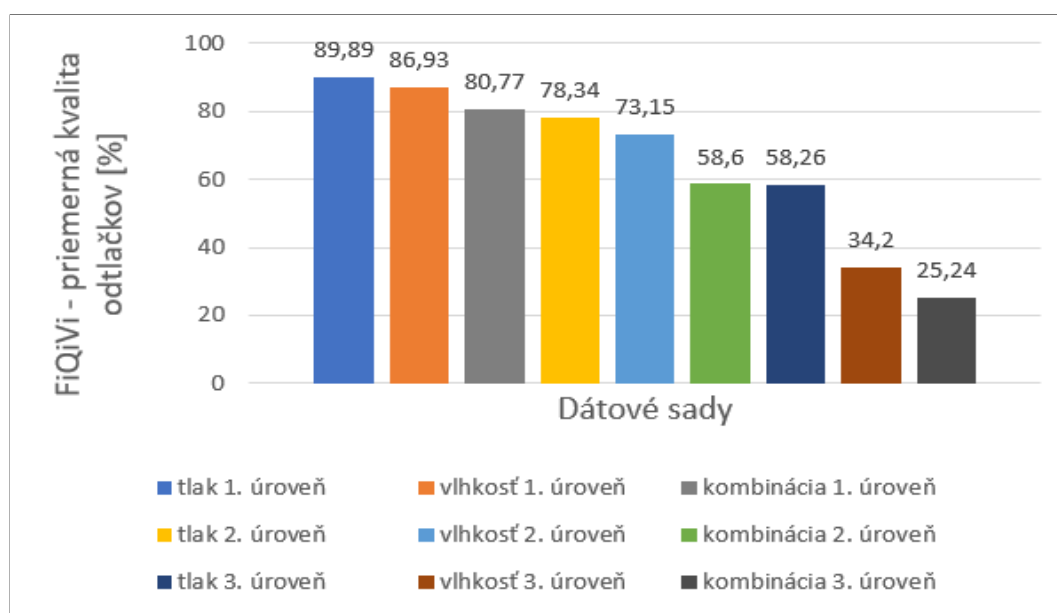


Obr. 7.6: Grafické znázornenie kvality poškodených odtlačkov prstov vlhkosťou s tromi rôznymi úrovňami intenzity poškodenia: nízka, stredná a vysoká intenzita. Kvalita odtlačkov prstov je určená nástrojom FiQiVi.



Obr. 7.7: Grafické znázornenie kvality poškodených odtlačkov prstov kožným ochorením dishydózou v troch vytvorených dátových sadách pre tri rôzne úrovne intenzity poškodenia: nízka, stredná a vysoká intenzita. Kvalita odtlačkov prstov je určená nástrojom FiQiVi.

Na obrázku 7.8 je vykreslený graf, ktorý zobrazuje porovnanie priemernej kvality odtlačkov prstov ovplyvnenej jedným generovaným poškodením s generovaním kombinácie dvoch poškodení. Pri kombinácii s dvomi generovanými poškodeniami sa priemerná kvalita najviac zhoršila pri všetkých troch rôznych úrovniach intenzity poškodenia, čím sa splnili očakávania. Priemerná kvalita odtlačku pri generovaní najnižšej úrovni poškodenia najviac klesla pri kombinácii oboch poškodení, a to na 80,77 %. Priemerná kvalita odtlačkov s nízkou intenzitou poškodenia spôsobené tlakom klesla na hodnotu 89,89 % a pri vlhkosti kvalita klesla na 86,93 %. Pri strednej úrovni poškodenia priemerná kvalita odtlačku opäť najviac klesla pri kombinácii oboch poškodení. Rozdiel v kvalite oproti tlaku je 19,74 % a oproti vlhkosti 14,55 %. Pri najvyššej úrovni poškodenia je priemerná kvalita odtlačkov prstov najviac ovplyvnená kombináciou tlaku a vlhkosti s nameranou hodnotou kvality 25,24 %. Oproti tlaku je to zníženie kvality až o 33,02 %. S menším rozdielom za priemernou hodnotou kvality pri kombinácii nasleduje vlhkosť, kde priemerná kvalita odtlačkom klesla na 34,2 %.



Obr. 7.8: Grafické znázornenie kvality odtlačkov prstov poškodené tlakom a vlhkosťou a kombináciou týchto dvoch poškodení. Kvalita odtlačkov prstov je určená nástrojom FiQVi.

### 7.3 Zhrnutie výsledkov

Vytvorené odtlačky prstov boli otestované pomocou nástroja VeriFinger, ktorý porovnáva zhodu medzi dvomi odtlačkami a vracia hodnotu skóre miery zhody. Pred testovaním poškodených odtlačkov bolo potrebné zmerať skóre zhody nepoškodeného odtlačku prsta, na základe ktorej mohlo byť ďalej určené percentuálne skóre zhody pôvodného odtlačku prsta s vygenerovaným poškodeným snímkom. Priemerné skóre zo samostatne generujúcich poškodení najviac kleslo pri poškodení vlhkosti s vysokou intenzitou poškodenia, kde bolo dosiahnuté skóre zhody 58,88 %. Najmenej skóre kleslo pri generovaní poškodenia tlaku s nízkou a strednou intenzitou poškodenia s dosiahnutými hodnotami 77,54 % a 76,54 %.

Podobnú nameranú zhodu malo aj poškodenie spôsobené vlhkosťou s nízkou intenzitou poškodenia, a to 76,73 %.

Odtlačky prstov boli otestované aj pomocou nástroja FiQivi, ktorý určuje kvalitu odtlačku prsta. Kvalitu odtlačku prstov najviac ovplyvnilo pri nízkej úrovni poškodenia kožné ochorenie dishydóza, kde priemerná kvalita odtlačku klesla na 83,28 %. Pri generovaní strednej intenzity poškodenia priemerná kvalita odtlačku najviac klesla pri poškodení spôsobenom vlhkosťou, a to na 73,15 %. Pri vysokej intenzite generovaného poškodenia priemerná kvalita výrazne klesla opäť pri vlhkosti, na 34,2 %. V prípade generovania kombinácie poškodení spôsobené tlakom a vlhkosťou sa kvalita odtlačku oproti samostatne generovaným poškodeniam zhoršila, čo splnilo očakávania. Taktiež bolo zistené, že pri generovaní tlaku má najvyšší vplyv na kvalitu pozícia poškodenia na ľavej a pravej strane odtlačku, pričom najnižší vplyv nastal pri náhodne umiestnenom prítlaku na plochu odtlačka prsta.



# Kapitola 8

## Záver

Hlavným cieľom tejto práce bolo navrhnuť a implementovať aplikáciu, ktorá generuje do syntetických odtlačkov prstov hlavné znaky troch vybraných poškodení ovplyvňujúce kvalitu odtlačkov prstov. Za týmto účelom bolo najskôr potrebné získať požadované vedomosti z oblasti rozpoznávania podľa odtlačkov prstov a syntetického generovania odtlačkov prstov. Taktiež bolo potrebné zoznámiť sa s existujúcimi poškodeniami, ktoré ovplyvňujú výslednú kvalitu získaného odtlačku prsta. Získané znalosti sú prezentované v kapitolách 2, 3 a 4.

Pre prácu boli vybrané tri poškodenia: vlhkosť, prítlak a kožné ochorenie dishydróza. V prípade dishydrózy išlo o vylepšenie už existujúcej metódy. Pre analýzu bola použitá databáza obrázkov odtlačkov prstov poskytnutých výskumnou skupinou STRaDe so snímkami odtlačkov prstov poškodené rôznymi kožnými ochoreniami, a teda sa tam nachádzali aj snímky odtlačkov prstov s dishydrózou.

Pre analýzu a návrh poškodení vplyvom vlhkosti a tlaku bolo nutné vytvoriť vlastnú databázu, ktorá bola vytvorená nad rámec zadania. Na základe získaných poznatkov boli navrhnuté algoritmy pre implementáciu metód na ich generovanie do syntetických odtlačkov prstov. Taktiež bolo vykonané vzájomné porovnanie rozloženia poškodení tlaku a vlhkosti a spôsob výberu plochy odtlačku prsta pre generovanie prerušených papilárnych línií.

Navrhnuté algoritmy boli implementované s využitím programovacieho jazyka C++ spolu s knižnicami OpenCV a Qt. Pre testovanie bolo vytvorených 19 dátových sád, kde každá sada obsahuje sto odtlačkov. Pre vyhodnotenie sa použili odtlačky prstov získané z generátora SFinGe. Výsledky ukázali, že najväčší vplyv na kvalitu odtlačku má vlhkosť s najvyššou intenzitou poškodenia, kde kvalita odtlačku klesla na 34,2 %. Pri generovaní tlaku má najvyšší vplyv na kvalitu pozícia poškodenia na ľavej a pravej strane odtlačku s nameranou kvalitou 68,2 %. Taktiež bolo dokázané, že kombinácia dvoch poškodení má výraznejší vplyv na kvalitu odtlačku než generovanie samostatných poškodení. Rozdiel kvality kombinácie a samostatného generovania prítlaku a vlhkosti sa najviac znížil pri generovaní najvyššej intezity poškodenia s kvalitou 25,24 %.

Všetky body zadania boli splnené. Diplomová práca bola navyše rozšírená o možnosť vytvorenia databázy odtlačkov, ktoré sú poškodené nastaveným typom a parametrami poškodenia. Výsledky tejto práce môžu poslúžiť pre ďalšie výskumy v tejto oblasti. V budúcom rozšírení aplikácie by bolo možné rozšíriť aplikáciu o ďalšie poškodenia, optimalizovať rýchlosť generovania a rozšíriť aplikáciu o ďalšie funkcie grafického užívateľského rozhrania. Taktiež by bolo možné generovať ďalšie problémy spôsobené pri tlaku a vlhkosti, ako je podtlak a suchý prst a zjemniť prechod medzi poškodenou a nepoškodenou časťou odtlačku.

# Literatúra

- [1] APIS SPOL. S.R.O. *Čo je biometria?* [online]. 2017 [cit. 2020-11-02]. Dostupné z: <https://biometria.apis.sk/co-je-biometria.html>.
- [2] BAROTOVÁ, Š. *Detector of Skin Diseases by Fingerprint Technology*. Brno, Česká republika, 2017. Bakalárska práca. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Dostupné z: <https://www.fit.vut.cz/study/thesis-file/20057/20057.pdf>.
- [3] BARTUNEK, J. S. *Minutiae Extraction from Fingerprint with Neural Network and Minutiae based Fingerprint Verification*. Karlskrona, Švédsko, 2005. Diplomová práca. Blekinge Tekniska Högskola, Technologie Magisterexamen i Elektroteknik. Dostupné z: <http://bth.diva-portal.org/smash/get/diva2:833407/FULLTEXT01.pdf>.
- [4] BAZEN, A. M. a GEREZ, S. H. *Segmentation of Fingerprint Images*. In: *Proceedings of ProRISC the 12th Annual Workshop on Circuits, Systems and Signal Processing*. 2001, sv. 12, s. 276–280. ISBN 90-73461-24-3.
- [5] BENEDETTI, J. *Structure and Function of the Skin*. [online]. 2019 [cit. 2020-11-14]. Dostupné z: <https://www.msmanuals.com/home/skin-disorders/biology-of-the-skin/structure-and-function-of-the-skin>.
- [6] BHANU, B. *Computational Algorithms for Fingerprint Recognition*. Springer US, 2004. 191 s. International Series on Biometrics Ser. ISBN 9781461351030.
- [7] BÁRTA, M. *Generation of Skin Disease into the Synthetic Fingerprints*. Brno, Česká republika, 2016. Diplomová práca. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Dostupné z: <https://www.fit.vut.cz/study/thesis-file/17348/17348.pdf>.
- [8] CAPPELLI, R., MAIO, D. a MALTONI, D. *Synthetic fingerprint-database generation*. In: *Object recognition supported by user interaction for service robots*. 2002, sv. 16, č. 3, s. 744–747. ISSN 10514651.
- [9] CAPPELLI, R. *SFinGe: an Approach to Synthetic Fingerprint Generation*. International Workshop on Biometric Technologies. 2004, s. 147–154.
- [10] CHALOUPKA, R. *Generátor otisků prstů*. Brno, Česká republika, 2007. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=115874](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=115874).
- [11] DRAHANSKÝ, M. *Biometric cryptography based on fingerprints: combination of biometrics and cryptography using information from fingerprints*. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2010. 152 s. ISBN 978-3-8383-6361-5.

- [12] DRAHANSKÝ, M. *Fingerprint recognition technology: related topics*. Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing, 2011. 172 s. ISBN 978-3-844-33007-6.
- [13] DRAHANSKÝ, M. *Hand-based biometrics : methods and technology*. First published. London: The Institution of Engineering and Technology, 2018. 430 s. IET book series in advanced biometrics. ISBN 978-1-78561-224-4.
- [14] DRAHANSKÝ, M., BŘEZINOVÁ, E. a ORSÁG, F. *Dermatologické faktory ovlivňující snímání otisků prstů*. [online]. Praha: MV ČR, odbor tisku a public relations. 2010, [cit. 2020-10-02]. ISSN 1210-9150. Dostupné z: <http://www.mvcr.cz/mvcren/article/dermatologicke-faktory-ovlivnujici-snimani-otisku-prstu.aspx>.
- [15] DRAHANSKÝ, M., DOLEŽEL, M., URBÁNEK, J., BŘEZINOVÁ, E. a KIM, T.-H. *Influence of Skin Diseases on Fingerprint Recognition*. *Journal of biomedicine biotechnology*. 2012, zv. 2012, s. 626148–626148. ISSN 11107243.
- [16] DRAHANSKÝ, M. a KANICH, O. *Rozpoznávání podle otisků prstů*. [online]. 2016 [cit. 2020-12-12]. BIO - Biometrické systémy. Dostupné z: [https://wis.fit.vutbr.cz/FIT/st/cfs.php.cs?file=%2Fcourse%2FBIO-IT%2Flectures%2F04\\_BIO\\_Prednaska\\_OK\\_2016.pdf](https://wis.fit.vutbr.cz/FIT/st/cfs.php.cs?file=%2Fcourse%2FBIO-IT%2Flectures%2F04_BIO_Prednaska_OK_2016.pdf).
- [17] DRAHANSKÝ, M., ORSÁG, F. a KOLEKTÍV. *Biometrie*. Brno: Computer Press, 2011. 294 s. ISBN 978-80-254-8979-6.
- [18] FENEIS, H. *Anatomický obrazový slovník*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 1996. 455 s. ISBN 80-7169-197-6.
- [19] GALBALLY, J., BESLAY, L. a HARAKSIM, R. *Automatic fingerprint recognition from children to elderly : ageing and age effects*. Publications Office, 2018. 83 s. EUR (Luxembourg. Online), 29265. ISBN 978-92-79-87179-5. Dostupné z: [http://publications.europa.eu/publication/manifestation\\_identifier/PUB\\_KJNA29265ENN](http://publications.europa.eu/publication/manifestation_identifier/PUB_KJNA29265ENN).
- [20] GALBALLY, J., HARAKSIM, R., FERRARA, P., BESLAY, L. a TABASSI, E. Fingerprint Quality: Mapping NFIQ1 Classes and NFIQ2 Values. In: *2019 International Conference on Biometrics (ICB)*. IEEE, 2019, s. 1–8 [cit. 2021-09-02]. DOI: 10.1109/ICB45273.2019.8987244.
- [21] GASCUEÑA, D. *Dactyloscopy: Following the Prints of Crime*. [online]. 2017 [cit. 2020-11-09]. Dostupné z: <https://www.bbvaopenmind.com/en/science/leading-figures/dactyloscopy-following-the-prints-of-crime/>.
- [22] GLADIŠOVÁ, I. *Binárna morfológická filtrácia*. [online]. 2017 [cit. 2020-12-14]. Dostupné z: <http://www.posterus.sk/?p=18995>.
- [23] HABIF, T. P. *Clinical dermatology: a colour guide to diagnosis and therapy*. 4. vyd. Philadelphia: Mosby, 2004. 1004 s. ISBN 0-323-01319-8.
- [24] HAWTHORNE, M. R. *Fingerprints: analysis and understanding*. Boca Raton: CRC Press, 2009. 127 s. ISBN 978-1-4200-6864-1.
- [25] JAIN, A. K. *Introduction to biometrics*. New York: Springer, 2011. ISBN 978-0-387-77325-4.

- [26] JAIN, A. K., FLYNN, P. a ROSS, A. A. *Handbook of Biometrics*. Springer, 2008. ISBN 978-0-387-71041-9.
- [27] KANICH, O. *Fingerprint damage simulation: a simulation of fingerprint distortion, damaged sensor, pressure and moisture*. Saarbrücken: Lambert academic publishing, 2014. 57 s. ISBN 978-3-659-63942-5.
- [28] KANICH, O. *Research in fingerprint damage simulations*. Brno, Česká republika, 2018. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/187324/final-thesis.pdf?sequence=4>.
- [29] KOŠŤÁK, D. *Generování projevů kožního onemocnění do syntetických otisků prstů z generátoru Anguli*. Brno, Česká republika, 2018. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Dostupné z: <https://www.fit.vut.cz/study/thesis-file/20890/20890.pdf>.
- [30] KUMAR, A. *Contactless 3D Fingerprint Identification*. Cham: Springer International Publishing, 2018. Advances in Computer Vision and Pattern Recognition. ISBN 9783319676807.
- [31] LEE, H. C. a GAENSSLEN, R. E. *Advances in Fingerprint Technology*. 2nd. ed. London: CRC Press, 2001. 444 s. ISBN 0-8493-0923-9.
- [32] MALTONI, D. *Handbook of fingerprint recognition*. New York: Springer Science, 2003. 348 s. ISBN 0-387-95431-7.
- [33] MALTONI, D. a CAPPELLI, R. Advances in fingerprint modeling. *Image and Vision Computing*. 2009, zv. 27, č. 3, s. 258–268. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.imavis.2007.01.005>. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0262885607000261>.
- [34] NEUROTECHNOLOGY. *VeriFinger SDK*. [cit. 2021-10-02]. Dostupné z: <https://www.neurotechnology.com/verifinger.html>.
- [35] NIST. NFIQ 2.0: NIST Fingerprint Image Quality. In: NIST Interagency Report, 2016 [cit. 2021-09-02]. Dostupné z: [https://www.nist.gov/system/files/documents/2018/11/29/nfiq2\\_report.pdf](https://www.nist.gov/system/files/documents/2018/11/29/nfiq2_report.pdf).
- [36] OAKLEY, A. *Vesicular hand dermatitis*. [online]. 2014 [cit. 2020-11-05]. Dostupné z: <https://dermnetnz.org/topics/vesicular-hand-dermatitis/>.
- [37] PAVLOVIČOVÁ, J. *Morfologické operácie na binárnych obrazoch*. [online]. 2016 [cit. 2020-12-14]. Dostupné z: <http://ibooks.sk/publ/12pavlovicova/pdf/kap51.pdf>.
- [38] POLICIE ČESKÉ REPUBLIKY. *Kriminalistická daktyloskopie*. [online]. 2011 [cit. 2020-11-12]. Dostupné z: <https://www.policie.cz/clanek/celorepublikove-utvary-kriminalisticky-ustav-praha-zpravodajstvi-test-2.aspx>.
- [39] RAK, R., MATYÁŠ, V. a RÍHA, Z. *Biometrie a identita člověka ve forezních a komerčních aplikacích*. Praha: Grada, 2008. 631 s. ISBN 978-80-247-2365-5.

- [40] RATHA, N. a BOLLE, R. *Automatic Fingerprint Recognition Systems*. New York, NY: Springer New York, 2004. 458 s. ISBN 978-0-387-21685-0.
- [41] REVMATICKE-NEMOCI.CZ. *Co je psoriáza (lupénka)*. [online]. [cit. 2021-01-12]. Dostupné z: <https://www.revmaticke-nemoci.cz/co-je-lupenka>.
- [42] RIAZI, M. S., CHAVOSHIAN, S. M. a FARINAZ, K. SynFi: Automatic Synthetic Fingerprint Generation. Cornell University Library, arXiv.org. 2020, s. 7. DOI: arXiv:2002.08900.
- [43] SINGH, A., GUPTA, R., ZAIDI, S. a SINGH, A. *Dermatoglyphics: A Brief Review*. 3. vyd. International Journal of Advanced and Integrated Medical Sciences. 2016, s. 111–115, [cit. 2020-10-02]. DOI: 10.5005/jp-journals-10050-10039.
- [44] SVORADOVÁ, V. *Generování onemocnění kůže do syntetických otisků prstů z SFinGe*. Brno, Česká republika, 2019. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=197877](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=197877).
- [45] TABASSI, E. a GROTHOR, P. *Biometric Quality*. 4. vyd. NIST Interagency Report 7544, 2008. 1004 s. ISBN 0-323-01319-8.
- [46] THOMSEN, S. F. *Anguli: Synthetic Fingerprint Generator*. [cit. 1.12.2020]. Dostupné z: <http://dsl.cds.iisc.ac.in/projects/Anguli/>.
- [47] UNIVERSITY OF BOLOGNA. *Fingerprint Generation*. 2004. [Online; navštíveno 22.12.2020]. Dostupné z: <http://biolab.csr.unibo.it/research.asp?organize=Activities&select=&selObj=12&pathSubj=111%7C%7C12&>.
- [48] WAYMAN, J., JAIN, A., MALTONI, D. a MAIO, D. *Biometric Systems*. Springer, 2005. 370 s. ISBN 1-85233-596-3.
- [49] WIKIPEDIA. *Semi-major and semi-minor axes* [online]. [cit. 2021-04-30]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Semi-major\\_and\\_semi-minor\\_axes](https://en.wikipedia.org/wiki/Semi-major_and_semi-minor_axes).
- [50] ZHAO, Q., JAIN, A. K., PAULTER, N. G. a TAYLOR, M. *Fingerprint image synthesis based on statistical feature models*. IEEE, 2012. 23–30 s. ISBN 9781467313841.

## Príloha A

# Obsah priloženého pamäťového média

**app/** - spustiteľná aplikácia

**data/** - dátové sady použité v experimentoch

**doc/** - zdrojové súbory tohto textu

**src/** - zdrojové súbory implementovanej aplikácie

**DP.pdf** - elektronická verzia tohto textu