



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ

DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

**GENEROVÁNÍ PROJEVU KOŽNÍHO ONEMOCNĚNÍ
DO SYNTETICKÝCH OTISKŮ PRSTŮ Z GENERÁTORU
ANGULI**

GENERATION OF SKIN DISEASE EFFECTS INTO SYNTHETIC FINGERPRINTS FROM ANGULI
GENERATOR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

TEREZA HYTYCHOVÁ

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ONDŘEJ KANICH

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce



21981

Studentka: **Hytychová Tereza**
Program: Informační technologie
Název: **Generování projevu kožního onemocnění do syntetických otisků prstů z generátoru Anguli**
Generation of Skin Disease Effects into Synthetic Fingerprints from Anguli Generator

Kategorie: Zpracování obrazu

Zadání:

1. Prostudujte literaturu týkající se kožních onemocnění postihující bříška prstů a dlaně a biometrického rozpoznávání podle otisků prstů. Seznamte se s generátorem syntetických otisků prstů Anguli.
2. Navrhněte vhodný model a posléze algoritmus pro generování projevů dvou druhů onemocnění kůže (Verruca vulgaris a Hyperkeratotický ekzém) do syntetických otisků prstů pocházejících z generátoru Anguli.
3. Implementujte navržený algoritmus z předchozího bodu.
4. Otestujte algoritmus z předchozího bodu vygenerováním syntetických otisků prstů se všemi výše uvedenými poškozeními a ověřením výstupu s pomocí vhodného algoritmu na porovnávání otisků prstů (např. Neurotechnology VeriFinger).
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, pages 512. ISBN 978-1-8488-2254-2.
- Kanich, O.: *Fingerprint Damage Simulation*, LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2014, p. 57. ISBN 978-3-659-63942-5.
- Barotová, Š.: *Detector of Skin Diseases by Fingerprint Technology*, 2017. Bachelor's thesis. FIT BUT in Brno, Brno.

Pro udělení zápočtu za první semestr je požadováno:

- Body 1 a 2.

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

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

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je navrhnout a implementovat nástroj pro generování projevů kožních onemocnění do syntetických otisků prstu z generátoru Anguli. Navržené algoritmy jsou schopné vytvářet snímky s projevy bradavic a hyperkeratotického ekzému. Pro zpracování obrazu byla využita knihovna OpenCV. Výsledné snímky jsou otestovány pomocí programu VeriFinger a mohou dále sloužit pro testování systémů pro rozpoznávání otisků prstu. Výsledky testování prokázaly, že obě vybraná onemocnění mají negativní vliv na rozpoznání otisku prstu. Přidáním projevů bradavic do snímku otisku prstu bylo dosaženo snížení jeho kvality až o 34 % a přidáním projevů hyperkeratotického ekzému dokonce až o 77 %.

Abstract

The aim of this bachelor thesis is to design and implement a tool for generation of skin disease effects into synthetic fingerprints from Anguli generator. The proposed algorithms are capable of creating images with effects of warts and hyperkeratotic eczema. The OpenCV library was used for image processing. The resulting images are tested by VeriFinger and can be used for testing fingerprint recognition systems. Test results proved that both of the diseases have negative impact on fingerprint recognition. By adding effects of warts to a fingerprint image, the image quality has decreased by up to 34 % and by adding effects of hyperkeratotic eczema, the quality has decreased by up to 77 %.

Klíčová slova

otisk prstu, kožní onemocnění, bradavice, hyperkeratotický ekzém, syntetický otisk prstu, Anguli

Keywords

fingerprint, skin diseases, warts, hyperkeratotic eczema, synthetic fingerprint, Anguli

Citace

HYTYCHOVÁ, Tereza. *Generování projevu kožního onemocnění do syntetických otisků prstů z generátoru Anguli*. Brno, 2019. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Ing. Ondřej Kanich

Generování projevů kožního onemocnění do syntetických otisků prstů z generátoru Anguli

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením pana Ing. Ondřeje Kanicha. Uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.

.....

Tereza Hytychová

14. května 2019

Poděkování

Zde bych ráda poděkovala Ing. Ondřeji Kanichovi za odborné vedení této práce, cenné rady a připomínky.

Obsah

1	Úvod	2
2	Otisky prstů	3
2.1	Základní pojmy z biometrie	3
2.2	Charakteristika otisku prstu	4
2.3	Proces zpracování a rozpoznávání otisku prstu	6
2.4	Faktory ovlivňující kvalitu otisku prstu	7
3	Generování syntetických otisků prstu	9
3.1	Význam generování syntetických otisků prstu	9
3.2	Popis generátoru Anguli	10
4	Vybraná onemocnění kůže ovlivňující otisky prstů	13
4.1	Popis vybraných onemocnění kůže ovlivňujících otisky prstů	13
4.2	Projevy vybraných kožních onemocnění v otiscích prstů	16
5	Návrh algoritmu pro generování projevů vybraných onemocnění	19
5.1	Návrh algoritmu pro generování projevů bradavic	19
5.2	Návrh algoritmu pro generování projevů hyperkeratotického ekzému	20
6	Implementace simulátoru	22
6.1	Načtení vstupních parametrů a souborů	22
6.2	Generování bradavic	23
6.3	Generování projevů hyperkeratotického ekzému	25
7	Testování a výsledky	30
7.1	Popis testovacích sad	30
7.2	Průběh testování a výsledky	31
8	Závěr	36
	Literatura	37

Kapitola 1

Úvod

V dnešní době je velmi aktuální otázka zabezpečení. Stále se hledají nové způsoby, jak umožnit přístup do určitých prostor nebo k datům pouze vybrané skupině ověřených uživatelů. Nejčastěji uživatel získá přístup ať už přímo k datům v počítači, mobilním telefonu, nebo třeba do budovy zadáním hesla. Hesla mohou být ale poměrně nebezpečná, protože je snadné je například omylem vyrazit, a zároveň nejsou žádnou zárukou toho, že člověk, který heslo použije, je skutečně oprávněn do systému přistoupit.

Jak tedy spolehlivě uživatele autentizovat? Názor některých je takový, že řešením by mohly být systémy založené na nějaké měřitelné unikátní vlastnosti člověka, která by jasně prokazovala jeho identitu. Jednou z takových vlastností jsou i otisky prstů, které jsou na trhu oproti ostatním biometrickým vlastnostem stále nejvyužívanější [15].

Používání otisků prstů pro ověření totožnosti a získání přístupu k datům se v poslední době rozšířilo natolik, že čtečky otisků najdeme už nejen na úřadech, ale i na běžných mobilních telefonech, počítačích nebo tabletech. Lidé s nimi tak přicházejí do styku prakticky každý den.

Ani systémy založené na otiscích prstu ale nejsou stoprocentně spolehlivé. S rozšířením této technologie přišly i nejrůznější způsoby, jak ji obejít. Navíc jejímu dalšímu využití brání také skutečnost, že ne všichni lidé mohou snímače otisků prstu využívat například kvůli zdravotním problémům.

Cílem této práce je vytvořit simulátor projevů bradavic a hyperkeratotického ekzému do snímků otisku prstu. Vygenerované snímky s projevy těchto vybraných onemocnění by pak mohly posloužit k testování systémů pro rozpoznávání otisků prstu a zvýšit tak šanci, že lidé postižení některým z těchto onemocnění budou moci čtečky otisků prstu plně využívat bez zbytečných komplikací.

První kapitola této práce se zabývá otisky prstů. Jsou zde vysvětleny základní pojmy z biometrie týkající se otisků prstu, je popsán proces rozpoznávání otisků prstu a faktory ovlivňující kvalitu otisku. Další kapitola se zaměřuje na generování otisků prstů. Vysvětluje, proč je vhodné otisky prstů generovat a popisuje princip fungování generátoru otisků prstu Anguli. Kapitola 4 popisuje vliv onemocnění kůže na otisk prstu. Jsou zde popsána obě vybraná onemocnění, tedy bradavice a hyperkeratotický ekzém, jejich příčiny, běžné projevy a v neposlední řadě také to, jak se jejich znaky projeví v otiscích prstu. V Kapitole 5 jsou přiblíženy návrhy algoritmů pro generování projevů onemocnění. Kapitola 6 obsahuje popis implementace obou algoritmů, vysvětluje strukturu vzniklého simulátoru a všechny nastavitelné parametry generování. Také jsou zde zmíněny nástroje použité pro implementaci. Kapitola 7 popisuje průběh testování provedeného na snímcích vytvořených pomocí implementovaného simulátoru a jeho výsledky, které jsou stručně shrnuty v závěrečné kapitole.

Kapitola 2

Otisky prstů

Otisky prstů se používají pro identifikaci osob už poměrně dlouhou dobu, například v kriminalistice se začaly využívat již v 19. století. V současnosti je rozpoznávání otisků prstů nejrozšířenější biometrickou technologií a lze se s ním setkat i v běžném životě (například i při odemykání mobilních telefonů nebo notebooků). [6]

Následující kapitola nabízí shrnutí informací o rozpoznávání osob pomocí otisků. Nejprve jsou vysvětleny základní pojmy z oboru biometrie, které budou důležité pro pochopení následujících kapitol, dále jsou popsány otisky prstů a proces rozpoznávání otisků prstů. Konec kapitoly se bude zabývat faktory ovlivňujícími kvalitu otisků prstu.

2.1 Základní pojmy z biometrie

V oboru informačních technologií znamená pojem biometrie automatizované rozpoznávání lidí na základě jejich charakteristických anatomických rysů (např. obličej, otisk prstu, sítnice) a behaviorálních rysů (např. chůze, hlas, podpis) [6].

Výhodou biometrie oproti jiným metodám identifikace osob, jako jsou například hesla nebo karty, je především to, že biometrické vlastnosti nemohou být ztraceny, zapomenuty nebo přeneseny na jiného člověka, jsou bezpečnější a pohodlnější [14]. Za hlavní nevýhodu lze považovat ztrátu soukromí, jelikož na základě některých biometrických charakteristik je možné zjistit informace o zdravotním stavu člověka [13].

Systémy, které měří jednu nebo více biometrických vlastností (ať už anatomických, nebo behaviorálních) a na jejich základě určují identitu člověka, se nazývají biometrické systémy [11]. Při rozhodování o nasazení konkrétního biometrického systému jsou důležitým kritériem charakteristiky biometrických vlastností. K základním charakteristikám biometrických vlastností patří tyto [6] [14]:

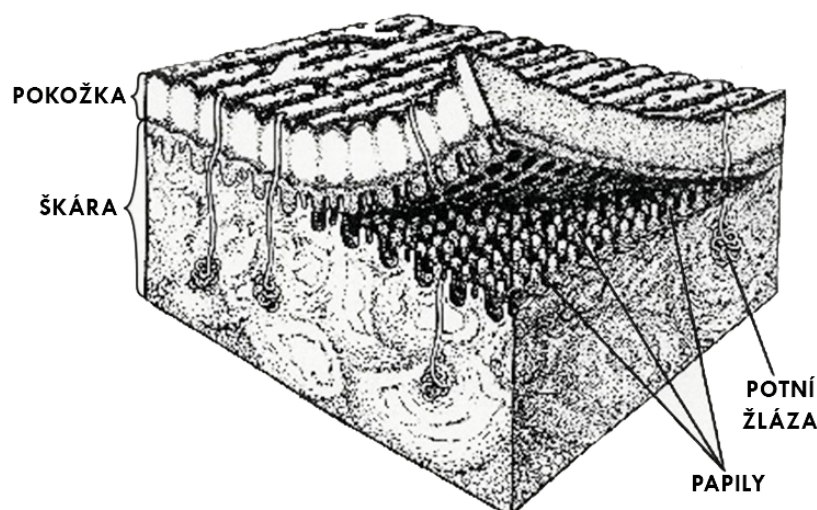
- Univerzalita – každý by měl mít tuto biometrickou vlastnost.
- Jedinečnost – daná biometrická vlastnost žádných dvou osob nesmí být totožná.
- Konstantnost – biometrická vlastnost je neměnná v průběhu času.
- Získatelnost – musí být možné danou biometrickou vlastnost kvantitativně měřit.
- Výkonnost – biometrická vlastnost se nesmí změnit ani zestárnout.
- Akceptace – jak moc jsou lidé ochotni nechat si biometrickou vlastnost nasnímat.
- Odolnost při falšování – jak snadné je zfalšovat danou biometrickou vlastnost.
- Finanční náklady na pořízení – kolik bude stát pořízení biometrického systému založeného na dané biometrické vlastnosti.

Srovnáním jednotlivých biometrických vlastností na základě těchto charakteristik lze zjistit, že otisky prstů jsou velmi vhodné pro použití v biometrických systémech, jelikož nabízí rovnováhu mezi všemi žádoucími charakteristikami. Téměř každý člověk má otisky prstů (výjimkou jsou lidé postižení nějakým onemocněním nebo poruchou kůže), otisky každých dvou lidí jsou odlišné a stálé. Ačkoliv mohou být otisky krátkodobě ovlivněny například zraněními na prstech, nebyla-li poškozena dermální vrstva kůže, po zhojení ran se otisk znovu objeví. S akceptací uživateli nebývá díky rozšíření této technologie do běžného života problém, i když u některých může být mírně negativně ovlivněna dlouhou historií využívání otisků prstů při vyšetřování trestných činů. Obejít systém založený na otiscích prstů může být při kombinaci s detekcí živosti složitější a z pohledu finančních nákladů existuje v dnešní době velké množství levných, ale současně spolehlivých technologií pro snímání otisků prstů. [6] [14]

2.2 Charakteristika otisku prstu

Otisk prstu je vzor tvořený papilárními liniemi, což jsou vyvýšené reliéfy na povrchu prstů rukou i nohou. Jejich tvar se formuje již v průběhu prvních sedmi měsíců vývoje plodu v děloze [11]. Mezi papilárními liniemi se nacházejí mezery, kterým se říká rýhy. Průměrná šířka papilárních linií i rýh je asi 0,33 mm [4].

Kůže na povrchu prstů se skládá ze dvou základních vrstev: pokožky (epidermis) a škáry (dermis), viz obrázek 2.1. Pokožka je velmi tenká vnější vrstva kůže, která tvoří bariéru před okolím světem. Škára je vnitřní vrstva, která se nachází těsně pod pokožkou a do velké míry ovlivňuje vzhled kůže. Obě vrstvy mají schopnost se v průběhu života obnovovat. Z hlediska otisků prstů je důležité, že zakřivení papilárních linií je tvořeno ve škáře a linie, které vidíme na povrchu kůže a snímáme je jako otisk, jsou pouze projekcí z této hlubší vrstvy. Jak už bylo dříve zmíněno, struktura papilárních linií se v průběhu života nemění. Je možné ji narušit či úplně vymazat jen v případě poškození škáry. [4] [5] [13]

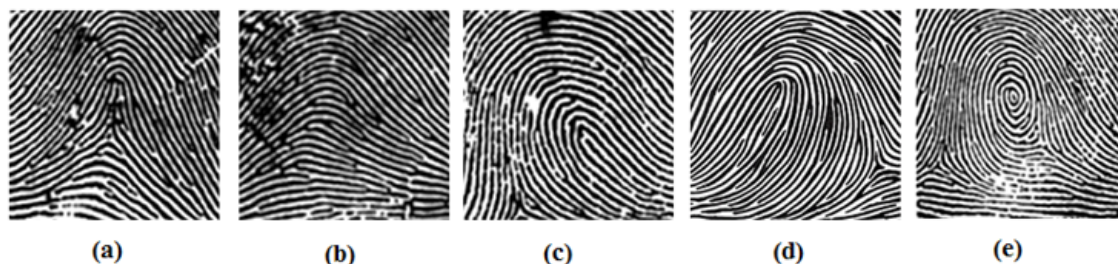


Obrázek 2.1: Struktura kůže. Zdroj: [3]

2.2.1 Třídy otisků prstů

Otisky prstů můžeme rozdělit podle společných znaků do tříd. Tyto třídy slouží ke kategorizaci otisků do menších skupin, což přispívá ke značnému zrychlení identifikace, protože je možné při prohledávání databáze vyhledávat jen v její části pro danou třídu. [6]

Běžně rozlišujeme následujících pět tříd otisku prstu: klenutý oblouk, oblouk, pravá smyčka, levá smyčka, oblouk. Obrázek 2.2 zobrazuje, jak vypadají otisky příslušné k těmto třídám.



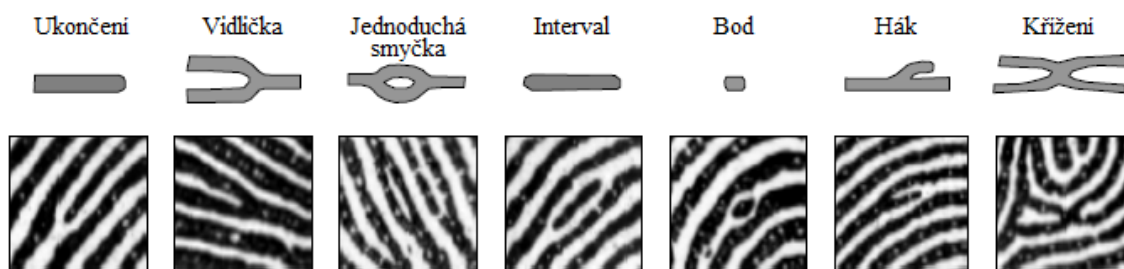
Obrázek 2.2: Příklad otisku prstu z každé třídy, (a) klenutý oblouk, (b) oblouk, (c) pravá smyčka, (d) levá smyčka, (e) vír. Zdroj: [16]

I když na základě tříd je možné otisky prstů klasifikovat, jen podle nich nelze určit identitu člověka. Jedinečnost otisku je totiž určena pomocí markantů, které jsou více popsány v následující podkapitole. [4]

2.2.2 Základní typy markantů

Markanty jsou lokální charakteristiky papilárních linií, podle kterých se dají otisky prstů jednoznačně odlišit. Správné rozlišení markantů ovšem velmi ovlivňuje kvalita otisku, je-li otisk například rozmazaný nebo nekompletní, důležité markanty mohou chybět a identita nemusí být jednoznačně prokázána. [4] [5]

Bylo identifikováno až 150 typů markantů, mezi sedm nejběžnějších patří tyto: ukončení, vidlička, jednoduchá smyčka, interval, bod, hák a křížení (viz obrázek 2.3). V biometrických systémech se běžně využívají pouze dva typy – ukončení a vidlička, protože všechny ostatní typy markantů jsou nějakou jejich kombinací. [4] [14]



Obrázek 2.3: Sedm nejběžnějších typů markantů. Zdroj: [14]

2.3 Proces zpracování a rozpoznávání otisku prstu

Proces zpracování otisku prstu se skládá z několika kroků. Nejprve je nutné získané otisky určitým způsobem upravit a zpracovat a teprve poté mohou být uloženy do databáze a dále využívány pro rozpoznávání. Proces zpracování otisku prstu je znázorněn na obrázku 2.4.

2.3.1 Získání snímku otisku prstu

Prvním krokem při zpracování je samozřejmě získání otisku pomocí některého z řady existujících snímačů. Vzhled snímku otisku je ovlivněn jednak parametry snímače (rozlišením, velikost snímací plochy, počet bitů pro zakódování barvy...) a také typem technologie použité v senzoru (optická, kapacitní, ultrazvuková, termická apod.). [6]

Jelikož je v dnešní době snadné vytvořit falzifikát otisku prstu, je nezbytné při snímání provádět detekci živosti prstu, většina dnešních snímačů detekci živosti provádí. Získaný otisk prstu by měl být co nejkvalitnější, v dalším kroku je tedy nutné zkontrolovat a zlepšit jeho kvalitu. [6]

2.3.2 Zvýšení kvality snímku otisku prstu

Pro zvýšení kvality snímku jsou používány různé metody filtrování. Jedná se o velmi důležitý krok ovlivňující další kroky zpracování, jelikož čím nižší je kvalita otisku, tím složitější a méně spolehlivá je detekce a extrakce markantů.

V této fázi lze z obrazu odstranit různé nedostatky jako je například šum, různé defekty a poškození. Hlavním cílem algoritmů pro zvyšování kvality je především zvýraznit strukturu papilárních linií a rýh a označit nenávratně poškozené oblasti jako nevhodné pro další zpracování. Některé algoritmy jsou schopny opravit i malé mezery v papilárních liniích způsobené svraštělým povrchem prstů například u starších lidí. Kvalita otisku může být ovlivněna mnoha faktory, které budou popsány v podkapitole 2.4. [4]

2.3.3 Prahování obrazu a ztenčení papilárních linií

Dále je potřeba v otisku odlišit papilární linie a rýhy. Většinou je obraz získán s 256 úrovněmi šedi, pro další zpracování je ale potřeba binární reprezentace, obraz je tedy pomocí prahování převeden do černobílé škály, kde černá znázorňuje papilární linie a bílá rýhy a pozadí. [4] [6]

Prahováním je získán černobílý obrázek, ale papilární linie v něm mohou mít různou šířku, což je nežádoucí. Aby byla extrakce markantů co nejjednodušší, je potřeba aby šířka papilárních linií byla stejná. K tomuto účelu se využívá relativně snadný algoritmus, který je schopen zredukovat počet bodů linie na šířku jednoho pixelu. [4] [6]

2.3.4 Extrakce markantů

Posledním krokem je detekce a extrakce markantů. Za pomoci vhodného algoritmu jsou ve snímku otisku prstu vyhledány všechny markanty a ke každému z nich se uloží údaje o jeho pozici, typu a směru. Používá se například tzv. Hongova metoda, která detekuje dva základní typy markantů, ukončení a vidličku. Na základě získaných markantů a informací o nich je potom možné rozpoznat identitu člověka. [6]



Obrázek 2.4: Schéma zpracování otisku prstu. Zdroj: [5]

2.4 Faktory ovlivňující kvalitu otisku prstu

Jak už bylo řečeno, při rozpoznávání je důležité, aby byl vstupní obraz otisku co nejkvalitnější. Za kvalitní můžeme otisk označit tehdy, když jsou v něm snadno rozeznatelné papilární linie, což umožňuje jednoduchou a přesnou detekci markantů. [14]

Kvalitu otisku prstu může ovlivňovat samotný senzor (šum senzoru, nečistoty na senzoru, porucha, ...), stav kůže na prstech (suchá či mokrá kůže, jizvy, zranění, nečistoty, nemoci kůže, ...), nesprávný tlak prstů na senzor při snímání vzorku nebo i okolní prostředí. [5] [14]

V praxi je těžké získat snímek otisku prstu s vysokou kvalitou, ve většině snímků se střídají oblasti s vysokou, střední a nízkou kvalitou. Proto jsou vyvíjeny algoritmy pro zvyšování kvality otisků, které se snaží opravit obnovitelné oblasti. [14]

2.4.1 Vliv senzoru na kvalitu otisku prstu

Problémem z hlediska kvality vzniklým kvůli senzoru je například skutečnost, že snímek otisku prstu získaný senzorem může obsahovat šum. Šum v obraze bohužel často vede ke spojení paralelních papilárních linií a tím ke vzniku falešných markantů, což není žádoucí a šum je tedy nutné odstranit. [14]

Dále mohou být na povrchu senzoru nečistoty, které znemožňují nasnímání celé plochy otisku, v extrémních případech senzor není schopen rozeznat, že na něj byl prst přiložen. Další problém představuje poškození senzoru, které samozřejmě může nastat ať už náhodou nebo úmyslně. [5]

Některé druhy senzorů mohou být citlivé na teplotu a při extrémně nízkých nebo naopak vysokých teplotách fungovat nesprávně. Senzor také mohou ovlivnit vibrace, pokud je senzor při snímání otisku vystaven vibracím, pozice prstu na skeneru se může mírně změnit a způsobit tak rozmazání obrazu. Další problémy může u některých druhů senzorů způsobit elektromagnetické záření nebo například okolní světlo. [4] [5]

2.4.2 Vliv stavu kůže na kvalitu otisku prstu

Stav kůže na prstech má také velký vliv na kvalitu otisku. Kůže na povrchu prstu může být stejně jako senzor znečištěna. Pro některé typy senzorů mohou být problematické především kapaliny nebo vodivé materiály. Větší znečištění působí problémy u téměř všech typů senzorů. [4]

Další problém z hlediska kvality představuje například mokrá nebo naopak příliš suchá kůže na prstech. Suchá kůže se v otisku projevuje přerušovanými papilárními liniemi, mokrá kůže způsobuje spojení sousedních papilárních linií v jednu, v obou případech může být ztracena velká část markantů. [5] [11]

Dále mohou kvalitu ovlivnit zranění prstů, což je typické pro manuální pracovníky. Navíc pokud dojde k hlubokému zranění, papilární linie už se nemusí znovu obnovit nebo jsou nenávratně poškozeny. [5]

Posledním důležitým, ale ve spojitosti s rozpoznáváním otisků prstů bohužel často zanedbávaným faktorem jsou různá onemocnění způsobující změny kůže na prstech, která budou detailně rozebrána v kapitole 4.

Kapitola 3

Generování syntetických otisků prstu

Protože testování systémů založených na otiscích prstu vyžaduje rozsáhlé databáze otisků, jejichž získání je komplikované a zdlouhavé, objevila se potřeba otisky generovat. Začaly tedy vznikat generátory, které pomocí různých metod umožňují rychlé vytváření velkých databází téměř bez nákladů.

Obsahem této kapitoly jsou nejprve důvody, proč je vhodné otisky prstů generovat. Dále je zde popsán generátor syntetických otisků prstu Anguli, pomocí kterého byly generovány otisky využité v rámci této práce, a stručný přehled základních technik metody SFinGe, které Anguli pro generování otisku využívá.

3.1 Význam generování syntetických otisků prstu

Důvodů, proč otisky prstů generovat, existuje hned několik. Například jen pro testování a hodnocení výkonnosti biometrických systémů je potřeba velké množství dat. Získat potřebná data, tedy otisky prstu, je často složité, protože vytváření databází otisků je drahé, časově náročné a mohou ho komplikovat právní předpisy pro ochranu osobních dat. [14]

Navíc jednu konkrétní databázi otisků lze pro testování a optimalizaci systému využít pouze jednou, další testovací cykly většinou vyžadují nová, ještě nevyzkoušená data, aby bylo testování co nejefektivnější. Generování otisků umožňuje se všem těmto zmíněným problémům z velké části vyhnout. Za výhodu generování lze považovat i skutečnost, že může eliminovat chyby vzniklé při snímání otisku prstu. [14]

Syntetický otisk prstu by měl být v ideálním případě co nejvíce realistický. Žádanou vlastností generátorů otisků prstu je schopnost modelovat více otisků jednoho virtuálního prstu, ve kterých se budou odrážet různé faktory, jako jsou různé oblasti dotyku na skeneru, zakřivení a různá šířka papilárních linií (způsobená například rozdílným tlakem prstu), různá pozadí otisku simulující poškozený nebo špinavý povrch snímače, malé řezné rány nebo zranění na kůži a podobně. Při zajištění těchto vlastností je generátor schopný vytvářet databáze syntetických otisků velmi podobné databázím získaných ze skutečných prstů, což je pro testování, optimalizaci a porovnávání rozpoznávacích algoritmů velmi důležité. [14]

3.2 Popis generátoru Anguli

Pro tuto práci byl pro generování syntetických otisků použit generátor Anguli. Jedná se o volně dostupný software pro Windows i Linux, vytvořený v jazyce C++. Anguli umožňuje rychlé vytváření velkých databází syntetických otisků a využívá přitom některých algoritmů převzatých z generátoru SFinGe (viz podkapitola 3.2.1). Nástroj navíc nevyžaduje instalaci a jeho používání je velmi snadné. [10]

V rámci aplikace lze nastavit několik parametrů jako je počet otisků k vygenerování, jejich třídu, translaci, rotaci, úroveň šumu či poškrábání obrazu. Možnost nastavení různých parametrů přispívá k větší realističnosti vygenerovaných otisků. Konfiguraci parametrů lze uložit, takže není nutné při každém použití aplikace parametry zadávat znovu.

Také je možné vygenerovat podle jednoho dokonalého otisku více různých snímků jednoho „prstu“. Obrázek dokonalého otisku může mít uživatel vlastní, vytvořený někde jinde, nebo má možnost ho vygenerovat také přímo v Anguli. Program současně podporuje ukládání metadat o vygenerovaných otiscích, která obsahují určení třídy otisku a pozici důležitých rysů.

Rozlišení vygenerovaných otisků je 275x400 pixelů a není možné ho v aplikaci změnit. K dispozici je také výběr z několika grafických formátů výsledného obrazu, ze kterých si uživatel může vybrat ten nejvíce vyhovující jeho potřebám, konkrétně jsou to formáty jpg, jpeg, bmp, png, tif a tiff.

Ukázka dokonalého otisku a výsledného otisku po všech úpravách vygenerovaného programem Anguli je na obrázku 3.1. Ve výsledném snímku syntetického otisku je vidět i mírné poškrábání a šum.



Obrázek 3.1: Příklad dokonalého otisku (vlevo) a podle něj vygenerovaného otisku prstu (vpravo) z generátoru Anguli.

3.2.1 Postup generování otisku prstu v generátoru Anguli

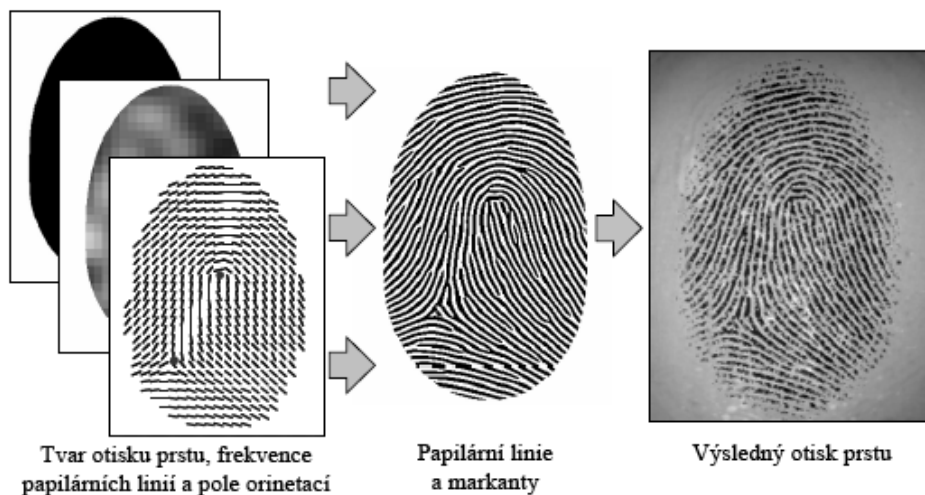
Anguli využívá pro generování otisků prstu algoritmy metody SFinGe, která byla poprvé představena před 15 lety. Během této doby byla tato metoda postupně upravována a vylepšována a dnes je nejpoužívanějším nástrojem pro generování otisků prstů využívaným

nejen výzkumníky, ale i různými organizacemi. Anguli je v podstatě velmi zjednodušenou verzí nástroje SFinGe. [5]

Generování samotného otisku prstu probíhá provedením několika základních kroků (viz obrázek 3.2) [2] [14]:

1. Vygenerování plochy otisku prstu – Otisky mohou mít v závislosti na velikosti prstu, tlaku a pozici na senzoru různý tvar. Prvním krokem generování je tedy vygenerování siluety otisku, která bude určovat jeho výsledný tvar. Základem je elipsa, která je transformována pomocí několika parametrů. Generátor Anguli neprovádí tento krok na začátku, ale až při poškozování otisku a jeho konečných úpravách.
2. Vygenerování pole orientací – V tomto kroku jsou nejprve náhodně vygenerovány pozice důležitých rysů otisku. Poté je na jejich základě za použití komplexních matematických modelů vypočítáno a vygenerováno pole orientací, které bude určovat směr papilárních linií.
3. Vygenerování frekvence papilárních linií – Generování frekvence je dalším nezbytným krokem. Nejprve se vypočítá celková frekvence papilárních linií tak, aby odpovídala frekvenci ve skutečných otiscích prstu. V oblastech, které mají v reálných otiscích nižší hustotu papilárních linií, je frekvence snížena. Nakonec je frekvenční obraz pro vylepšení vzhledu náhodně narušen a vyhlazen pomocí filtru.
4. Vygenerování papilárních linií – Jedná se o poslední a zároveň nejdůležitější krok generování samotného otisku. Papilární linie se generují na základě vytvořeného pole orientací a obrazu frekvence papilárních linií. Generování začíná v několika náhodných bodech, jejichž okolí se postupně rozšiřuje a splynutím těchto rostoucích regionů vznikají v otiscích na náhodných místech markanty.

Výsledkem postupného provedení všech výše zmíněných kroků je dokonalý otisk prstu.



Obrázek 3.2: Základní schéma procesu generování otisku prstu. Zdroj: [14]

Po vygenerování samotného otisku potom mohou přijít na řadu další úpravy jako je rotace či posunutí otisku, přidání šumu, rozostření, změny tloušťky papilárních linií, simulace poškozování kůže a další, a nakonec může být případně do obrazu k otisku přidáno i vygenerované pozadí. [5]

Jelikož nástroj Anguli byl vytvořen především pro rychlé vytvoření rozsáhlých databází otisků, nepodporuje například generování realistického pozadí a všechny vytvořené otisky mají neutrální bílé pozadí. Stejně tak pomocí Anguli nelze generovat ani poškození kůže prstů nebo různá poškození senzoru.

Kapitola 4

Vybraná onemocnění kůže ovlivňující otisky prstů

Při zavádění systémů pro rozpoznávání otisků prstů je vhodné mít na paměti, že někteří uživatelé systému mohou trpět kožním onemocněním, které postihuje jejich prsty. Některá onemocnění po vyléčení sice nezpůsobí v otiscích žádné změny, existují ale i taková, která mohou navždy změnit či vymazat strukturu papilárních linií, a takové onemocnění by mohlo postiženým uživatelům znemožnit užívání systému.

V této kapitole budou přiblíženy vybrané nemoci kůže, které ovlivňují konečky prstů, a popsány jejich projevy v otiscích prstů. V rámci této práce byly vybrány pro generování dvě nemoci, bradavice a hyperkeratotický ekzém, budou zde proto detailně popsány jejich příčiny, projevy, metody léčby a její úspěšnost a další.

4.1 Popis vybraných onemocnění kůže ovlivňujících otisky prstů

V dnešní době bylo identifikováno velké množství kožních onemocnění a neexistují přesná data o počtu lidí, kteří jsou ve skutečnosti nějakým onemocněním kůže postiženi. Podle [7] si u všeobecného lékaře na kožní potíže stěžuje až 20–25 % pacientů. Tato kapitola je zaměřena na popis pouze takových onemocnění, která způsobují viditelné změny na povrchu bříšek prstů a mohou tak ovlivnit otisky prstů. [4] [5]

Onemocnění se od sebe neliší pouze průběhem a projevy, ale také tím jak úspěšná je jejich léčba. Úspěšnost léčby je důležitým faktorem pro další užívání systémů pro rozpoznávání otisků prstu. I po vyléčení některých onemocnění mohou nést prsty uživatelů znaky poškození. Ačkoli některá poškození jako například jizvy mohou rozpoznávání i ulehčit, problémem jsou případy, kdy nemoc poškodí a znehodnotí markanty a znemožní tak jejich rozpoznání. Za takových okolností nelze spolehlivě prokázat uživateli totožnost a tudíž je mu znemožněno použití systému. Jedná se hlavně o případy, kdy nemoc poškodí strukturu papilárních linií na úrovni spojení pokožky a škály. Při takovém poškození se linie nemusí už vůbec objevit a když narostou znovu, jejich struktura bude jiná než původně. [4] [5]

Nemoci lze podle typu poškození, které způsobují, rozdělit do tří skupin [4]:

- (a) **Nemoci způsobující změnu barvy kůže** – První skupinou nemocí, která zde bude popsána, jsou nemoci způsobující změny barvy kůže. Tato skupina nemocí je nejméně problematická pro rozpoznávání otisků prstů, jelikož při použití většiny technologií

pro snímání otisku se ve výsledném snímku změna barvy kůže neprojeví. Jedinou technologií citlivou na změnu barvy kůže je technologie optická a případně technologie využívající pro detekci živosti barvu kůže či spektrální analýzu. Do této skupiny můžeme zařadit například syndrom ruka, noha ústa, xantomy nebo tineu rukou. [4] [5]

- (b) **Nemoci způsobující změnu struktury papilárních linií** – Další skupinou jsou nemoci způsobující změny ve struktuře papilárních linií. Tyto nemoci pro rozpoznávání otisků prstů představují mnohem větší problém než změna barvy kůže, protože struktura papilárních linií je stěžejním bodem rozpoznávání. Při poškození struktury papilárních linií je někdy téměř nemožné identifikovat jejich původní zakřivení, což způsobuje selhání při rozpoznání u téměř všech známých technologií pro snímání otisků prstu. Jedinou výjimkou jsou ultrazvukové technologie schopné proniknout skrz vrchní vrstvu pokožky k samotné vrstvě, kde jsou linie formovány. Ani ultrazvukové snímače ale nejsou schopny zrekonstruovat papilární linie v případě hlubokého poškození ve vrchních vrstvách škáry. Mezi nemoci patřící do této skupiny lze zařadit například ekzém konečků prstů, bradavice nebo sklerodermii. [4]
- (c) **Nemoci způsobující změnu struktury papilárních linií i barvy kůže** – Existují i nemoci, které způsobují jak změnu papilárních linií, tak změnu barvy kůže. Snímačům samozřejmě taková onemocnění působí stejné problémy jakou u předchozí kategorie a přidávají navíc i změnu barvy, která může v některých případech popsaných v (a) rozpoznávání také zkomplikovat. Sem můžeme zařadit různé druhy ekzémů, psoriázu, Raynaudův fenomén, sekundární syfilis a další. [4]

V této práci jsou z onemocnění vybrány bradavice a hyperkeratotický ekzém. Následující podkapitoly tedy obsahují popis těchto nemocí, důvody vzniku, postup při léčbě a další podrobnosti o nich.

4.1.1 Bradavice (*Verruca vulgaris*)

Bradavice (lat. *verruca vulgaris*) jsou velice běžným onemocněním kůže. Jedná se o virové onemocnění způsobené některými druhy lidských papilomavirů (HPV), konkrétně HPV typu 1, 2, 4, 27, 57 a 63. [12]

Nemoc se většinou objeví mezi pátým a třicátým rokem života, pouze 15% případů se objeví až po 35. roce. Ohroženi jsou jak muži tak ženy. Pravděpodobnost výskytu onemocnění se zvyšuje, pokud je člověk vystaven bradavicím ve svém okolí například u rodiny či spolužáků nebo například ve veřejných bazénech či sprchách. Více ohroženi jsou manuální pracovníci, kteří často ponořují ruce do vody, a také lidé jejichž kůže se často dostává do styku se syrovým masem. [12]

Bradavice se projevují jako výrůstky na kůži prstů a dlaní. Výrůstky mají nejprve stejnou barvu jako okolní kůže a jsou hladké, postupně se ale zvětšují a mění se v kopulovité šedohnědé hrbolky s drsným povrchem. Na povrchu bradavic se navíc mohou vyskytovat černé tečky, což jsou rozšířené trombotizované kapiláry, povrch bradavic může praskat a krváčet. [9] [12]

Velikost bradavic se pohybuje od 1 mm až do 1 cm a více. Běžně se bradavice vyskytují v menším počtu, ale může se jich objevit i větší množství, které postihne velké plochy kůže. V některých případech se objeví jedna mateřská bradavice, která dlouho roste sama, poté se ale najednou objeví větší počet malých sekundárních bradaviček. Prst postižený bradavicemi je na obrázku 4.1. [9] [12] [18]

V místech, kde se bradavice objeví, je ztracena struktura papilárních linií na povrchu kůže. Známkou vyléčení bradavic je právě znovuobjevení papilárních linií. [18] Léčba bradavic může být v některých případech velmi neefektivní a může trvat dlouho. Využívá se například potírání bradavic kyselinou salicylovou, která by měla způsobit změknutí a snazší odstranění bradavic, nebo kryoterapie, tedy odstranění bradavic za pomoci zmrazení tekutým dusíkem. [12]



Obrázek 4.1: Prst poškozený bradavicemi. Zdroj: [1]

4.1.2 Hyperkeratotický ekzém

Hyperkeratotický ekzém je podle [12] jedním ze sedmi typů ekzémů postihujících ruce. Ekzémy rukou jsou velmi častým onemocněním kůže, kterým jsou postiženy asi 4 % populace. Různé typy ekzémů je často složité odlišit. Hyperkeratotický ekzém je chronickou formou onemocnění, která komplikuje běžný život pacientů. Léčba je velmi zdoluhavá a většina pacientů je postižena onemocněním i 15 let po prvním objevení nemoci. [12]

Tímto typem ekzému trpí téměř výhradně muži. Většina pacientů jsou starší dospělí. Nemoc se může objevit v důsledku alergie nebo podráždění či poškrábání kůže, často ale příčina není nalezena. Některé zdroje uvádějí i možnou spojitost vzniku ekzému v důsledku těžké manuální práce [8]. Kromě rukou může postihovat také paty nohou. [9] [12]

Ekzém se projevuje výskytem jedné nebo více středně velkých oblastí ve tvaru šupin, které jsou zbarvené do žlutohněda. Tyto oblasti se vyznačují zhuštěním svrchní vrstvy kůže. Mezi těmito oblastmi se mohou vyskytovat hluboké, navzájem se propojující trhliny. Hyperkeratotický ekzém bývá složité odlišit od podobných onemocnění, především například od psoriázy. [9] [12]

Ekzém se léčí využitím steroidních krémů, jejichž použití ale často vede ke vzniku vedlejších účinků, nebo okluzní terapie. Další možností léčby je podle [17] podávání retinoidů, jejich působením ovšem nemoc zcela neustoupí, jen dojde ke zmírnění jejích projevů. Navíc po ukončení léčby se většinou nemoc zase vrací. Ukázka prstu postiženého hyperkeratotickým ekzémem je na obrázku 4.2. [8] [9]



Obrázek 4.2: Prst poškozený hyperkeratotickým ekzémem. Zdroj: [1]

4.2 Projevy vybraných kožních onemocnění v otiscích prstů

Analýzou poskytnuté databáze otisků prstů provedenou ve [1] bylo zjištěno, že se ve snímcích poškozených otisků vyskytují společné prvky definující poškození. Bylo také spočítáno procentuální rozložení těchto prvků ve snímcích různých onemocnění, na jehož základě lze určit, jaké prvky se ve snímcích daného onemocnění nejvíce vyskytují a zjistit tedy jak se projevy různých nemocí reálně zobrazí ve snímku otisku prstu.

Sedm z dvanácti nalezených prvků jsou prvky vyskytující se na lokální úrovni, které budou důležité pro generování poškození v této práci. Konkrétně se jedná o tyto prvky [1]:

- přímé linie (SL)
- mřížka (G)
- malá narušení papilárních linií (PLD)
- malé „gepardí“ skvrny (CS),
- větší kulaté/podlouhlé skvrny (ROS)
- velké nepravidelné skvrny (IS)
- tmavá místa (DP).

Procentuální rozložení těchto prvků ve snímcích otisků prstů poškozených bradavicemi a hyperkeratotickým ekzémem, je vidět v tabulce 4.1. Tato tabulka byla převzata z [1].

Tabulka 4.1: Procentuální rozložení lokálních prvků poškození ve snímcích otisků prstu

Onemocnění	Procento jednotlivých lokálních prvků [%]							Suma
	SL	G	PLD	CS	ROS	IS	DP	
Bradavice	3.17	0	14.29	12.7	74.6	0	25.4	63
Hyperkeratotický ekzém	3.92	0	66.67	15.69	74.51	3.92	5.88	51

Zbýlých pět nalezených prvků je globálního charakteru a týkají se především celkové kvality snímku, nikoli vlivu samotných onemocnění, takže nejsou pro tuto práci příliš významné.

4.2.1 Projevy bradavic ve snímcích otisků prstu

Bradavice se v otiscích prstů většinou projevují jako větší skvrny kulatého tvaru s nepravidelnými okraji. Každá skvrna představuje jednu bradavici. V poskytnuté databázi se ve většině otisků vyskytuje pouze jedna tzv. „mateřská“ bradavice. Uprostřed těchto skvrn lze především u velkých bradavic nalézt malé, černé, náhodně rozmístěné tečky, znázorňující ve snímku trombotizované kapiláry. V okolí kolem skvrn, tedy kolem bradavic, může docházet k mírnému narušení papilárních linií a jejich deformaci.

Bradavice postihují většinou jen malou část plochy otisku prstu, jejich vliv je z otisku prstu tedy snadno odstranitelný a otisk je tedy možné případně zrekonstruovat. Navíc se po léčbě obnoví původní struktury papilárních linií. Ukázky všech těchto projevů ve snímcích otisků prstu jsou vidět na obrázku 4.3.



Obrázek 4.3: Snímky otisků prstu s projevy bradavic. Zdroj: Databáze

4.2.2 Projevy hyperkeratotického ekzému ve snímcích otisků prstu

Hyperkeratotický ekzém se ve snímku otisku prstu projevuje především přerušovanými papilárními liniemi a výskytem menších až středních podlouhlých skvrn. Většinou je poškozena třetina až polovina snímku otisku prstu. [1] [5]

V některých případech jsou jediným poškozením pouze přerušované papilární linie, jindy ale může být struktura papilárních linií zcela ztracena a není možné určit jejich původní směr, tudíž není možné zjistit původní vzhled otisku. Zbýlé papilární linie a odlupující se kůže na prstech mohou v otisku způsobit výskyt tmavých skvrnek. [1] [5] Ukázky snímků otisků prstu s projevy hyperkeratotického ekzému jsou na obrázku 4.4.



Obrázek 4.4: Snímky otisků prstu s projevy hyperkeratotického ekzému. Zdroj: Databáze

Kapitola 5

Návrh algoritmu pro generování projevů vybraných onemocnění

Tato kapitola popisuje návrh algoritmů pro generování projevů bradavic a hyperkeratotickeho ekzému do syntetických otisků prstů vytvořených generátorem Anguli. Základním cílem obou algoritmů je, aby vygenerované poškození vypadalo co nejrealističtěji a vzorky vygenerované pomocí nich mohly být použity například pro testování systémů pro rozpoznávání otisků prstu.

5.1 Návrh algoritmu pro generování projevů bradavic

Jak bylo zjištěno v předchozí kapitole, hlavním projevem bradavic v otiscích prstů jsou bílé skvrny bez papilárních linií s nepravidelnými okraji a tečkami uprostřed. Pro napodobení bradavic je tedy nutné nejprve vymazat papilární linie a poté na místo bez linií umístit tečky a nepravidelné okraje. Z této myšlenky vyplývají jednotlivé kroky algoritmu, které jsou zde dále popsány.

1. Detekce plochy syntetického otisku prstu – Na začátku je načten obraz syntetického otisku získaný z Anguli a je rozlišeno pozadí otisku od otisku samotného.
2. Vybrání souřadnic pro umístění bradavice – Dalším krokem je vygenerování náhodných souřadnic středu bradavice. Souřadnice se musí nacházet uvnitř plochy otisku získané v předchozím kroku.
3. Vygenerování plochy bradavice – Dále bude vygenerován tvar představující plochu, kterou bude bradavice v otisku zabírat. Zde se určuje zároveň i velikost bradavice, kterou si uživatel vybere zadáním vhodného parametru. Tvar se poté umístí do zdravého otisku na souřadnice vybrané v předchozím kroku a vymaže v něm tak papilární linie
4. Vytvoření okrajů bradavice – Jelikož bradavice jsou ohraničeny nepravidelným okrajem, je tento okraj vygenerován zvlášť do nového prázdného obrazu. Po úpravách je okraj přidán do syntetického otisku kolem plochy bradavice.
5. Přidání teček do plochy bradavice – Nakonec se do plochy bradavice vygenerují rozostřené tečky různých velikostí symbolizující kapiláry. O počtu teček rozhoduje velikost bradavice.

6. Uložení výsledného otisku prstu s bradavicemi

Body 2 až 5 je možné opakovat vícekrát podle toho, kolik bradavic se bude do jednoho otisku generovat. Počet bradavic ke generování si určí uživatel zadáním příslušných parametrů. Je-li generováno do jednoho otisku prstu více bradavic, přidává se v bodě 2 kontrola vzdálenosti od již vygenerovaných bradavic, aby nedošlo k překrývání bradavic či generování více vzorků na stejné místo.

5.2 Návrh algoritmu pro generování projevů hyperkeratotického ekzému

Otisky prstu ovlivněné hyperkeratotickým ekzémem charakterizuje především přerušení papilárních linií a jejich deformace. Při středním a vyšším rozsahu poškození hyperkeratotickým ekzémem u otisků nelze často rozlišit původní linie a zůstanou z nich pouze tmavé skvrny. Dalším častým projevem jsou větší a střední světlé skvrny.

Přerušení papilárních linií se objevuje často na celé ploše otisku. Výraznější deformace a poškození papilárních linií se ale většinou vyskytuje jen na části otisku, většinou po okrajích. Je tedy nutné vybrat jen určité části, ve kterých se bude větší poškození aplikovat.

Vytvořený simulátor by měl být schopen vytvářet několik stupňů poškození (ukázka reálných otisků z databáze s různým stupněm poškození, viz obrázek 5.1):

- První stupeň, při kterém se bude generovat pouze přerušení papilárních linií a na části otisku světlé skvrny, které budou moct zabírat plochu až do poloviny otisku.
- Druhý stupeň poškození, ve kterém budou navíc kromě přerušených linií a světlých skvrn přidány i malé tmavší skvrny pro výraznější deformaci linií. Povolený rozsah v tomto případě bude až kolem jedné třetiny plochy otisku.
- A třetí stupeň, ve kterém bude vybrána ještě větší plocha a bude v ní větší počet více výrazných tmavých skvrn. Velikost oblastí k poškození se bude pohybovat v rozsahu od jedné třetiny až do dvou třetin plochy otisku.

Za účelem napodobení všech výše uvedených projevů a generování různých stupňů poškození byl navržen následující algoritmus:

1. Detekce plochy syntetického otisku prstu – Prvním krokem je stejně jako u předchozího algoritmu načtení syntetického otisku prstu a rozlišení jeho pozadí od samotného otisku.
2. Přerušení papilárních linií – V celé oblasti otisku dojde k přerušení papilárních linií.
3. Výběr oblasti pro aplikaci většího poškození – Dalším krokem je výběr oblasti (nebo více oblastí), které budou podrobeny většímu poškození. Pokud nebude zadána velikost oblasti uživatelem, vybere se plocha o náhodné velikosti z povoleného rozsahu podle stupně poškození.
4. Přidání světlých skvrn – Do oblastí vybraných v předchozím kroku se vygenerují větší světlé skvrny.
5. Deformace papilárních linií

- (a) V případě výběru prvního stupně poškození je tento krok vynechán.
 - (b) Při druhém stupni poškození se ve vybrané oblasti deformují papilární linie a pro další podpoření deformace se do poškozovaných oblastí vygeneruje malé množství tmavých skvrn.
 - (c) Při třetím stupni poškození se ve vybrané oblasti také deformují papilární linie a pro další podpoření deformace se do poškozovaných oblastí vygeneruje větší množství tmavých skvrn.
6. Finální úpravy poškozovaných oblastí – V poškozovaných oblastech se provedou finální úpravy v podobě dobarvení pixelů, rozostření, rozmazání a podobně.
7. Uložení výsledného otisku prstu s projevy hyperkeratotického ekzému

Stupeň poškození si uživatel zvolí zadáním vhodných vstupních parametrů. Podle nich se potom spustí algoritmus s příslušnou modifikací a jeho provedením by měl vzniknout snímek otisku prstu s projevy hyperkeratotického ekzému.



Obrázek 5.1: Ukázky otisků prstu z reálné databáze s různým stupněm poškození hyperkeratotickým ekzémem. Zdroj: Databáze

Kapitola 6

Implementace simulátoru

Obsahem této kapitoly je popis implementace výsledného simulátoru projevů bradavic a hyperkeratotického ekzému. Je zde uveden detailní popis implementace algoritmů navržených v kapitole 5 a všechny nástroje a postupy použité pro implementaci těchto algoritmů. V závěru kapitoly jsou ukázány výsledky simulátoru na otiscích prstu v porovnání s nepoškozenými původními otisky.

Simulátor byl implementován v jazyce Python¹, konkrétně ve verzi 3.6, a byl vytvořen jako konzolová aplikace, která na základě zadaných parametrů generuje poškození do otisků prstu. Pro efektivní zpracování obrazu je využita knihovna OpenCV² v kombinaci s knihovnou pro vědecké výpočty NumPy³, která slouží mimo jiné pro rychlou a snadnou práci s maticemi a vícerozměrnými poli.

6.1 Načtení vstupních parametrů a souborů

O zpracování vstupních parametrů se stará modul *Argparse*. V závislosti na nemoci, jejíž projevy se mají generovat, je možné skriptu zadat několik parametrů. Vždy je nutné zadat alespoň jeden parametr, určující zda se budou generovat bradavice nebo ekzém.

Současně skript při spuštění očekává umístění jednoho či více syntetických otisků prstu k poškození v adresáři s názvem `fingerprints`. Tento adresář musí být umístěn ve stejné složce jako skript. Při načítání snímků z adresáře probíhá ve funkci `load_anguli_fingerprints` kontrola, zda se jedná o správný obrazový formát. Povoleny jsou pouze formáty, ve kterých je možné vygenerovat otisk prstu pomocí `Anguli`. Pokud se v adresáři nacházejí i soubory jiného typu, jsou přeskočeny, aby nedošlo k chybě.

Generování bradavic je možné spustit zadáním parametru `-w` nebo `--warts`. Je-li parametr zadán o samotě, vygeneruje se do zadaného otisku jedna bradavice náhodné velikosti a výsledný otisk se uloží do složky s názvem `warts_result`. Za parametr `-w` lze napsat také číslo od 1 do 5, které určuje počet bradavic, které budou vygenerovány do jednoho otisku. Lze také nastavit velikost generovaných bradavic pomocí parametru `-s` a čísla v rozsahu od 1 do 5 (větší číslo znamená větší velikost bradavice).

Protože projevy ekzému jsou v otiscích různorodé, bylo generování ekzému rozděleno na více typů poškození. Uživatel si tedy pomocí parametru může vybrat jeden ze stupňů poškození. Generování ekzému lze spustit zadáním parametru `-e` nebo `--eczema`. Podobně

¹<https://www.python.org/>

²<https://opencv.org/>

³<http://www.numpy.org/>

jako u bradavic je možné tento parametr zadat samostatně nebo s číslem od 1 do 3 určujícím stupeň poškození. Při spuštění skriptu pouze s parametrem **-e** se skript chová jako by bylo zadáno **-e 1** a spustí se generování prvního stupně poškození. Dále je možné pomocí parametru **-p** nastavit v procentech rozsah poškození ekzémem. Pro každý stupeň poškození je určeno konkrétní rozmezí počtu procent, ve kterém se zadaná hodnota musí pohybovat. Posledním nastavitelným parametrem u ekzému je možnost určení až dvou kvadrantů otisku prstu, ze kterých nemoc postupuje. Tuto volbu lze nastavit pomocí parametru **-q** a čísel v rozsahu od 1 do 4. Číselná označení kvadrantů odpovídají označení na obrázku 6.1.

Po zpracování parametrů a načtení nepoškozených otisků prstu, se předá další provádění programu příslušné funkci pro generování konkrétního onemocnění. Generování probíhá jak u bradavic tak u ekzému dokud nejsou poškozeny všechny zadané otisky z adresáře fingerprints.



Obrázek 6.1: Označení kvadrantů otisku prstu.

6.2 Generování bradavic

Proces generování bradavic probíhá ve funkci `generate_warts`. Tato funkce obsahuje cyklus probíhající dokud se nezpracují všechny nepoškozené snímky otisků prstů. Jejimi parametry jsou počet bradavic, který se musí vygenerovat do jednoho otisku, a velikost bradavic. Uvnitř cyklu se postupně volají další funkce pro vygenerování bradavic.

Protože prvním krokem při generování je výběr souřadnic pro umístění bradavice, je nejprve volána funkce `wart_coordinates`, která vrací souřadnice nacházející se uvnitř otisku prstu. V této funkci nejdříve proběhne odlišení plochy otisku od pozadí pomocí vyhlazovačích a prahovacích funkcí z knihovny OpenCV. Plocha otisku je po úpravách reprezentována černou barvou a pozadí bílou.

Jedním z parametrů funkce `wart_coordinates` je i seznam již použitých souřadnic. Použité souřadnice jsou ukládány, aby bylo možné zamezit generování bradavic na stejné místo. Není-li seznam použitých souřadnic prázdný, vykreslí se na všech těchto souřadnicích kruhy bílé barvy s průměrem mírně větším než je velikost generovaných bradavic. Tímto způsobem se již vygenerované bradavice označí za součást pozadí, nemohou být znova vybrány a nemohou být vybrány ani body v jejich nejbližším okolí, což by způsobilo překrývání bra-

davic. Poté jsou náhodně vybrány souřadnice pro umístění bradavice a proběhne ověření, že spadají do plochy otisku prstu, tedy že obrazový bod s danými souřadnicemi je černý.

Další volanou funkcí je funkce `add_wart`. Tato funkce slouží k vytvoření jedné bradavice a jejímu vložení na vybrané souřadnice. Počet volání této funkce odpovídá počtu bradavic, které si uživatel přeje vygenerovat do jednoho snímku otisku prstu. Nejprve je vygenerován tvar bradavice spuštěním funkce `generate_wart_shape`.

Tvar se generuje do nového prázdného obrázku se stejnými rozměry jako má snímek zdravého otisku prstu. Základem pro tvar bradavice je vždy kruh se středem na dříve vybraných souřadnicích, jehož poloměr z části určuje velikost bradavice. Po vykreslení kruhu do prázdného obrázku na správné místo jsou vyhledány všechny body ležící na kružnici, která tento kruh vymezuje. Na několika náhodných bodech nalezených na kružnici se poté vykreslí elipsy, které pomohou vytvořit nepravidelné okraje bradavice. Elipsy mají náhodné délky os, které závisí na velikosti generované bradavice. Funkce poté vrátí obrázek s vykresleným tvarem bradavice, který se použije jako maska pro vymazání papilárních linií ve snímku zdravého otisku prstu.

Obrázek s tvarem bradavice se poté předává další volané funkci pro generování tmavého okraje bradavice s názvem `generate_wart_outline`. Tmavý okraj je v této funkci vytvořen pomocí nalezení a vykreslení samotného černého obrysu tvaru bradavice pomocí funkcí `findContours()` a `drawContours()` z knihovny OpenCV a mírnou rotací tvaru bradavice, který je následně znovu vykreslen v bílé barvě přes nalezenou konturu.

Posledním krokem, který je nutné provést, je přidání teček zobrazujících kapiláry. K tomuto účelu byla vytvořena funkce `add_dots`, která generuje malé černé tečky na náhodné souřadnice uvnitř bradavice. Počet teček pro generování se počítá na základě obsahu plochy bradavice. Každý krok procesu generování bradavic je zobrazen na obrázku 6.2.

Okraje bradavice i s tečkami se umístí do zdravého otisku prstu a generování jedné bradavice je ukončeno. Poté je buď znova zavolána funkce `add_wart` pro generování dalších bradavic, nebo je snímek s poškozeným otiskem prstu uložen do složky s názvem `warts_result` a pokračuje se generováním do dalšího zdravého otisku v pořadí.



Obrázek 6.2: Proces generování bradavice: (a) kruh, který je základem bradavice, (b) přidání elips pro vytvoření požadovaného tvaru, (c) vykreslení obrysu bradavice, (d) úprava okraje pomocí rotace, (e) kompletní bradavice po přidání teček.

Výsledky generování bradavic do syntetických otisků prstů z generátoru Anguli jsou na obrázku 6.3. Obrázky 6.3a a 6.3c jsou syntetické otisky bez poškození, které slouží pro porovnání s výsledkem generování. Obrázek 6.3b ukazuje výsledek generování pěti bradavic o různých velikostech do jednoho snímku otisku prstu. Obrázek 6.3d slouží k demonstraci toho, že aplikace je schopna bradavice vygenerovat i na hranu otisku prstu.



(a) Syntetický otisk prstu z generátoru Anguli.



(b) Otisk prstu s větším počtem bradavic.



(c) Syntetický otisk prstu z generátoru Anguli.



(d) Otisk prstu s bradavicí na okraji.

Obrázek 6.3: Výsledky generování bradavic.

6.3 Generování projevů hyperkeratotického ekzému

Generování hyperkeratotického ekzému začíná zavoláním funkce `generate_eczema`, ve které se v závislosti na vybrané úrovni ekzému spouští další příslušné funkce vytvářející různé typy poškození. Před samotným generováním poškození ale musí být vybrána oblast otisku, která se bude poškozovat. Tato oblast se vybere pomocí funkce `select_shape`.

6.3.1 Výběr oblasti k aplikaci poškození

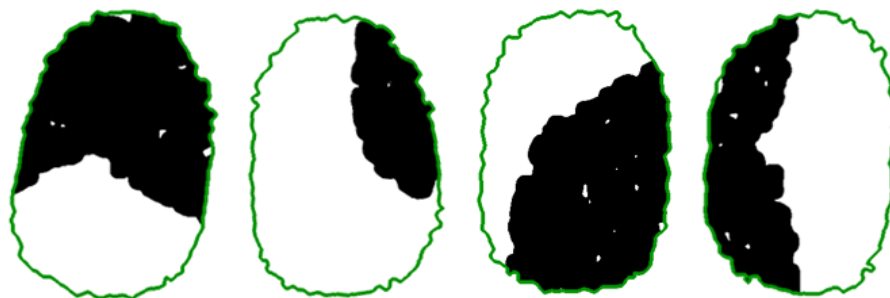
Funkce `select_shape` jako své parametry přijímá čísla kvadrantů, ze kterých se má nemoc rozšiřovat, podíl otisku prstu, který má být poškozen, a snímek zdravého otisku prstu. Nejprve je plocha otisku odlišena od pozadí podobně jako u bradavic. Protože je pro vybrání plochy k poškození důležité, aby otisk zabíral co největší část snímku, přebývající okraje obsahující pouze pozadí jsou odstraněny pomocí zmenšení snímku na velikost obdélníku ohraničujícího vnější konturu otisku prstu. Současně je vytvořen prázdný snímek o velikosti tohoto obdélníku.

Dále je nutné vypočítat plochu oblasti otisku prstu. K tomu je využita funkce `countNonZero()` z knihovny OpenCV, která vrátí počet nenulových pixelů ve snímku. Na základě vypočtené plochy a procentuální hodnoty poškození otisku zadané uživatelem se poté spočítá

obsah, který musí mít požadovaná oblast poškození. Výsledkem výpočtu jsou dvě hodnoty, určující dolní a horní hranici obsahu, jelikož je pro výběr náhodné plochy potřeba mírná tolerance. Je povoleno vzdálit se od zadané procentuální hodnoty o 0,4 %. Teprve po určení těchto hodnot je možné začít generovat požadovanou část otisku prstu.

Oblast určená k poškození je vždy vytvářena od okraje otisku. Na začátku generování této oblasti se do dříve vytvořeného prázdného snímku vykreslí část elipsy. Do této elipsy, která je umístěna v rohu určeného kvadrantu (nebo více kvadrantů), se pomocí funkce `create_patches` vloží náhodné flíčky. Tato oblast je dále upravena rozostřením a prahováním, což zajistí vznik nepravidelných okrajů oblasti, kterých je potřeba docílit pro realistický vzhled poškození. Poté následuje kontrola, zda takto vytvořená oblast má požadovaný obsah. Pokud ne, oblast postupně roste.

Rozšiřování oblasti probíhá postupným zvětšováním původní vykreslené části elipsy bez upravených okrajů pomocí dilatace. Po každém cyklu dilatace proběhne znovu úprava okrajů a poté následuje opětovné vypočtení velikosti vybrané plochy. Když se hodnota jejího obsahu dostane do požadovaného rozsahu, rozšiřování plochy je ukončeno. Úprava okrajů musí vždy proběhnout až po rozšíření oblasti elipsy, protože v opačném případě by postupná dilatace způsobila ztrátu vytvořené struktury okrajů. Při úpravě okrajů už ovšem není potřeba znova volat funkci `create_patches`, jelikož se využívá skvrn již vytvořených na začátku generování této plochy. Ukázky takto vybraných oblastí jsou na obrázku 6.4.



Obrázek 6.4: Ukázka vybraných oblastí určených k poškození s přidáním okrajem otisku pro lepší viditelnost.

6.3.2 Simulace poškození způsobeného ekzémem

Po výběru oblasti, která má být poškozena, je možné přistoupit ke generování samotných znaků poškození. K tomu slouží hned několik vytvořených funkcí. Během tohoto kroku také záleží na tom, jaký stupeň poškození má být vygenerován, protože každý stupeň má mírně odlišné znaky. Společným znakem všech stupňů poškození je pouze přerušování papilárních linií v celé oblasti otisku, kterého je docíleno vykreslením menších světlých objektů přes zdravý otisk prstu.

Hlavním znakem prvního stupně poškození ekzémem je výskyt středně velkých světlých skvrn, které jsou simulovány pomocí funkce `create_patches`. Tato funkce je schopna vygenerovat různě velké bílé nebo černé skvrny a byla navržena tak, aby mohla být zadáním různých parametrů využita i při generování všech dalších stupňů poškození. Skvrny se generují do nového prázdného černého snímku nejprve jako malé bílé tečky, které jsou dále

transformovány pomocí funkcí z knihovny OpenCV do větších objektů. Vzniklé skvrny jsou poté aplikovány na dříve vybranou část otisku prstu, zatímco ve zbylé části otisku jsou přerušeny papilární linie. Poté je výsledný otisk s vygenerovaným poškozením uložen. Ukázky výsledků generování prvního stupně ekzému jsou na obrázku 6.5.



(a) Dokonalý otisk prstu z generátoru Anguli.



(b) Ekzém aplikovaný na dokonalý otisk.



(c) Syntetický otisk prstu z generátoru Anguli.



(d) Otisk prstu s projevy ekzému.

Obrázek 6.5: Výsledky generování projevů ekzému prvního stupně.

U druhého a třetího stupně poškození je postup generování mírně odlišný, jelikož je nutné generovat jiné znaky. Na rozdíl od generování prvního stupně se tentokrát nebudou do vybrané oblasti pouze generovat světlé skvrny, ale budou se v ní upravovat i samotné papilární linie a přidávat malé tmavé flíčky. Jelikož generování druhého a třetího stupně poškození probíhá z větší části obdobně, byla pro něj vytvořena společná funkce `add_eczema`.

Prvním krokem při generování druhého stupně poškození je tedy uložení vybrané části otisku do prázdného obrázku, což umožní tuto oblast dále jednodušeji upravovat. V původním nepoškozeném otisku jsou ve vybrané oblasti papilární linie vymazány.

Do uložené oblasti se poté vygenerují opět pomocí funkce `create_patches` větší světlé skvrny a v oblasti zůstanou jen zbytky papilárních linií. Poté se na papilární linie aplikuje šum zavoláním funkce `generate_noise` a dojde k jejich rozmazání. Posledním důležitým krokem je přidání malých tmavých flíčků. Ty jsou vytvořeny opět za pomoci funkce `create_patches`. Nakonec se takto upravená část vloží zpět do původního otisku prstu. Těsně před vložením poškozené oblasti na správné místo se ve zbytku otisku také přerušují papilární linie. Ukázky výsledků generování druhého stupně ekzému jsou na obrázku 6.6.



(a) Dokonalý otisk prstu z generátoru Anguli.



(b) Ekzém aplikovaný na dokonalý otisk.



(c) Syntetický otisk prstu z generátoru Anguli.



(d) Otisk prstu s projevy ekzému.

Obrázek 6.6: Výsledky generování projevů ekzému druhého stupně.

Druhý a třetí stupeň poškození se od sebe z hlediska implementace liší především ve velikosti generovaných znaků poškození a velikosti poškozené plochy, jinak vše probíhá podobným způsobem. Dalším rozdílem je nižší míra přerušení papilárních linií, což se zajistí zmenšením světlých skvrn, které přerušení simulují. Výsledky generování projevů třetího stupně ekzému jsou na obrázku [6.7](#).

Výsledné otisky prstů s projevy ekzému jsou bez ohledu na vybraný stupeň poškození vždy po vygenerování ukládány do složky s názvem `eczema_result`.



(a) Dokonalý otisk prstu z generátoru Anguli.



(b) Ekzém aplikovaný na dokonalý otisk.



(c) Syntetický otisk prstu z generátoru Anguli.



(d) Otisk prstu s projevy ekzému.

Obrázek 6.7: Výsledky generování projevů ekzému třetího stupně.

Kapitola 7

Testování a výsledky

Po implementaci simulátoru bylo nutné ověřit výsledky generování. Následující kapitola proto popisuje průběh testování výsledných otisků prstů s projevy obou onemocnění a předkládá výsledky tohoto testování. Výsledky ukazují, jak se změnila úroveň poškození otisku prstu po vložení znaků daného onemocnění. Pro testování snímků otisků prstu byl použit program NeuroTechnology VeriFinger¹.

7.1 Popis testovacích sad

Pro účely testování bylo vytvořeno celkem třináct testovacích sad otisků prstů, z toho šest z nich obsahovalo otisky prstů s vygenerovaným poškozením bradavicemi a do otisků prstů ve zbylých sedmi sadách byly vygenerovány znaky hyperkeratotického ekzému. Každá sada obsahovala sto snímků otisků prstů s vygenerovanými znaky poškození s různými parametry. Celkem tedy bylo vygenerováno 600 snímků otisků prstů s projevy bradavic a 700 snímků otisků prstů s projevy ekzému.

Každá z testovacích sad byla vytvořena s jinými parametry generování, aby mohlo být vyhodnoceno, jaké parametry mají na míru poškození otisku největší vliv. Všechny sady budou dále popsány včetně konkrétních parametrů s jakými byly znaky onemocnění generovány. Aby bylo možné míru poškození způsobeného onemocněním určit, byla součástí testování také sada původních nepoškozených otisků z generátoru Anguli, vůči kterým bylo poškozené otisky nutné porovnat.

Parametry testovacích sad vytvořených pro ověření generování bradavic jsou v tabulce 7.1. Sady byly navrženy tak, aby porovnáním jejich výsledků bylo možné zjistit co nejvíce informací o vlivu bradavic na otisk prstu, například do jaké míry je důležitá velikost bradavic a také jakým způsobem ovlivní otisk prstu narůstající počet bradavic.

V prvních dvou testovacích sadách byla do otisků prstů generována pouze jedna bradavice. Třetí a čtvrtá sada obsahuje otisky se třemi bradavicemi. V páté a šesté testovací sadě obsahují otisky prstů pět bradavic. Každé dvě sady se stejným počtem bradavic se poté liší ve velikosti generovaných bradavic, v sadách označených lichými čísly jsou generovány velmi malé bradavice, v sadách označených sudými čísly naopak co největší.

¹<http://www.neurotechnology.com/verifinger.html>

Tabulka 7.1: Parametry testovacích sad vytvořených pro bradavice

Testovací sada	Počet bradavic	Velikost bradavic
Bradavice 1	1	1
Bradavice 2	1	5
Bradavice 3	3	1
Bradavice 4	3	5
Bradavice 5	5	1
Bradavice 6	5	5

Parametry testovacích sad pro hyperkeratotický ekzém jsou v tabulce 7.2. Jelikož při generování ekzému je hlavně díky možnosti nastavení velikosti poškozené plochy v procentech velké množství možností generování, parametry byly opět zvoleny takovým způsobem, aby bylo možné mezi sebou porovnat výsledky jednotlivých stupňů a získat tak co nejvíce informací.

Pro všechny tři stupně poškození byla vytvořena jedna sada s velikostí poškozené plochy 35 %, což umožní zjistit, jestli rozdílné stupně ekzému se stejnou plochou poškození budou vykazovat podobné výsledky. Současně byly pro každý stupeň ekzému generovány sady s nejnižší i nejvyšší povolenou velikostí poškozené plochy, což zajistí zjištění nejnižší a nejvyšší míry poškození, jakou mohou jednotlivé stupně ekzému v otisku prstu způsobit.

Tabulka 7.2: Parametry testovacích sad vytvořených pro hyperkeratotický ekzém

Testovací sada	Stupeň poškození	Velikost poškozené plochy [%]
Ekzém 1	1	15
Ekzém 2	1	35
Ekzém 3	1	50
Ekzém 4	2	15
Ekzém 5	2	35
Ekzém 6	3	35
Ekzém 7	3	65

7.2 Průběh testování a výsledky

Pro testování byl použit nástroj VeriFinger pro identifikaci otisků prstů. Pomocí něj je možné ověřovat či identifikovat otisky prstů oproti databázi. Výsledkem porovnání dvou snímků otisku je potom skóre, určující do jaké míry se otisky shodují.

Sada nepoškozených otisků prstů z generátoru Anguli byla tedy nejprve nahrána do databáze. Dále bylo nutné zjistit, jaké skóre shody má snímek otisku ještě před tím, než na něj bylo aplikováno onemocnění. Každý nepoškozený otisk prstu byl nejprve ověřen vůči sobě samému a jeho skóre shody bylo zapsáno. Poté bylo možné přistoupit k samotnému testování snímků poškozených otisků prstu z jednotlivých testovacích sad. Každý snímek poškozeného otisku prstu byl identifikován a jeho výsledné skóre shody bylo zapsáno. Z těchto hodnot byl pro každou sadu vypočítán medián, který ukazuje, okolo jaké hodnoty skóre shody se otisky prstů v dané sadě pohybovaly.

Po provedení tohoto postupu pro všechny snímky ve všech testovacích sadách bylo možné na základě zjištěných zapsaných hodnot vypočítat v procentech míru poškození

otisku oproti původnímu nepoškozenému otisku. Skóre shody původního nepoškozeného otisku posloužilo jako referenční hodnota pro nejvyšší kvalitu otisku. Pomocí něj pak byla pro každý otisk vypočítána procentuální hodnota poškození snímku. Pro každou sadu pak z těchto vypočtených procentuálních hodnot byla vypočtena střední hodnota, která reprezentuje průměrnou kvalitu snímků v dané sadě. Výsledky testování jsou prezentovány v následujících podkapitolách.

7.2.1 Výsledky testování otisků prstu s bradavicemi

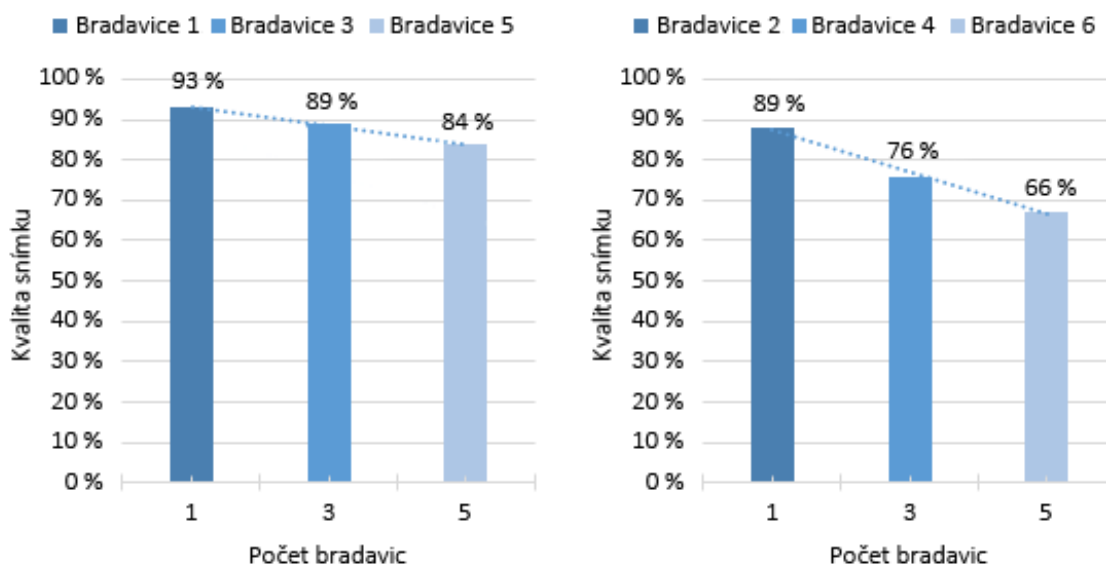
Výsledky testování sad s otisky obsahujícími bradavice jsou znázorněny v tabulce 7.3.

Tabulka 7.3: Výsledky testování otisků prstu s hyperkeratotickým ekzémem

Testovací sada	Zdravé otisky	Bradavice 1	Bradavice 2	Bradavice 3
Medián	1467	1370	1313,5	1316
Kvalita [%]	100	93	89	89
Testovací sada	Bradavice 4	Bradavice 5	Bradavice 6	
Medián	1111	1254	962	
Kvalita [%]	76	84	66	

Výsledky ukazují, že výskyt bradavic negativně ovlivňuje kvalitu otisku prstu. Při pohledu na výsledky sady Bradavice 1 oproti referenční sadě zdravých otisků je vidět, že přidání jedné bradavice do otisku prstu může způsobit snížení kvality snímku v průměru až o 7 %. Nejnižší kvality bylo dosaženo u testovací sady Bradavice 7, kde došlo k poklesu kvality v průměru o 34 %.

Se zvyšujícím se počtem přidávaných bradavic se kvalita snižuje, což je způsobeno skutečností, že větší počet bradavic zakrývá v otisku prstu větší plochu a současně zde existuje větší pravděpodobnost, že bradavice bude vygenerována na místo, kde bude zakrývat markanty. Tento trend je znázorněn v grafech na obrázku 7.1.



Obrázek 7.1: Grafy znázorňující pokles kvality snímku v závislosti na počtu bradavic.

Na obrázku 7.1 lze také vidět, že snižování kvality probíhá pomaleji u menších bradavic. Při přidávání větších bradavic kvalita klesá mnohem rychleji, s každými dvěma bradavicemi přibližně o 10 %. Z toho také vyplývá, že kromě počtu bradavic kvalitu snímku do značné míry ovlivňuje i jejich velikost. Srovnáme-li výsledky každých dvou sad se stejným počtem bradavic, zjistíme, že sada, kde byly do otisku generovány větší bradavice, má vždy nižší kvalitu.

V průběhu testování bylo navíc pozorováno, že bradavice mají tendenci vytvářet v otiscích prstů falešné markanty, jejichž výskyt může negativně ovlivnit úroveň rozpoznání otisku, a také že záleží na tom, na jaké místo v otisku prstu byla bradavice vygenerována. Při umístění bradavice na pozici v jádru nebo deltě otisku prstu se kvalita snímku sníží trochu více než je průměr.

7.2.2 Výsledky testování otisků prstu s hyperkeratotickým ekzémem

Výsledky testování sad s otisky obsahujícími projevy hyperkeratotického ekzému jsou znázorněny v tabulce 7.4.

Tabulka 7.4: Výsledky testování otisků prstu s hyperkeratotickým ekzémem

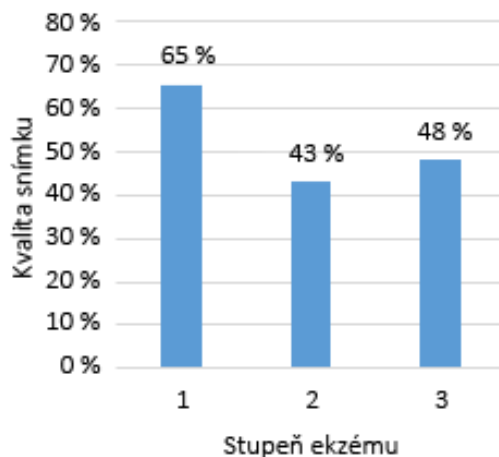
Testovací sada	Zdravé otisky	Ekzém 1	Ekzém 2	Ekzém 3
Medián	1467	962	820,5	707,5
Kvalita [%]	100	65	55	47
Testovací sada	Ekzém 4	Ekzém 5	Ekzém 6	Ekzém 7
Medián	847,5	627	702,5	338
Kvalita [%]	57	43	48	23

Podle této tabulky si lze všimnout, že hyperkeratotický ekzém má na kvalitu otisků prstů velký vliv. Už při výběru poměrně nízké velikosti poškozené plochy se kvalita otisků sníží až o 35 %. Kvalita snímků se mění v závislosti jak na vybraném stupni ekzému, tak na velikosti plochy poškození.

Co se týče vlivu jednotlivých stupňů ekzému, po srovnání výsledků sad Ekzém 1 a Ekzém 4 a také sad Ekzém 2 a Ekzém 5, které byly generovány s rozdílným stupněm ekzému, ale stejnou velikostí poškozené plochy, lze říct, že na kvalitu snímku má větší vliv druhý stupeň ekzému oproti prvnímu.

Zajímavé je také srovnání výsledků sad Ekzém 5 a Ekzém 6, které byly rovněž generovány se stejnou velikostí poškozené plochy, ale různým stupněm ekzému. U sady Ekzém 5 (obsahující otisky s druhým stupněm ekzému) je výsledná kvalita snímků kolem 43 %, u sady Ekzém 6 (obsahující otisky s třetím stupněm ekzému) však dojde k 5% nárůstu kvality. Tento nárůst bude pravděpodobně způsoben skutečností, že při generování třetího stupně ekzému dochází v otiscích k nižší míře přerušení papilárních linií a tudíž zůstane v otisku i po jeho poškození více rozpoznatelných markantů.

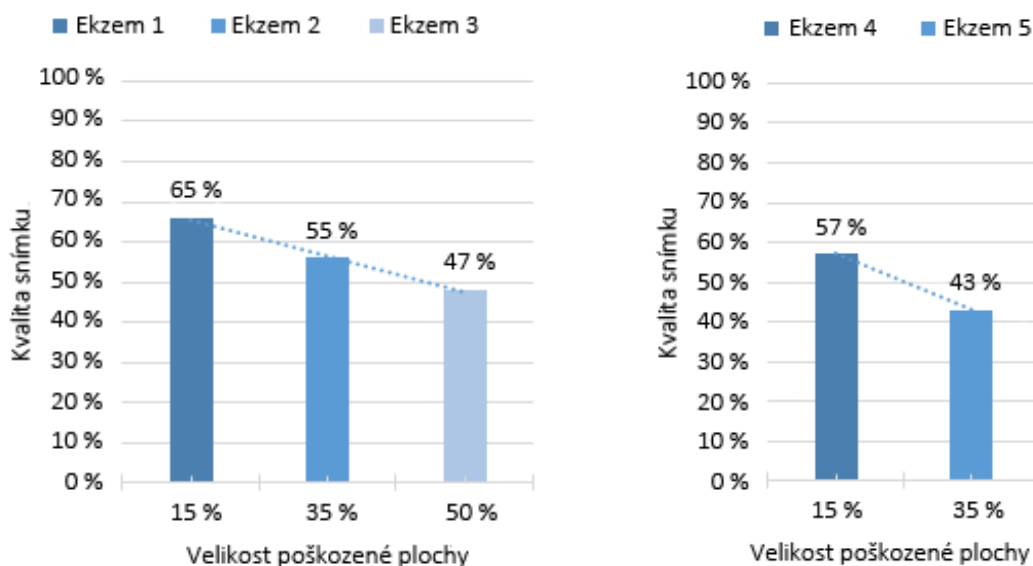
Dá se tedy říct, že nejvíce je kvalita snímků ovlivněna projevy generovanými u druhého stupně ekzému, kvalita snímků s projevy ostatních stupňů ekzému byla totiž při stejné velikosti poškozené plochy mírně vyšší (viz graf na obrázku 7.2).



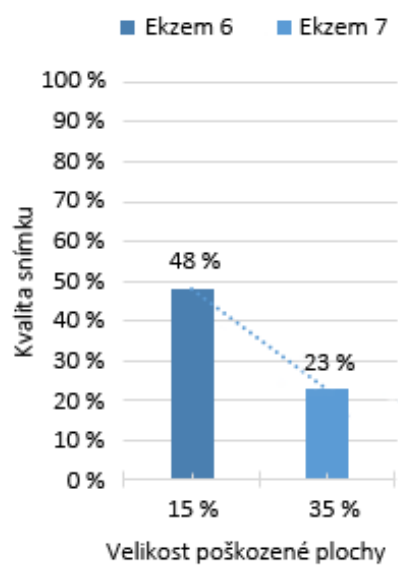
Obrázek 7.2: Graf znázorňující pokles kvality snímku v závislosti na stupni ekzému při velikosti poškozené plochy 35 %.

Pokles kvality při zvětšování poškozené plochy byl očekáván. Z výsledků můžeme pozorovat, že u prvního stupně ekzému (sady Ekzém 1, Ekzém 2, Ekzém 3) se kvalita otisku s narůstající velikostí poškozené plochy snižuje trochu pomalejším tempem, zatímco u snímků druhého (sady Ekzém 4, Ekzém 5) a třetího (sady Ekzém 6, Ekzém 7) stupně ekzému klesá kvalita v závislosti na poškozené ploše rychleji. Tento trend je také znázorněn ve vytvořených grafech na obrázku 7.3 a obrázku 7.4.

Sada s nejnižší kvalitou snímků otisků prstu je sada Ekzém 7, ve které byly otisky generovány se třetím stupněm ekzému a velikostí poškozené plochy 65 %. Výsledná kvalita snímků v této sadě se pohybovala kolem pouhých 23 %, což je pro úspěšné rozpoznání téměř nedostačující.



Obrázek 7.3: Grafy znázorňující pokles kvality snímku v závislosti na velikosti poškozené plochy pro testovací sady s prvním (vlevo) a druhým (vpravo) stupněm ekzému.



Obrázek 7.4: Graf znázorňující pokles kvality snímku v závislosti na velikosti poškozené plochy pro testovací sady s třetím stupněm ekzému.

Kapitola 8

Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout a implementovat algoritmus, pomocí kterého bude možné do syntetických otisků prstů generovat znaky dvou kožních onemocnění, konkrétně bradavic a hyperkeratotického ekzému.

Na samém začátku práce ještě před vytvořením návrhu byla nastudována literatura o biometrickém rozpoznávání otisků prstů a také o vybraných kožních onemocněních. Po získání základních informací o jednotlivých onemocněních, byla za použití poskytnuté databáze reálných otisků prstů postižených onemocněním provedena analýza projevů onemocnění v otiscích prstu.

Na základě získaných znalostí o projevech onemocnění byly poté navrženy specifické algoritmy pro generování těchto projevů prezentované v této práci. Navržené algoritmy byly implementovány v jazyce Python. Pro práci se zpracováním obrazu byla využita knihovna OpenCV. Při implementaci byl kladen důraz na to, aby vygenerované projevy onemocnění vypadaly realisticky, proto byly v průběhu implementace snímky neustále porovnávány a algoritmy postupně zdokonalovány pro dosažení lepších výsledků.

Pro testování algoritmů byly za pomoci generátoru otisků prstů Anguli vygenerovány snímky syntetických otisků prstu. Do těchto snímků byly pomocí implementovaného simulátoru vloženy projevy onemocnění a z nich byla vytvořena databáze obsahující 600 snímků otisků prstů s projevy bradavic a 700 snímků otisků prstů s projevy hyperkeratotického ekzému. Všechny snímky z výsledné databáze byly poté ověřeny nástrojem VeriFinger a hodnoty získané pomocí něj byly zpracovány a vyhodnoceny.

Získané výsledky posloužily k určení vlivu konkrétního onemocnění na kvalitu otisku prstu při rozpoznávání. Simulátor může být dále využíván k rychlému vytváření snímků s projevy obou onemocnění a vytvořené snímky mohou posloužit například pro testování algoritmů pro rozpoznávání otisků prstů. Všechny body zadání tedy byly splněny.

Simulátor může být v budoucnosti rozšířen přidáním možnosti generovat také projevy jiných kožních onemocnění postihujících bříška prstů. Dalším rozšířením by mohlo být zlepšení algoritmu pro generování bradavic o deformaci papilárních linií v jejich okolí. Algoritmus pro generování hyperkeratotického ekzému by bylo možné rozšířit o další generované znaky v případě objevení dalších projevů ekzému v otiscích prstu. Po provedení mírných úprav by simulátor bylo taktéž možné využít i pro generování znaků onemocnění do syntetických otisků prstů z jiných generátorů.

Literatura

- [1] Barotová, Š.: *Detector of Skin Diseases by Fingerprint Technology*. Bakalářská práce, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií, 2017.
URL <http://www.fit.vutbr.cz/study/DP/BP.php?id=20057>
- [2] Biometric System Laboratory, University of Bologna: *Fingerprint Generation*. [Online; navštíveno 5.12.2018].
URL <http://biolab.csr.unibo.it/research.asp?organize=Activities&select=&selObj=12&pathSubj=111|12&>
- [3] Campbell, E. D.: *Fingerprints & Palmar Dermatoglyphics*. 1998, [Online; navštíveno 18.11.2018].
URL <http://www.handanalysis.co.uk/EdCampbell-PalmD-History.htm>
- [4] Drahanský, M.: *Fingerprint recognition technology: related topics: skin disease, image quality and liveness detection*. LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011, ISBN 978-3-844-33007-6.
- [5] Drahanský, M. (editor): *Hand-based biometrics: methods and technology*. The Institution of Engineering and Technology, 2018, ISBN 978-1-78561-224-4.
- [6] Drahanský, M.; Orság, F.; aj.: *Biometrie*. Computer Press a. s., 2011, ISBN 978-80-254-8979-6.
- [7] Drahanský, M.; Doležel, M.; Urbánek, J.; Březinová, E.; Kim, T.-h.: *Influence of skin diseases on fingerprint recognition*. Journal of biomedicine & biotechnology, 2012, ISSN 1110-7251.
- [8] Frosch, P. J.; Menné, T.; Lepoittevin, J.-P.: *Contact dermatitis. 4th edition*. Springer, 2006, ISBN 978-3-540-24471-4.
- [9] Habif, T. P.: *Clinical dermatology: a color guide to diagnosis and therapy*. New York: Mosby, 2004, ISBN 0-323-01319-8.
- [10] Haritsa, J.; Ansari, A. H.; Wadhvani, K.; Jadhav, S.: *Anguli: Synthetic Fingerprint Generator*. [Online; navštíveno 5.12.2018].
URL <http://dsl.cds.iisc.ac.in/projects/Anguli/>
- [11] Jain, A. K.; Ross, A. A.; Nandakumar, K.: *Introduction to biometrics*. Springer, 2011, ISBN 978-0-387-77325-4.
- [12] James, W. D.; Elston, D. M.; Berger, T. G.: *Andrews' Diseases of the skin: clinical dermatology, Twelfth edition*. Elsevier, 2016, ISBN 978-0-323-31967-6.

- [13] Kanich, O.: *Fingerprint Damage Simulation*. LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2014, ISBN 978-3-659-63942-5.
- [14] Maltoni, D.: *Handbook of fingerprint recognition*. Springer, 2009, ISBN 978-1-84882-253-5.
- [15] Mani, A.; Nadeski, M.: *Processing solutions for biometric systems*. 2015, [Online; navštíveno 14.4.2019].
URL <http://www.ti.com/lit/wp/spry289/spry289.pdf>
- [16] Shoewu, O.; Makanjuola, N.; Olatinwo, S.: *Biometric-based Attendance System: LASU Epe Campus as Case Study*. American Journal of Computing Research Repository, ročník 2, č. 1, 2014: s. 8–14, doi:10.12691/ajcrr-2-1-2.
URL <http://pubs.sciepub.com/ajcrr/2/1/2>
- [17] Thestrup-Pedersen, K.; Andersen, K. E.; Menné, T.; Veien, N. K.: *Treatment of hyperkeratotic dermatitis of the palms (eczema keratoticum) with oral acitretin. A single-blind placebo-controlled study*. Acta dermato-venereologica, ročník 81, č. 5, 2001: s. 353–355, ISSN 0001-5555.
URL <https://www.medicaljournals.se/acta/content/abstract/10.1080/000155501317140089>
- [18] Wolff, K.; Johnson, R. A.; Suurmond, D.: *Fitzpatrick's color atlas & synopsis of clinical dermatology*. McGraw-Hill Medical Publishing Division, 2005, ISBN 0-07-1444019-4.