



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

**ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ**

DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

**DETEKCE ŽIVOSTI OTISKU PRSTU NA BEZDOTYKOVÉM ZAŘÍZENÍ**

LIVENESS DETECTION ON TOUCHLESS FINGERPRINT SCANNER

**SEMESTRÁLNÍ PROJEKT**

TERM PROJECT

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**KATEŘINA FOŘTOVÁ**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**MONA HEIDARI**

**BRNO 2020**

## Zadání bakalářské práce



Studentka: **Fořtová Kateřina**

Program: Informační technologie

Název: **Detekce živosti otisku prstu na bezdotykovém zařízení**  
**Liveness Detection on Touchless Fingerprint Scanner**

Kategorie: Zpracování obrazu

Zadání:

1. Nastudujte literaturu v oblasti biometrie a zejména se zaměřte na falšování otisků prstů a detekci živosti.
2. Navrhněte algoritmus pro detekci živosti otisku prstu.
3. Algoritmus implementujte.
4. Algoritmus otestujte na poskytnutém datasetu.
5. Poznatky shrňte a zhodnoťte. Diskutujte možná pokračování a rozšíření vaší práce.

Literatura:

- Maltoni, D., Maio, D., Jain, A.K. and Prabhakar, S.: *Handbook of Fingerprint Recognition*. Springer, 2009, pages 512. ISBN 978-1-8488-2254-2.
- Kanich, O.: *Fingerprint Damage Simulation - A Simulation of Fingerprint Distortion, Damaged Sensor, Pressure and Moisture*, LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2014, p. 57. ISBN 978-3-659-63942-5.

Pro udělení zápočtu za první semestr je požadováno:

- Bod 1 a částečně body 2 a 3.

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

Vedoucí práce: **Heidari Mona**

Konzultant: Sakin Martin, Ing., UITS FIT VUT

Vedoucí ústavu: Hanáček Petr, doc. Dr. Ing.

Datum zadání: 1. listopadu 2019

Datum odevzdání: 14. května 2020

Datum schválení: 31. října 2019

## Abstrakt

Tento semestrální projekt je zaměřen na teorii biometrie, úvod do problematiky otisků prstů a některých algoritmů pro předzpracování a detekci živosti. Svojí implementaci těchto algoritmů jsem začala s využitím jazyka Python a knihovny OpenCV.

## Abstract

This term project is focused on theory of biometrics, introduction to fingerprint detection and some algorithms for pre-processing and liveness detection of fingerprints. I started implementation of these algorithms using Python and OpenCV library.

## Klíčová slova

biometrie, OpenCV, Python, detekce živosti, lokální binární vzor, zpracování obrazu

## Keywords

biometry, OpenCV, Python, liveness detection, local binary pattern, image processing

## Citace

FOŘTOVÁ, Kateřina. *Detekce živosti otisku prstu na bezdotykovém zařízení*. Brno, 2020. Semestrální projekt. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Mona Heidari

# Detekce živosti otisku prstu na bezdotykovém zařízení

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana X... Další informace mi poskytli... Uvedl jsem všechny literární prameny, publikace a další zdroje, ze kterých jsem čerpal.

.....

Kateřina Fořtová

4. prosince 2019

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Biometrie</b>	<b>3</b>
2.1	Identita, identifikace, verifikace, autentizace . . . . .	3
2.2	Biometrické systémy . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Detekce otisků prstů</b>	<b>5</b>
3.1	Historie . . . . .	5
3.2	Zákony daktyloskopie . . . . .	5
3.3	Struktura otisku prstu . . . . .	5
3.4	Typy senzorů . . . . .	6
3.5	Základní druhy markantů . . . . .	8
3.6	Třídy otisků prstů . . . . .	9
3.7	Falšování otisků prstů . . . . .	9
3.8	Znamé metody pro analýzu živosti otisku prstu a výpočet přesnosti analýzy	10
<b>4</b>	<b>Algoritmy pro analýzu živosti otisků prstů</b>	<b>11</b>
4.1	Převedení na normalizovaný obraz . . . . .	11
4.2	Prahování . . . . .	12
4.3	Segmentace . . . . .	12
4.4	Ztenčování linií . . . . .	13
4.5	Extrakce ukončení a vidličky . . . . .	13
4.6	Extrakce orientovaného pole . . . . .	14
4.7	Lokální binární vzor . . . . .	15
<b>5</b>	<b>Závěr</b>	<b>20</b>
	<b>Literatura</b>	<b>21</b>

# Kapitola 1

## Úvod

S rozvojem moderních technologií a komunikačních zařízení se stále více aktuální stává otázka bezpečnosti a ochrany dat. Zabezpečování údajů pomocí biometrie si získalo velký úspěch, zvláště díky snadnosti přihlášení do systému a větší míře bezpečnosti jak například u hesel. Není zde totiž potřeba si pamatovat údaje, stačí pouze použít svůj vlastní biometrický identifikátor, který bývá i bezpečnějším způsobem přihlášení nebo ochrany soukromých údajů.

Mnoho systémů dnes využívá zabezpečení pomocí otisku prstu. Přestože tento druh identifikace se nám může jevit jako opravdu spolehlivý, i tato metoda může být napadena. Zfalšované otisky prstů mohou být buď generované softwarovým programem nebo vyrobeny z syntetických materiálů. Je proto potřeba vytvořit algoritmus, který by mohl falšování otisků prstů nějakým způsobem rozlišovat a odhalit, zda je systém narušený útočníkem.

Ve své práci se zaměřuji na implementaci kombinace různých algoritmů pro detekci vitality otisku prstu. Jedná se o algoritmy, které se zaměřují na zpracování obrazu, úpravu obrazu a výzkum, jak se dané algoritmy chovají u obrázků falešných a přirozených otisků. Byla mi k dispozici databáze pravých otisků prstů, poskytovaných univerzitou v Bologni a dále databáze softwarově generovaných otisků prstů. Na těchto souborech jsem poté testovala implementované algoritmy, zkoumala jejich chování a vyhodnocovala závěry.

Přes zimní semestr jsem se hlavně seznamovala s hlavními používanými algoritmy a literaturou, v letním semestru plánuji do své práce zakomponovat nejen softwarově generované otisky prstů, ale i otisky z různých syntetických materiálů získané ze senzoru a práci s dalšími algoritmy.

## Kapitola 2

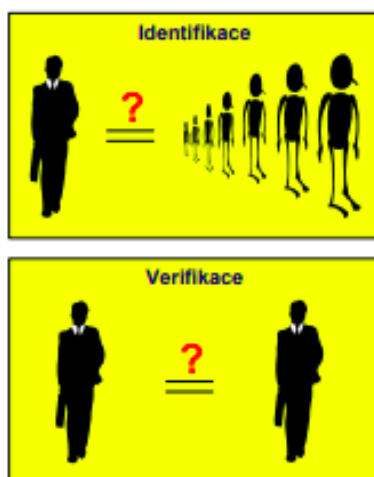
# Biometrie

Biometrie je věda rozpoznávání identity člověka na základě jeho fyzických a behaviorálních vlastností jako například tvář, otisk prstů, hlas nebo oční duhovka. [9] Slovo biometrie pochází z řeckých slov bios (život) a metron (měření). Biometrické identifikátory jsou v informatice používány pro přístupovou kontrolu a identifikaci. Skoro všechny identifikátory jsou kombinací anatomických a behaviorálních charakteristik. U otisku prstu je behaviorální složkou skutečnost, že každý uživatel použije skener otisku prstů v závislosti na svém chování. Záleží i například na úhlu přiložení prstu nebo znečištění povrchu prstu či senzoru. U identifikace tváře pak záleží i na změnách pramenících z chování člověka (např. změna životního stylu vedoucí ke změně tělesné váze).[10]

### 2.1 Identita, identifikace, verifikace, autentizace

Identifikace, verifikace, identita a autentizace jsou základními čtyřmi pojmy, které biometrické systémy využívají a pracují s nimi.[3]

- **Identita** - Je jednoznačnou charakteristikou jedince. Rozlišujeme ji dále na:
  - **Fyzická identita** - Tato identita je pouze jedna jediná. Je definována naším vzhledem a chováním.
  - **Elektronická identita** - Těchto identit můžeme mít vytvořených nespočetně mnoho díky například více různým účtům na webové stránce.
- **Identifikace** - Složí pro zjištění identity osoby. Osoba předá systému svoji biometrickou vlastnost a ten musí na základě jejího vyhodnocení rozhodnout, zda je identita nalezená nebo nenalezená. Systém k tomuto účelu používá porovnávání s databází vzorků. Jedná se o porovnání 1:N, protože se biometrická vlastnost porovnává s celou databází.
- **Verifikace** - Uživatel sdělí systému svoji elektronickou identitu. V systému je pak potřeba ověřit skutečnou fyzickou identitu uživatele. Proto se hledá, zda-li jeho záznam obsahuje biometrická data. Dále se porovnává, zda sobě data odpovídají. Na základě tohoto údaje systém rozhodne o potvrzené či nepotvrzené identitě. Jedná se o porovnání 1:1, dochází k porovnání vstupních dat pouze s jedním záznamem dat v databázi.
- **Autentizace** - Systém při tomto úkonu potvrzuje autentičnost (hodnověrnost) dané osoby. Může být využita při identifikaci a verifikaci. Porovnávání většinou funguje na základě pomyslného prahu.

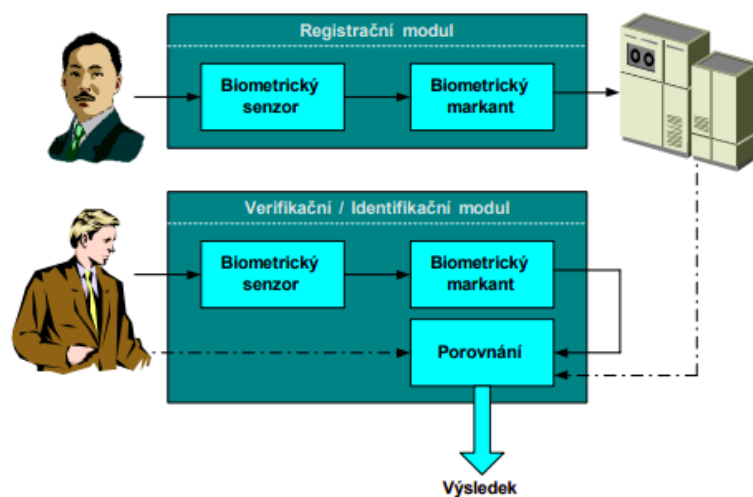


Obrázek 2.1: Rozdíl mezi identifikací a verifikací, převzato z [3]

## 2.2 Biometrické systémy

Biometrické systémy dělíme do dvou základních kategorií[3]:

- **Registrační modul** - Zde je zaregistrována biometrická informace (tzv. biometrický markant) a je uložena do databáze.
- **Verifikační modul** - Zde je zaregistrována biometrická informace podobně jako u registračního modulu, ale výsledek není uložen do databáze, nýbrž jsou data z databáze načítána, aby se extrahovaný biometrický markant mohl porovnat s daty v databázi.



Obrázek 2.2: Znázornění biometrického systému, převzato z [3]



## Kapitola 3

# Detekce otisků prstů

### 3.1 Historie

Lidské otisky prstů byly objeveny na velkém počtu archeologických artefaktů a historických předmětech. I když tyto nálezy dokazují, že lidé v té době byli vědomi unikátnosti otisků prstů, až v 16. století byla objevena první vědecká technika v jejich výzkumu. V roce 1864 anglický vědec Nehemiah Grew publikoval první vědeckou studii o hřebenech, rýhách a pórech v struktuře otisku prstu.

První detailní popis struktury otisků prstů byl předveden Mayerem v roce 1788. Purkinje pak roku 1823 vytvořil první klasifikační schéma, ve kterém otisky prstů rozdělil do devíti kategorií na základě konfigurace hřebenů.[10]

### 3.2 Zákony daktyloskopie

Byly zavedeny tyto daktyloskopické zákony[3]:

- Struktura papilárních linií je unikátní pro každého jedince.
- Vzor tvořený papilárními liniemi je pro každého jedince během života relativně neměnný.
- Obnova papilárních linií probíhá dorůstáním kůže na povrchu prstů. Mohou být pozměněny pouze pokud se poškodí nebo odstraní epidermální vrstva kůže. Poté již nemůže docházet k obnově.
- Konfigurační typy se mohou individuálně měnit, jedná se však o malé změny, které leží v tolerančních limitech a umožňují tak systematickou klasifikaci.

### 3.3 Struktura otisku prstu

Otisk prstu je tvořen vzorem papilárních linií. Výška papilárních je v rozmezí 0,1 - 0,4 mm a šířka v rozmezí 0,2 - 0,5 mm.[3] Průběhy papilárních linií jsou jedinečné pro každého člověka. S přibývajícím věkem se mění rozměry plošek prstů či dlaní, avšak struktura papilárních linií zůstává stejná.

Nejvýznamější atributy papilárních linií se vyvíjí již v nitroděložní části života. Konečná podoba papilárních linií je u dítěte již v 6. - 7. měsíci nitroděložního vývoje.[4]

Otisky prstů dělíme na základní tři druhy:[3]

- Válený otisk (barvený, rolovaný)
- Píchaný otisk (živý)
- Latentní otisk (skrytý)

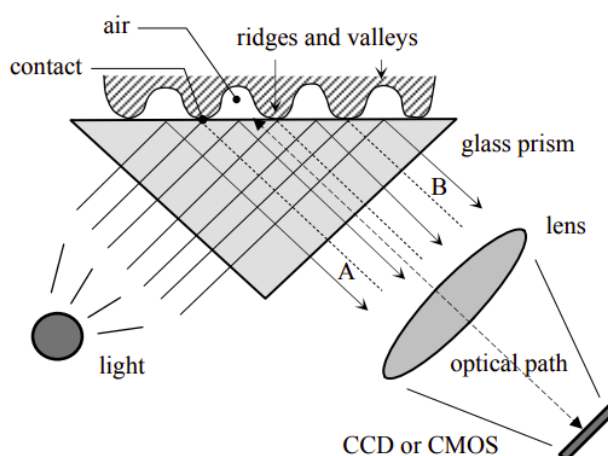


Obrázek 3.1: Válený, píchaný a latentní otisk prstu, převzato z [3]

### 3.4 Typy senzorů

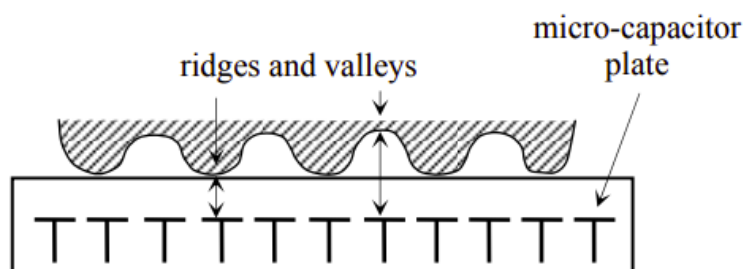
Nejdůležitější částí detekce je senzor, který zaznamenává výsledný otisk prstu. Radíme je do těchto základních kategorií:

- **Optické senzory** - Využívají jednoduchý zdroj světla (LED), které osvětlí plochu prstu.[3] Nejvíce používaným zástupcem optických senzorů je senzor FTIR. Prst se při snímání dotýká skleněného nebo plastového hranolu. Při dotyku jsou hřebeny papilárních linií v kontaktu s povrchem snímače, ale údolí jsou vzdálena. Světlo pocházející z hranolu dopadá na prst a je odraženo údolími papilárních linií nebo náhodně pohlceno hřebeny. Ve výsledném obrazu jsou pak hřebeny tmavá místa a údolí světlá místa. FTIR snímače dokáží snímat 3D otisk prstu a tak dokáží detekovat i zfalšované otisky prstu, které například pocházejí z fotografie. [10]



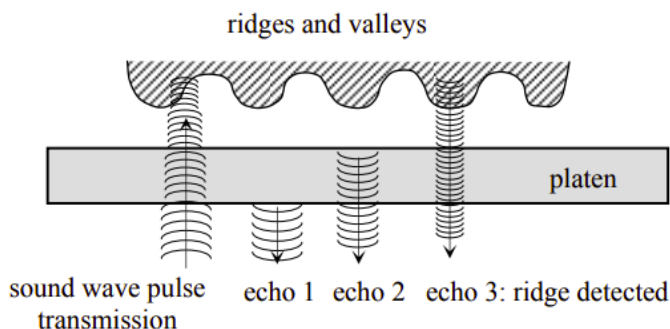
Obrázek 3.2: Senzor FTIR, převzato z [10]

- **Kapacitní senzory** - Jsou složeny z matice malých vodivých plošek, na níž je napařena vrstva nevodivého oxidu křemičitého.[3] Mezi povrchem prstu a každou z plošek (mikrokapacitorů) v čipu vzniká malý elektrický náboj. Při skládání výsledného otisku prstu je důležitá vzdálenost mezi povrchem otisku prstu a mikrokapacitorem. Hřebeny a údolí papilárních linií otisku prstu mají jinou vzdálenost od mikrokapacitoru, tudíž i odlišnou intenzitu ve výsledném obraze. Stejně jako u senzoru FTIR nemůže tato technologie být zneužita útočníkem při předložení fotografie. Jsou zde totiž měřeny vzdálenosti a pouze trojrozměrný povrch může být nasnímán.[10]



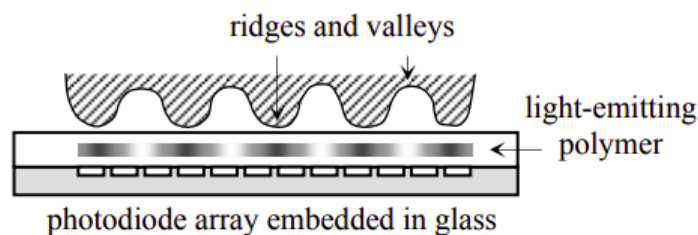
Obrázek 3.3: Kapacitní senzor, převzato z [10]

- **Ultrazvukové senzory** - Jsou založeny na posílání akustického signálu prstu a zachytávání odraženého signálu. Odražený signál je použit na výpočet hloubky obrazu a struktury papilárních linií. Senzor se skládá z vysílače a přijímače. Vysílač generuje krátké zvukové pulsy a přijímač detekuje odpověď po odražení těchto akustických pulsů od povrchu prstu. Senzor je schopen detekovat strukturu otisku prstu i např. přes tenké rukavice, stejně jako si dokáže poradit s nečistotami i mastnotou.[10]



Obrázek 3.4: Ultrazvukový senzor, převzato z [10]

- **Elektrooptické senzory** - Tyto snímače jsou složeny ze dvou vrstev. První dokáže emitovat světlo, pokud je polarizována správným napětím. Druhá vrstva úzce spolupracuje s první, zpracovává emitované světlo a vytváří finální digitální obraz.[10]
- **Tlakový senzor** - Je vytvořen z materiálu citlivého na mechanické namáhání, při kterém generuje elektrický signál. Velikost elektrického signálu závisí na tlaku, který vyvíjí prst na povrch senzoru. Hřebeny a údolí papilárních linií jsou v jiných vzdálenost od povrchu snímače, proto produkují jinou hodnotu elektrického signálu.[10]



Obrázek 3.5: Elektrooptický senzor, převzato z [10]

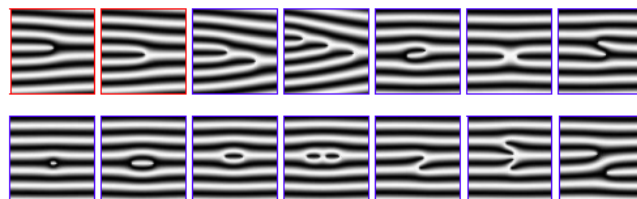
- **Termický senzor** - Senzor využívá pyroelektrický materiál, který generuje elektrický náboj na základě teplotních rozdílů. Je založen na skutečnosti, že hřebeny v kontaktu s povrchem senzoru produkují jinou teplotu jak údolí, které jsou vzdálenější od povrchu snímače. Senzor je obvykle přehříván na vyšší teplotu, aby se zvýšila odlišnost mezi povrchem zařízení a hřebeny linií.[10]

### 3.5 Základní druhy markantů

Otisk prstu obsahuje útvary, které tvoří papilární linie - markanty. Mezi důležité markanty pro moji práci patří:

- Ukončení (Line Ending)
- Jednoduchá vidlička (Simple Bifurcation)
- Dvojitá vidlička (Double Bifurcation)
- Trojitá vidlička (Triple Bifurcation)
- Hák (Hook)
- Křížení (Crossing)
- Boční kontakt (Side Contact)
- Bod (Point)
- Interval (Interval)
- Jednoduchá smyčka (Single Whorl)
- Dvojitá smyčka (Double Whorl)
- Jednoduchý most (Single Bridge)
- Dvojitý most (Twin Bridge)
- Průsečná linie (Through Line)

U přístupových systémů se však využívá pouze ukončení (Line Ending) a vidličky (Bifuraction).[3]

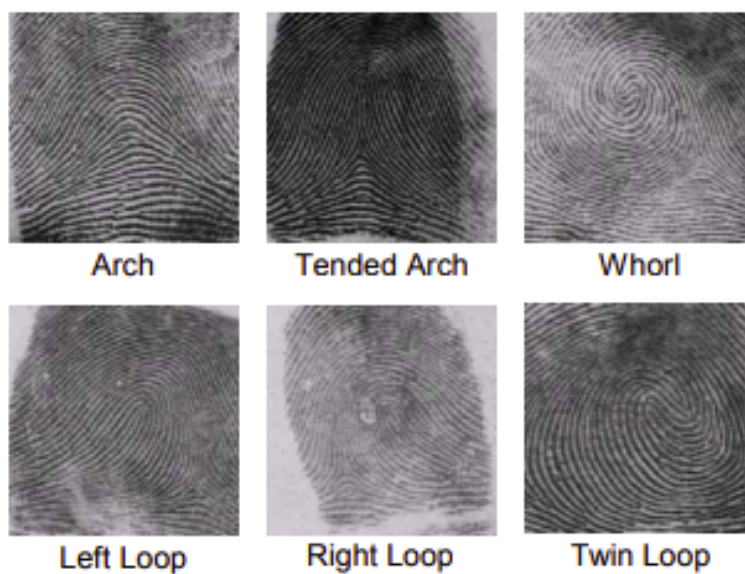


Obrázek 3.6: Základní typy markantů ve vyjmenovaném pořadí, převzato z [3]

### 3.6 Třídy otisků prstů

Otisky prstů můžeme na základě charakteristických znaků rozdělit do následujících kategorií:[3]

- Oblouk (Arch)
- Klenutý oblouk (Tended Arch)
- Spirála / závit (Whorl)
- Levá smyčka (Left Loop)
- Pravá smyčka (Right Loop)
- Dvojitá smyčka (Twin Loop)



Obrázek 3.7: Třídy otisků prstů, převzato z [3]

### 3.7 Falšování otisků prstů

Falešné biometrické reprezentace jsou obecně velkým nebezpečím, protože umožňují vydávat se zločinci za někoho jiného a tím narušit soukromí a bezpečnost jedince. Abnormální otisky prstů dělíme do dvou kategorií:

- Falešné otisky prstů
- Pozměněné otisky prstů

Falešný otisk prstu reprezentuje repliku skutečného otisku prstu vyrobeného softwarově nebo z materiálů jako je želatina, silikon nebo latex. Biometrické zařízení se musí rozhodnout, zda otisk je živý nebo falešný. Tato procedura se nazývá detekce živosti. Pozměněné otisky prstů jsou skutečné, avšak jejich struktura je změněna. Otisky mohou být neúplné, pokřivené. Důvodem poškození otisku mohou být nemoci kůže, např. pořezání, popálenina, poleptání silnými chemikáliemi, transplantace kůže a různé kožní nemoci.[12]

### 3.8 Známé metody pro analýzu živosti otisku prstu a výpočet přesnosti analýzy

Algoritmů pro detekci živosti otisku prstu byla objevena ve studiích celá řada. Některé z nich zahrnují:[1]

- Použití vlastností elasticity lidské kůže.
- Umístění senzoru na zachytávání pachů vedle senzoru pro detekci otisku prstu. Senzor pachů zaznamenával výsledný signál a byl tak schopen rozpoznat lidskou kůži od syntetických materiálů, jako např. latex, silikon nebo želatina.
- Kombinace statických vlastností při detekci živosti, bylo pracováno s histogramem, tloušťkou hřebenů papilárních linií, signálem detekovaným z hřebenů nebo hodnota výkonového frekvenčního spektra.

Přesnost analýzy živosti  $a$  můžeme spočítat na základě vzorce:  $a = \frac{C}{N}$ , kde  $C$  je počet správných rozhodnutí (klasifikace živého otisku prstu jako "živého" a falešného otisku prstu jako "falešného") a  $N$  je počet všech rozhodnutí.[6]

## Kapitola 4

# Algoritmy pro analýzu živosti otisků prstů

Před samotnou implementací hlavních algoritmů bylo potřeba otisk prstu upravit, udělat prvotní předzpracování. V této kapitole na základě vzorců a pravidel jednotlivé algoritmy popíši. V letním semestru plánuji používané algoritmy a postupy rozšířit.

### 4.1 Převedení na normalizovaný obraz

Po načtení obrazu bylo potřeba obraz převést na šedotonový. Poté byla provedena normalizace obrazu. Normalizace je proces, při kterém je upraven rozsah hodnot intenzity pixelu. Základem je zvýšit dynamický rozsah šedotónového jasu, u otisků prstů tento algoritmus nemění ostrost hřebenů a údolí papilárních linií. Hlavním účelem je minimalizovat změny šedo-úrovňových hodnot podél hřebenů a údolí.



Obrázek 4.1: Vstupní obraz



Obrázek 4.2: Normalizovaný obraz

## 4.2 Prahování

Při prahování jsou světlé objekty odděleny od tmavých pomocí zadaných konstantních prahů. Tento algoritmus je nutno použít před samotnou segmentací obrazu pomocí morfologických metod.



Obrázek 4.3: Normalizovaný obraz



Obrázek 4.4: Obraz po aplikaci prahování

## 4.3 Segmentace

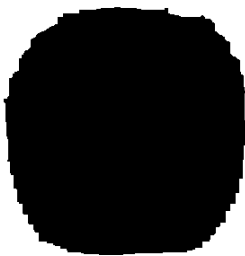
Při segmentaci vybereme z vstupního obrazu pouze otisk prstu, což nám napomáhá eliminovat pozadí obrazu. Bylo využito morfologického otevření - kombinace eroze a následné dilatace obrazu.

Morfologické operace se používají obvykle na úpravu binárního obrazu. Potřebují dva vstupy - náš vstupní obraz a jádro.[11] Tyto operace se používají často na obrazové předzpracování - odstraňují šum a zjednodušují tvary objektů. Eroze je morfologickou operací, která je užitečná pro odstranění malých bílých částí v obraze. Dilatace je opakem eroze a používá se k zaplnění mezer.[8]

Papilární linie jsou odděleny po vyprahování úzkými místy a tento algoritmus má za cíl úzká místa spojit a vytvořit tak masku, která bude určovat pozici otisku prstu v obraze. Struktura objektu se tedy při vzniku masky zjednoduší. Výsledná maska je následně aplikována na normalizovaný obraz a je tedy vybrána pouze část obrazu, která obsahuje otisk prstu, pozadí zůstává bílé.



Obrázek 4.5: Vstupní normalizovaný obraz



Obrázek 4.6: Získaná maska



Obrázek 4.7: Výsledný segmentovaný obraz



## 4.4 Ztenčování linií

Pro extrakci markantů (ukončení a vidličky) je potřeba ztenčit papilární linie otisku prstů. Pro ztenčení bylo znovu využito morfologických operací. V každé iteraci algoritmu je znovu provedena eroze obrazu. Známým postupem pro vytvoření morfologické kostry je Lantué-joulova formule:[13]

Pro diskrétní binární obraz  $X \subset \mathbb{Z}^2$ , skeleton  $S(X)$  je sjednocením podmnožin koster  $S_n(X)$ ,  $n = 0, 1, \dots, N$ , kde:

$$S_n(X) = (X \ominus nB) - (X \ominus nB) \circ B$$

Symboly  $\ominus$  a  $\circ$  jsou morfologická eroze a otevření.



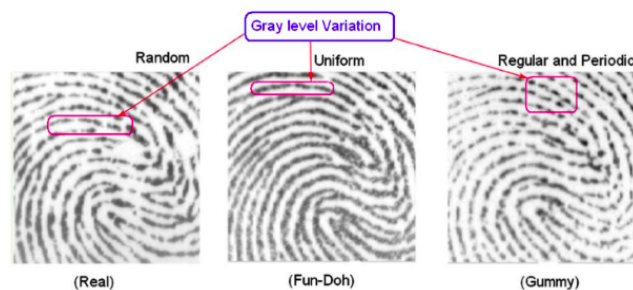
Obrázek 4.8: Vstupní normalizovaný a segmentovaný obraz



Obrázek 4.9: Obraz se ztenčenými papilárními liniemi

## 4.5 Extrakce ukončení a vidličky

Extrakce těchto nejdůležitějších markantů v otisku prstu probíhá po normalizaci, segmentaci a ztenčení obrazu. Předchozí práce ukázala, že úroveň jasu v šedotónovém obrazu je náhodnou u živých otisků prstů, ale má sklon být buď uniformní nebo periodická u falešných otisků prstů. Stejná myšlenka je pak použita u místní analýzy textury otisku prstu. Z tohoto důvodu počet hřebenů ukončení papilárních linií u živých otisků prstů má tendenci dosahovat k větším číslům, jak u falešných otisků prstů. Proto je očividné, že tato metoda může být efektivní vlastností, jak odlišit živé otisky prstů od falešných.[1]

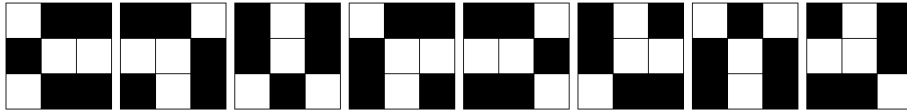


Obrázek 4.10: Ukázka změn úrovně šedotónového jasu u živých otisků prstů v porovnání s falešnými otisky z syntetických materiálů, převzato z [1]

Pro extrakci ukončení i vidličky bylo použito okna o velikosti 3x3 pixely. U každého pixelu pak bylo na základě tohoto okna ve středu s procházeným pixelem zjištěno, jaké hodnoty mají jeho sousedé a tento prostřední centrální pixel.



Obrázek 4.11: Okno o velikosti 9 pixelů pro extrakci ukončení, převzato z [2]



Obrázek 4.12: Okno o velikosti 9 pixelů pro extrakci vidličky

## 4.6 Extrakce orientovaného pole

Tento algoritmus z detekovaného otisku prstu vytvoří orientovanou mapu. Algoritmus postupuje následovně:

1. Rozdělte normalizovaný obraz  $G$  na bloky o velikosti  $w \times w$ .
2. Spočítejte gradienty  $\delta_x(i, j)$  a  $\delta_y(i, j)$  v každém pixelu obrazu.
2. Odhadněte místní orientaci každého bloku se středem v pixelu  $(i, j)$  pomocí těchto rovnic:

$$V_x(i, j) = \sum_{u=i-\frac{w}{2}}^{i+\frac{w}{2}} \sum_{v=j-\frac{w}{2}}^{j+\frac{w}{2}} 2\delta_x(u, v)\delta_y(u, v)$$

$$V_y(i, j) = \sum_{u=i-\frac{w}{2}}^{i+\frac{w}{2}} \sum_{v=j-\frac{w}{2}}^{j+\frac{w}{2}} \delta_x^2(u, v) - \delta_y^2(u, v)$$

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

3. Spočítejte magnitudu:

$$V(i, j) = \sqrt{V_x(i, j)^2 + V_y(i, j)^2}$$

4. Převeďte orientovaný obraz na souvislé pole vektorů pomocí rovnic:

$$\Phi_x(i, j) = V(i, j) \cos 2\theta(i, j)$$

$$\Phi_y(i, j) = V(i, j) \sin 2\theta(i, j)$$

5. Vypočítejte výsledný úhel se středem v pixelu  $(i, j)$ :

$$O(i, j) = \frac{1}{2} \tan^{-1}\left(\frac{\Phi_y(i, j)}{\Phi_x(i, j)}\right)$$

Výsledné vykreslení orientovaných úseček probíhá následovně:

6. Vypočítejte počáteční body  $(x_0, y_0)$  orientované úsečky:

$$x_0 = i + \frac{w}{2}$$

$$y_0 = j + \frac{w}{2}$$

7. Vypočítejte koncové body  $(x_1, y_1)$  orientované úsečky:

$$r = \frac{w}{2}$$

$$x_1 = r * \cos(O(i, j)) + x_0$$

$$y_1 = r * \sin(O(i, j)) + y_0$$

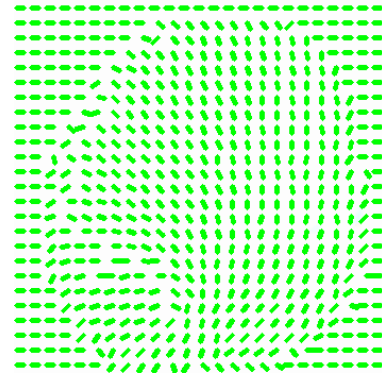
8. Sestavte výsledné rovnice orientovaných úseček. Vypočtený úhel je kolmý směrem k hřebenům papilárních linií:

$$x_1 = r * \cos(O(i, j) - \frac{\pi}{2}) + x_0$$

$$y_1 = r * \sin(O(i, j) - \frac{\pi}{2}) + y_0$$



Obrázek 4.13: Normalizovaný a segmentovaný obraz



Obrázek 4.14: Orientované pole obrazu

## 4.7 Lokální binární vzor

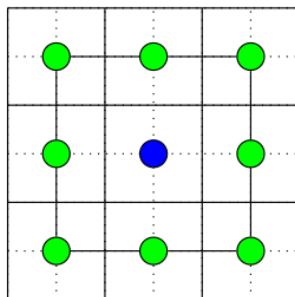
Lokální binární vzor byl hlavním algoritmem, s jehož výstupy budu dále při práci pracovat. Jedná se o efektivní algoritmus, který se používá pro analýzu textury objektů. Algoritmus je užitečný pro informace o změnách intenzity mezi jednotlivými pixely obrázku a jejich sousedy. Kalkulace lokálního binárního vzoru vypadá následovně:[5]

$$LBP(x_c, y_c) = \sum_{n=0}^7 2^n (I_n - I(x_c, y_c)),$$

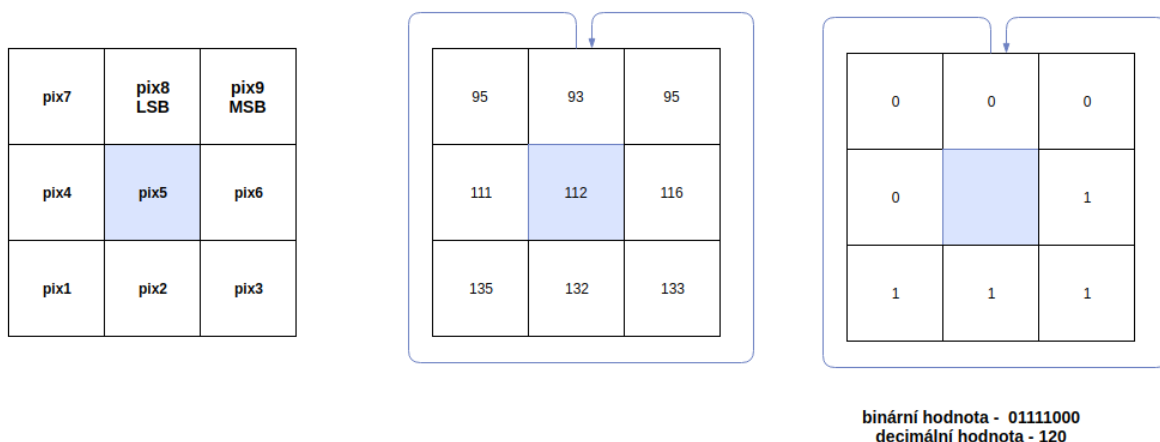
kde  $I_n$  jsou hodnoty sousedních pixelů a  $I(x_c, y_c)$  hodnota středového pixelu,  $n$  je index souseda.

Postup algoritmu je následující:

1. Pro každý pixel je zjištěno okno 3x3 pixelů, kde námi procházený pixel  $x$  je středem, středem s 8 sousedy.
2. Pro každý pixel v 3x3 okně je spočítána nová hodnota na základě tohoto pravidla - Pokud je hodnota zjišťovaného pixelu větší nebo rovna hodnotě středového pixelu, pak je novou hodnotou zjišťovaného pixelu 1, jinak 0.
3. Po spočítání nových hodnot celého 3x3 okna je spočítána nová binární hodnota středového pixelu.



Obrázek 4.15: Okno o velikosti 9 pixelů se středovým pixelem a jeho sousedy pro analýzu lokálního binárního vzoru, převzato z [7]



Obrázek 4.16: Princip výpočtu lokálního binárního vzoru, upraveno s využitím [5]

Nyní bylo potřeba vyextrahovat pro lokální binární vzor informace, na základě kterých by se dala detekovat problematika živosti otisku prstu. První informací, kterou jsem si z nového obrazu vyextrahovala byl jeho histogram. Histogramy se zvláště ve středových hodnotách podstatně liší. Svoji hypotézu jsem otestovala na základě porovnání částečných sum hodnot histogramů. Na základě prahu jsem pak mohla rozhodnout, zda je otisk prstu živý nebo falešný.

Hypotéza byla otestována na třech databázích - dvou obsahující živé otisky prstu a jedné obsahující falešné otisky prstů. Celkem bylo pracováno se 140 snímky. Při výpočtu

přesnosti budu využívat již zmiňovaný vzorec:

$$a = \frac{C}{N}$$

Do vzorce dosadíme:

$$a = \frac{122}{140} = 87,14\%$$

Analýzou lokálního binárního vzoru pro detekci živosti a dalšími algoritmy se budu dále zabývat v letním semestru.



Obrázek 4.17: Snímek z databáze DB1\_B (University at Bologna)



Obrázek 4.18: Snímek z databáze DB3\_B (University at Bologna)



Obrázek 4.19: Snímek z obdržené databáze falešných otisků prstů



Obrázek 4.20: Vstupní normalizovaný a segmentovaný obraz živého otisku prstu



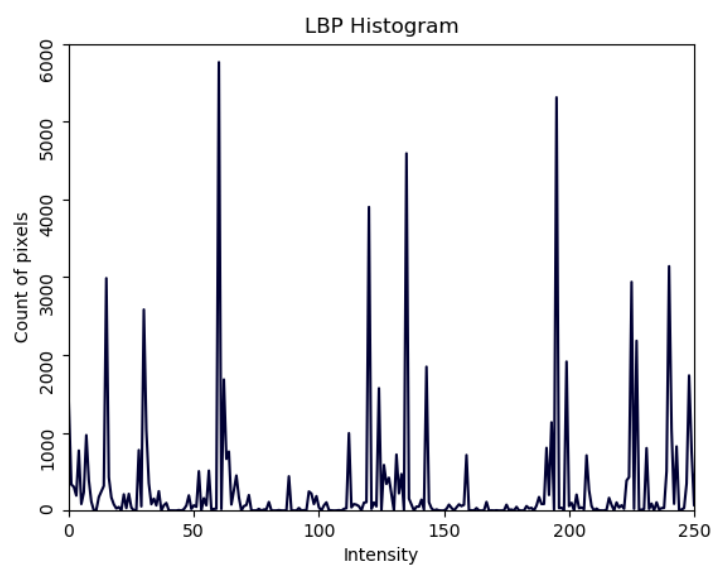
Obrázek 4.21: Výsledek aplikace lokálního binárního vzoru



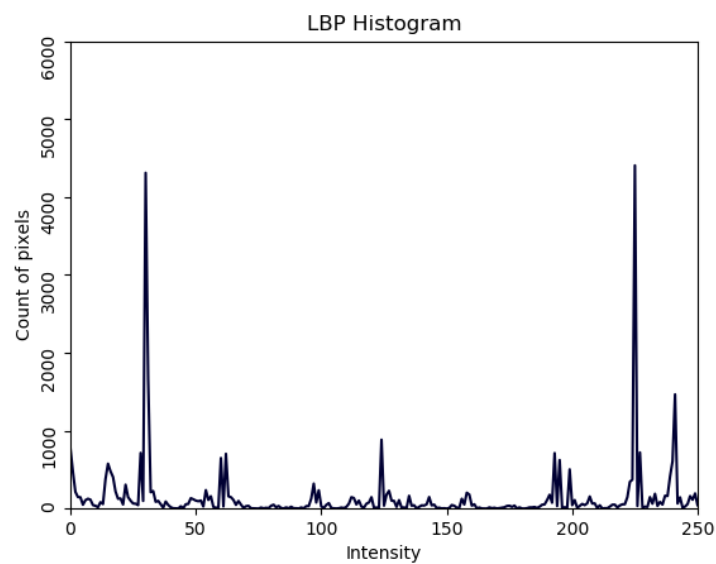
Obrázek 4.22: Vstupní normalizovaný a segmentovaný obraz falešného otisku prstu



Obrázek 4.23: Výsledek aplikace lokálního binárního vzoru



Obrázek 4.24: Histogram pro výsledek lokálního binárního vzoru pro živý otisk prstu



Obrázek 4.25: Histogram pro výsledek lokálního binárního vzoru pro falešný otisk prstu

## Kapitola 5

### Závěr

V průběhu zimního semestru jsem se v rámci povinného předmětu Semestrální projekt (ITT) začala seznamovat s tématem detekce živosti otisků prstů. Nastudovala jsem odborné články a literaturu, začala jsem pracovat na algoritmech pro předzpracování obrazu (normalizace, prahování, ztenčování linií, extrakce orientovaného pole, extrakce markantů). Začala jsem implementovat hlavní algoritmus pro detekci živosti - lokální binární vzor. V průběhu letního semestru budu svoji práci dále rozšiřovat a zdokonalovat, chci provést výzkum nejen softwarově generovaných otisků prstů, ale i otisků prstů z různých syntetických materiálů. Plánuji navštívit laboratoř a získat snímky syntetických otisků prstů z senzoru, dále se pak chci pokusit z lokálního binárního vzoru vyextrahovat další užitečné informace kromě histogramu. Svoji detekci živosti prstu chci vedle extrakce markantů a lokálního binárního vzoru rozšířit také o práci s vlnovou délkou. Jednotlivé algoritmy poté porovnáám na základě přesnosti či rychlosti zpracování.



# Literatura

- [1] ABISHEK, K. *A Minutiae Count Based Method for Fake Fingerprint Detection* [online]. 2015 [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050915021729>.
- [2] BANSAL, R. et al. *Minutiae Extraction from Fingerprint Images - a Review* [online]. 2011 [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://arxiv.org/pdf/1201.1422.pdf>.
- [3] DRAHANSKÝ, M. *Biometrické systémy - Studijní opora* [online]. 2006 [cit. 2019-11-16]. Dostupné z: [https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/BIO/private/BIO\\_Studijni\\_opora.pdf](https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/BIO/private/BIO_Studijni_opora.pdf).
- [4] DRAHANSKÝ, M. et al. *Dermatologické faktory ovlivňující snímání otisků prstů* [online]. 2010 [cit. 2019-11-17]. Dostupné z: <https://www.mvcr.cz/clanek/dermatologicke-faktory-ovlivnujici-snimani-otisku-prstu.aspx>.
- [5] GAIKWAD, A. *Evaluation of Fingerprint Identification Based on Local Binary Pattern (LBP)* [online]. 2018 [cit. 2019-11-29]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/327262459\\_Evaluation\\_of\\_Fingerprint\\_Identification\\_Based\\_on\\_Local\\_Binary\\_Pattern\\_LBP](https://www.researchgate.net/publication/327262459_Evaluation_of_Fingerprint_Identification_Based_on_Local_Binary_Pattern_LBP).
- [6] GOTTSCHLICH, C. et al. *Fingerprint Liveness Detection based on Histograms of Invariant Gradients* [online]. 2014 [cit. 2019-12-02]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/265733920\\_Fingerprint\\_Liveness\\_Detection\\_based\\_on\\_Histograms\\_of\\_Invariant\\_Gradients](https://www.researchgate.net/publication/265733920_Fingerprint_Liveness_Detection_based_on_Histograms_of_Invariant_Gradients).
- [7] GRAGNANIELLO, D. *Local image descriptors for biometric liveness detection* [online]. 2015 [cit. 2019-11-28]. Dostupné z: <https://pdfs.semanticscholar.org/e96d/5c8299ebfe60c9e4cc4fab07f2d7953908a0.pdf>.
- [8] HORÁK, K. *Morfologické operace* [online]. 2017 [cit. 2019-11-21]. Dostupné z: [http://midas.uamt.feec.vutbr.cz/ZVS/Exercise10/content\\_cz.php](http://midas.uamt.feec.vutbr.cz/ZVS/Exercise10/content_cz.php).
- [9] JAIN, A. K. et al. *Handbook of Biometrics*. 1. vyd. Springer, 2008. ISBN 978-0-387-71040-2.
- [10] MALTONI, D. et al. *Handbook of Fingerprint Recognition*. 2. vyd. Springer, 2009. ISBN 978-1-84882-253-5.
- [11] OPENCV. *Morphological Transformations* [online]. 2019 [cit. 2019-11-21]. Dostupné z: [https://docs.opencv.org/trunk/d9/d61/tutorial\\_py\\_morphological\\_ops.html](https://docs.opencv.org/trunk/d9/d61/tutorial_py_morphological_ops.html).

- [12] PETROVICI, A. et al. *Identifying Fingerprint Alteration Using the Reliability Map of the Orientation Field* [online]. 2010 [cit. 2019-11-17]. Dostupné z: [http://ace.ucv.ro/analele/2010\\_vol1/08Petrovici\\_Lazar.pdf](http://ace.ucv.ro/analele/2010_vol1/08Petrovici_Lazar.pdf).
- [13] WIKIPEDIA. *Morphological skeleton* [online]. 2019 [cit. 2019-11-21]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Morphological\\_skeleton](https://en.wikipedia.org/wiki/Morphological_skeleton).