

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

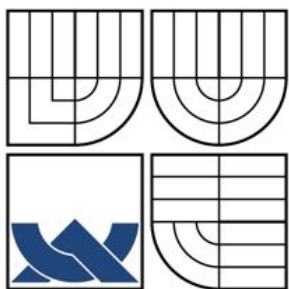
SNÍMÁNÍ OTISKU PRSTU

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

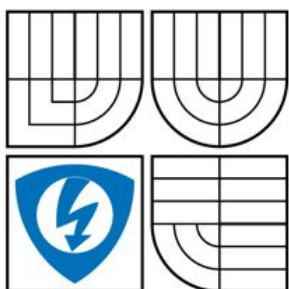
Bc. MICHAL KUBIŠ

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

## SNÍMÁNÍ OTISKU PRSTU

FINGERPRINT SCANNING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

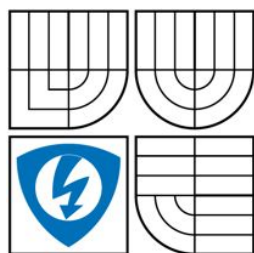
Bc. MICHAL KUBIŠ

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR FEDRA

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav biomedicínského inženýrství

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
Biomedicínské a ekologické inženýrství

**Student:** Bc. Michal Kubiš

**ID:** 83569

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2009/2010

**NÁZEV TÉMATU:**

## Snímání otisku prstu

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s vlastnostmi lidské pokožky a s možnostmi bezprostředního snímání daktyloskopických otisků prstů horních končetin pro následnou identifikaci osoby. Porovnejte technologie kontaktního a bezkontaktního snímání otisků prstů u komerčních senzorů.

Práce musí obsahovat:

1. Návrh a realizaci vhodného snímacího zařízení pro záznam daktyloskopických otisků prstů horních končetin s dostatečnou rozlišovací schopností.
2. Ověření funkčnosti snímacího zařízení a u nejméně deseti osob.
3. Návrh a realizaci algoritmů k ohodnocení kvality sejmutých obrazů.
4. Návrh a realizaci algoritmů k rozpoznávání otisku prstu například pomocí Fourierova spektra.
5. Zhodnocení a porovnání úspěšnosti algoritmů rozpoznávání otisků na základě parametrů falešného přijetí neoprávněné osoby a falešného odmítnutí oprávněné osoby.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] STRAUS, Jiří. Kriminalistická daktyloskopie. Praha: Policejní akademie ČR, 2005. ISBN 80-7251-192-0.

[2] RAK, Roman, MATYÁŠ, Václav, ŘÍHA, Zdeněk a kol. Biometrie a identita člověka ve forenzních a komerčních aplikacích. Praha: Grada Publishing, 2008. ISBN 978-80-247-2365-5.

**Termín zadání:** 12.10.2009

**Termín odevzdání:** 21.5.2010

**Vedoucí práce:** Ing. Petr Fedra

**prof. Ing. Jiří Jan, CSc.**  
Předseda oborové rady

## **ABSTRAKT**

Otisky prstů jsou nejstarší a nejpoužívanější metodou identifikace v biometrii. Kritickým krokem je spolehlivá extrakce markant z otisků prstů. Bohužel obrázky otisků nejsou vždy dokonale kvalitní, mohou být degradovány a poškozeny přirozenou variací kůže a podmínkami snímání. Tudíž jsou nezbytné techniky vylepšování před extrakcí markant. Tato práce obsahuje implementaci tří technik vylepšování otisků, extrakci markant a konstrukci zařízení pro snímání otisků. Experimenty jsou provedeny se dvěma sadami otisků pro zhodnocení implementovaných technik.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

otisk prstu, vylepšování obrazu, extrakce markant, Gaborova filtrace, STFT filtrace, Fourierova filtrace, skenování obrazu

## **ABSTRACT**

Fingerprints are the oldest and most used form of biometric identification. A critical step is reliable extract minutiae from the fingerprint images. However fingerprint images are rarely of perfect quality, they may be degraded and corrupted due to natural variations in skin and sensing conditions. Thus, image enhancement techniques are necessary prior to minutiae extraction. This work includes implementation of three techniques for fingerprint image enhancement, minutiae extraction and construction of fingerprint reading device. Experiments are realized with two sets of fingerprints to evaluate the performance of implemented techniques.

## **KEYWORDS**

fingerprint, image enhancement, minutiae extraction, Gabor filtering, STFT filtering, Fourier filtration, image scanning

KUBIŠ, Michal *Snímání otisku prstu*: diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav biomedicínského inženýrství, 2010. 75 s. Vedoucí práce byl Ing. Petr Fedra

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Snímání otisku prstu“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Brno .....

.....

(podpis autora)

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Fedrovi za cenné rady, připomínky a metodické vedení práce.

# OBSAH

Úvod	13
<b>1 Základní pojmy v biometrii</b>	<b>14</b>
1.1 Historie daktyloskopie	14
1.1.1 První použití	14
1.1.2 Moderní pojetí	14
1.1.3 Automatizace daktyloskopie	15
1.1.4 Jedinečnost otisku prstu	16
1.2 Identifikace a verifikace	16
1.2.1 Identifikace	16
1.2.2 Verifikace	17
1.3 Měření výkonnosti	17
1.3.1 Pravděpodobnost chybného odmítnutí	19
1.3.2 Pravděpodobnost chybného přijetí	20
1.3.3 Přesnější výpočty chybovosti	21
<b>2 Sejmutí a rozpoznání otisku</b>	<b>22</b>
2.1 Získávání otisku prstu	22
2.1.1 Optické snímače	24
2.1.2 Polovodičové snímače	26
2.1.3 Ultrazvukové snímače	27
2.1.4 Dotykové a průtahové snímače	27
2.2 Parametry snímačů	28
2.3 Rozpoznání otisků	29
2.3.1 Manuální klasifikace otisků prstů	31
2.3.2 Automatická klasifikace založená na srovnání markant	32
<b>3 Předzpracování otisku</b>	<b>33</b>
3.1 Vylepšování založené na konvoluci s Gaborovými filtry	33
3.1.1 Segmentace	34
3.1.2 Normalizace	35
3.1.3 Odhad orientací	35
3.1.4 Odhad frekvencí hřebenů papilárních linií	37
3.1.5 Gaborova filtrace	38
3.1.6 Binarizace	40
3.2 Vylepšování otisku použitím STFT analýzy	40
3.2.1 Krátkodobá Fourierova analýza	40

3.2.2	Obraz orientací papilárních linií . . . . .	42
3.2.3	Obraz frekvencí papilárních linií . . . . .	43
3.2.4	Maska oblasti . . . . .	43
3.3	Vylepšení otisku ve Fourierově spektru . . . . .	44
3.3.1	Ekvalizace histogramu . . . . .	44
3.3.2	Vylepšení otisku použitím Fourierovy transformace . . . . .	45
3.3.3	Binarizace otisku . . . . .	46
<b>4</b>	<b>Extrakce a srovnání markant</b>	<b>47</b>
4.1	Ztenčení papilárních linií . . . . .	47
4.2	Hledání a označení markantů . . . . .	48
4.3	Odstranění falešných markant . . . . .	49
4.4	Sjednocení označení markantů . . . . .	50
4.5	Srovnání markant . . . . .	51
4.5.1	Fáze uspořádání . . . . .	51
4.5.2	Fáze srovnávání . . . . .	52
<b>5</b>	<b>Řešení práce</b>	<b>53</b>
5.1	Návrh snímacího zařízení . . . . .	53
5.2	Návrh obslužného programu . . . . .	54
5.3	Experimentální výsledky . . . . .	55
5.3.1	Hodnocení získaných otisků . . . . .	55
5.3.2	Hodnocení otisků z databáze FVC2002 . . . . .	59
<b>6</b>	<b>Závěr</b>	<b>62</b>
	<b>Literatura</b>	<b>63</b>
	<b>Seznam příloh</b>	<b>67</b>
<b>A</b>	<b>Popis snímacího zařízení</b>	<b>68</b>
A.1	Hardwarová realizace snímacího zařízení . . . . .	68
A.2	Softwarová realizace obslužného programu . . . . .	70
<b>B</b>	<b>Popis obslužného programu</b>	<b>71</b>
B.1	Metody pro vylepšování otisku . . . . .	72
B.1.1	Vylepšení pomocí Gaborovy filtrace . . . . .	72
B.1.2	Vylepšení pomocí STFT . . . . .	73
B.1.3	Vylepšení ve Fourierově spektru . . . . .	73
B.2	Hledání markant . . . . .	73
B.3	Srovnat otisk . . . . .	74



# SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Blokové schéma úloh: a) uložení šablony; b) verifikace; c) identifikace	18
1.2	Proces biometrického srovnávání	18
1.3	Základní histogram rozdělení ztotožnění oprávněných a neoprávněných uživatelů. Zdroj [19].	19
1.4	Vztah mezi FRR a FAR. Zdroj [17].	21
2.1	Schéma stavby kůže s papilárními liniemi: 1 – pokožka (epidermis); 2 – škůra (curie); a – rohová vrstva; b – zárodečná vrstva; c – póry; d - vývody potních žláz; e – potní žlázy; f – cévy; g – podkožní tuk; h – svalstvo. Zdroj [21]	22
2.2	Blokový diagram obecného snímače otisku prstů. Zdroj [19].	23
2.3	Schéma snímače založeného na technologii FTIR. Zdroj [19].	24
2.4	Snímač založený na optických vláknech. Zdroj [19].	25
2.5	Elektro-optický snímač otisků prstů. Zdroj [19].	25
2.6	Kapacitní snímač. Zdroj [19].	26
2.7	Základní princip ultrazvukového snímače. Zdroj [19].	27
2.8	Ukázka protažení prstu uživatele přes snímač. Jakmile snímač vygeneruje nové řezy jsou spojeny do dvou rozměrného obrazu. Zdroj [19].	28
2.9	Potíže při porovnávání otisku. Otisky prstů na obrázcích a) a b) vypadají pro netréované oko rozdílně, ale přitom pocházejí ze stejného prstu. Obrázky c) a d) vypadají podobně, ale jsou ze dvou rozdílných prstů. Zdroj [19].	30
2.10	Základní vzory, postupně zleva: smyčka, vír a oblouk. Zdroj [17].	31
2.11	Typy markant: 1 - ukončení, 2 - krátká hrana, 3 a 4 - vidlice, 5 očko, 6 - háček, 7 - můstek, 8 - překřížení, 9 - trojitá vidlice. Zdroj [21]	32
2.12	Blokové schéma zjednodušeného systému pro rozpoznávání otisků prstů	32
3.1	Ukázka rozdílné kvality otisků: a) kvalitní otisk; b) průměrně kvalitní otisku; c) velmi špatný otisk. Zdroj [19].	34
3.2	Otisk prstu obsahující oblasti s různou kvalitou: a) dobře definovaná oblast; b) obnovitelná oblast; c) neobnovitelná oblast	34
3.3	Orientace vybraného bodu na hřebeni papilární linie. Zdroj [9].	36
3.4	Projekce hodnot intenzit pixelů kolmém ke směru hřebenu papilárních linií: a) blok o velikosti $32 \times 32$ v otisku prstu. b) vyprojektovaný průběh bloku. Zdroj [27]	38
3.5	Ukázka Gaborova filtru (pohled z boku a shora) s těmito parametry: $\theta = 135^\circ$ , $f = \frac{1}{5}$ a $\sigma_x = \sigma_y = 3$ . Zdroj [27].	39

3.6	a) Parametry přesahujícího okna použitého v STFT analýze; b) Na- značení jak je okno posunováno v průběhu analýzy; c) Spektrální okno použité při STFT analýze. Zdroj [11] . . . . .	41
3.7	Znázornění původního a nového histogramu obrázku po procesu ekva- lizace. Zdroj [36]. . . . .	44
4.1	Ukázka výsledku ztenčovacího algoritmu, kdy je výsledný skeleton souvisle propojen. Zdroj [8]. . . . .	48
4.2	Ukázka markant v okně o velikosti $3 \times 3$ pixely: a) vidlice; b) ukončení; c) trojitá vidlice . . . . .	49
4.3	Uspořádání falešných markant. Zdroj [29]. . . . .	49
5.1	Návrh snímacího zařízení . . . . .	53
5.2	Hlavní GUI navrženého programu pro rozpoznání otisků prstů . . . . .	54
5.3	Histogram rozdělení ztotožnění oprávněných a neoprávněných uživatelů pro vlastní databázi otisků vylepšených konvolucí s Gaborovými filtry	56
5.4	Distribuce indexů výkonnosti FAR a FRR pro vlastní databázi otisků vylepšených konvolucí s Gaborovými filtry . . . . .	56
5.5	Hodnocení shodnosti otisků pro vlastní databázi otisků vylepšených STFT analýzou . . . . .	57
5.6	Křivka FRR a FAR pro vlastní databázi otisků vylepšených STFT analýzou . . . . .	57
5.7	Hodnocení shodnosti otisků pro vlastní databázi otisků vylepšených FFT filtrací . . . . .	58
5.8	Křivka FRR a FAR pro vlastní databázi otisků vylepšených FFT filtrací	58
5.9	Histogram rozdělení ztotožnění oprávněných a neoprávněných uživatelů pro databázi otisků FVC2002 vylepšených konvolucí s Gaborovými filtry	60
5.10	Distribuce indexů výkonnosti FAR a FRR pro databázi otisků FVC2002 vylepšených konvolucí s Gaborovými filtry . . . . .	60
5.11	Hodnocení shodnosti otisků pro databázi otisků FVC2002 vylepšených STFT analýzou . . . . .	61
5.12	Křivka FRR a FAR pro databázi otisků FVC2002 vylepšených STFT analýzou . . . . .	61
A.1	Navržené snímací zařízení. Pohled zvenčí. . . . .	68
A.2	Navržené snímací zařízení. Pohled na vnitřní uspořádání. . . . .	68
A.3	GUI určené pro snímání otisku prstu. . . . .	70
B.1	Hlavní GUI navrženého programu pro rozpoznání otisků prstů . . . . .	71
B.2	Dialogové okno pro nastavení parametrů pro filtraci za použití všesměrových Gaborových filtrů. . . . .	72
B.3	Dialogové okno pro nastavení parametrů STFT filtrace. . . . .	73
B.4	Dialogové okno se zobrazeným výsledkem srovnání dvou šablon otisku. . . . .	74

## SEZNAM TABULEK

5.1	Hodnocení výsledných parametrů pro vlastní databázi otisků vylepšených konvolucí s Gaborovými filtry . . . . .	55
5.2	Hodnocení výsledných parametrů pro vlastní databázi otisků vylepšených STFT analýzou . . . . .	59
5.3	Hodnocení výsledných parametrů pro vlastní databázi otisků vylepšených FFT filtrací . . . . .	59
5.4	Hodnocení výsledných parametrů pro databázi otisků FVC2002 vylepšených konvolucí s Gaborovými filtry . . . . .	59
5.5	Hodnocení výsledných parametrů pro databázi otisků FVC2002 vylepšených STFT analýzou . . . . .	59

# ÚVOD

Snímání otisku prstu a jeho klasifikace patří do oboru biometrie. Lze je popsat jako metody měření charakteristik osob za účelem jejich identifikace. Mezi biometrické znaky, kromě otisku prstu patří např.: geometrie tvaru ruky a obličeje, oční duhovka, oční sítnice, nebo také charakteristika chůze, hlasu, či dynamika stisku kláves.

Rozvoj zájmu o identifikaci, byl zapříčiněn celkovým rozvojem lidstva, světové politiky, ekonomiky a moderních technologií, zejména pak informatiky a telekomunikací. Díky těmto moderním a dostupným technologiím se dnešní člověk může ve velice krátké době setkávat s obrovským množstvím neznámých lidí, věcí, jevů apod., které se nacházejí, odehrávají nebo projevují třeba až na druhé polovině planety Země. Z tohoto pohledu pak není ani podstatné, zda dochází k přímému (fyzickému) kontaktu nebo kontaktu zprostředkovanému (pomocí Internetu, telefonu, psané konverzace apod.)

A tak pochopitelně vznikají časté a opodstatněné otázky: Je to opravdu ten člověk, který má právo přistupovat k informacím, službám nebo produktům. Je to opravdu tou fyzickou osobou, za níž se vydává? Nezneužívá někdo identitu někoho jiného ke svému neoprávněnému prospěchu.

Dalším pohledem na identifikaci osob a především na zkoumání otisku prstu je pohled kriminalistický a tou je daktyloskopie. Identifikace musí vycházet z dostatečného množství charakteristických znaků pro každého jedince, musí být použitelná pro každý věk obojího pohlaví a dále musí umožňovat pohodlné, rychlé a jednoznačné srovnání osob. A konečně musí být snadno klasifikovatelná a registrovatelná. Do dnešních dnů se tyto podmínky podařilo splnit daktyloskopií. S daktyloskopickými stopami je možné se nejčastěji setkat na místech trestných činů a dále možné tyto využívat pro identifikaci a zjišťování totožnosti neznámých osob.

# 1 ZÁKLADNÍ POJMY V BIOMETRII

## 1.1 Historie daktyloskopie

### 1.1.1 První použití

Při sledování počátků „vědy“ zabývající se otisky prstů musíme rozlišovat mezi poznáním, že papilární linie na špičkách prstů mají různé tvary, a mezi využitím tohoto poznatku v oblasti identifikace osob. Skutečnost, že lidské prsty a dlaně mají na svém povrchu různé tvary a rýhování, byla lidem známa již řadu století před naším letopočtem. Čáry na prstech a rukou znali již staří Indové, Číňané, Japonci, Asyřané a různé další východní asijské národy.

V Severní Americe, byly v roce 1913 nalezeny v kameni ryté výkresy, zobrazující lidskou ruku. Že se jedná o ruku, bylo na první pohled zřejmé, ale na palci je znázorněna spirála, na ukazováku oblouky, na prostředníku elipsy, na prsteníku kruhy a na malíku jakýsi přechodný tvar z oblouků, jde tedy v podstatě o obrazce, dodnes užívané jako základ klasifikace. Také objevené Čínské dokumenty, pocházející z osmého století našeho letopočtu, z doby dynastie T'ang, se zmiňují o otiscích prstů, otištěných na stvrzeních obchodních smluv [25].

Pravděpodobně první písemně doložená zmínka o praktickém využití některé biometrické metody pochází od cestovatele jménem Joao de Barros, který popisuje užití určité obdoby dnes známého otisku prstu ve středověké Číně 14. století. Líčí, jak čínský kupec za pomoci inkoustu otiskuje dlaně a chodidla dětí na papír proto, aby dokázal malé děti vzájemně rozeznat. V některých oblastech Číny se tento zvyk udržel až do dnešních dob [28].

### 1.1.2 Moderní pojetí

V květnu roku 1888 publikoval svoji práci anglický přírodovědec Francis Galton. Předložil v ní teoreticko - vědecké základy daktyloskopie, vědy zabývající se otisky prstů. Matematickými metodami vypočítal, že existuje celkem 64 miliardy různých variant uspořádání papilárních linií. Tím Galton prakticky vyloučil možnost výskytu dvou jedinců se stejným otiskem prstu. První praktické základy daktyloskopické identifikace položil sir William James Herschel. Úředník žijící v Jižní Americe měl za úkol vyplácení důchodů velkému počtu penzionovaných vojáků, kteří neměli žádné osobní doklady. Protože se Herschel domníval, že se důchod vyplácí osobám opakovaně (vždy na jiném místě), či osobám vydávajícími se za již zemřelé a neexistoval nástroj, kterým by bylo možno tento podvod odhalit. Každá vyplácená osoba musela příjem peněz potvrdit otiskem ukazováku a prostředníku pravé ruky

na výplatní listinu. Zabránil tak podvodům a zároveň nasbíral množství materiálu ke zkoumání. Svoji metodu navrhl k využití ve věznicích, kde by zamezila záměnám těžkých zločinců za tzv. lehké případy. Jeho návrhy však byly označeny za výplody fantazie a nikdy nebyly akceptovány. Na problematice otisků prstů pracovalo mnoho dalších význačných osobností, mimo jiné Dr. Henry Faulds (1843-1930), Juan Vucetich (1838-1925) a také český přírodovědec Jan Evangelista Purkyně (1787-1869), který jako první popsal jednotlivé typy charakteristických kreseb papilárních linií na koncových člancích prstů a klasifikoval je do devíti různých vzorů [25, 28, 21].

### 1.1.3 Automatizace daktyloskopie

S rozvojem výpočetní techniky byly zkonstruovány automatizované daktyloskopické evidence, které umožňují velmi rychlé vyhledání nejpodobnější z uložených otisků v databázi. Obecným smyslem nasazení výpočetní techniky je podstatné zvětšení produktivity a kvality práce. Proces zadávání a hlavně vyhledávání shodných otisků probíhal ručně pomocí identifikačních karet, což bylo velmi zdlouhavé a pracné. Při vyhledávání v registru karet a otisků byli kriminalisté odkázáni pouze na svůj dobrý zrak, vytrvalost a postřeh. Se vzrůstající zločinností a stále stoupajícím počtem daktyloskopických stop, geometricky stoupal čas na jejich manuální zpracování a vyhodnocení [21].

Aby se zvětšila efektivita práce a zkrátila doba od sejmutí otisku k rozpoznání pachatele, se v myslích kriminalistů již v šedesátých letech minulého století, objevili první návrhy na počítačovou podporu daktyloskopie. Roku 1969 byl v USA vyvinut velký tlak ze strany FBI na vývoj automatického systému identifikačního procesu otisků prstů. FBI zadala tehdejšímu Národnímu úřadu pro standardizaci k vypracování studii procesů automatické klasifikace, vyhledání a porovnání otisků prstů. Po více než deseti letech vývoje vznikly v roce 1981 první systémy AFIS (Automated Fingerprint Identification Systems). Díky AFIS se pak mohly vytvořit standardy pro práci s otisky prstů a dalšími přidruženými daty. Tyto systémy se využívají dodnes po celém světě – vytvořil se tak ucelený přístup k uchování a vyhledávání otisků [21].

V naší zemi byl prvotně vyvíjen a do zkušebního provozu uveden systém EDOS (Evidence daktyloskopických otisků a stop). V návaznosti na politické a ekonomické změny byl tento systém ukončen a v roce 1994 byl do provozu uveden systém AFIS 2000. Jde o otevřený systém, jehož strukturu lze podle potřeby rozvíjet [25].

S dalším vývojem v oboru výpočetní techniky a elektroniky se ověřování a identifikace pomocí otisku prstu dostala i do komerční sféry. Kde se nové snímače díky miniaturizaci mohly instalovat do nejrůznějších zařízení. Tím se otevřela cesta, k použití biometrie v rozmanitých aplikacích (bezpečnostní systémy, docházkové

systemy apod.)

### 1.1.4 Jedinečnost otisku prstu

Vznik a existence obrazců papilárních linií na prstech, dlaních a chodidlech se řídí několika zákonitostmi [21]:

- Nejsou na světě dva jedinci, kteří by měli shodné obrazce papilárních linií. Jednoduchý výpočet předpokládající existenci pouhých dvaceti charakteristických znaků v kresbě papilárních linií na jednom posledním článku prstu ukáže, že je teoreticky možných asi 64 miliard různých variant obrazců. Toto velmi vysoké číslo svědčí o tom, že výskyt dvou zcela shodných kreseb u různých osob je vysoce nepravděpodobný a že lze proto daktyloskopický obrazec považovat pro praktickou potřebu kriminalistiky za dostatečně individuální.
- Obrazce papilárních linií zůstávají po celý život člověka relativně neměnné. Je prokázáno, že papilární linie se u člověka začínají tvořit již od 4. měsíce embryonálního života. Tím je dán základ kresby papilárních linií, jež se zachovává nezměněna po celý život člověka. Pokusy, při nichž byly otisky prstů téže osoby porovnávány v mnohaletých odstupech, ukázaly, že obrazce zůstávají neměnné, se všemi charakteristickými znaky.
- Papilární linie jsou relativně neodstranitelné, pokud není odstraněna i zárodečná vrstva kůže. Názor, že spálením, sedřením nebo seříznutím povrchové vrstvy kůže lze papilární linie trvale odstranit, a tím znemožnit daktyloskopickou identifikaci, je nesprávný. To by bylo možné pouze v tom případě, kdyby byla odstraněna i zárodečná vrstva kůže. Odstraní-li se nebo poškodí-li se jen vrchní vrstva kůže prstů, odstraní se papilární linie jen dočasně, tj. pouze do té doby, než se zraněná kůže zahojí.

## 1.2 Identifikace a verifikace

V bezpečnostní, kriminalistické a v poslední době i ve vládní, administrativní a komerční sféře se často hovoří o identifikaci a verifikaci osob. Identifikace je typická pro policejní a soudní aplikace, verifikace je charakteristická spíše pro aplikace bezpečnostní a komerční. Podstatu obou termínů je vhodné vysvětlit.

### 1.2.1 Identifikace

Identifikace je proces porovnání, ztotožnění (One-To-Many Matching, rekognizace) nasnímaného biometrického vzorku se všemi referenčními šablonami, uloženými v databázi vedoucí ke zjištění, která referenční šablona odpovídá šabloně vytvořené

z nasnímaného vzorku. Identifikující biometrická aplikace pak rozpozná totožnost prověřované osoby. Identifikace odpovídá na otázku „Kdo to je“ [21].

Každé porovnání (nejen biometrické) má dvě oddělené funkce, jež jsou však navzájem „duální“. Jedná se o tzv. pozitivní a negativní identifikaci. Tedy:

- Potvrdit, že oprávněná osoba je opravdu tou, za kterou se vydává.
- Dokázat, že neoprávněná osoba není tou, za kterou se vydává.

**Pozitivní identifikace** - cílem je zabránění používání identity jedné osoby dalšími osobami. Jinými slovy, musí se zabránit, aby se ostatní osoby prokázaly svou identitou. Jestliže izometrická aplikace využívající princip pozitivní identifikace v procesu porovnání nenajde shodu mezi šablonou předkládaného biometrického vzorku s žádnou referenční šablonou uloženou v databázi, výsledkem je odmítnutí přístupu uživatele do systému, objektu apod. Ztotožnění obou šablon naopak znamená přijetí uživatele [25].

**Negativní identifikace** - účelem tohoto druhu identifikace je vyloučení nežádoucího stavu, kdy jedna osoba využívá identitu více osob. V praxi to brání tomu, abych se já mohl vydávat za někoho jiného. Jestliže biometrická aplikace využívající princip negativní identifikace v procesu porovnání nenajde shodu mezi šablonou předkládaného biometrického vzorku s žádnou referenční šablonou uloženou v databázi, výsledkem je přijetí přístupu uživatele. Ztotožnění obou šablon naopak znamená odmítnutí uživatele [25].

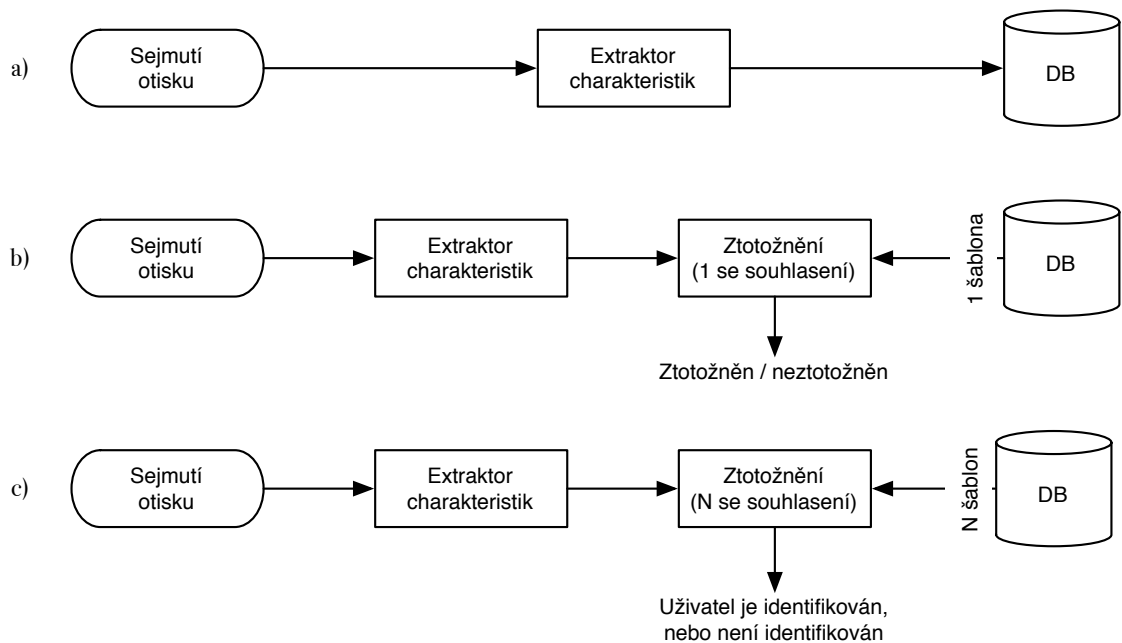
### 1.2.2 Verifikace

Verifikace je proces porovnání (One-To-One Matching, autentizace) jediné šablony vytvořené z nasnímaného biometrického vzorku s jedinou referenční šablonou, patřící prověřované osobě. Cílem je zjistit, zda prověřovaná osoba je opravdu tou osobou, za kterou se vydává nebo navenek jinak jeví. Biometrická aplikace potvrzuje nebo vyvrací identitu prověřované osoby [21].

Jestliže si uvědomíme, že porovnání při verifikaci je pouze v poměru 1:1, je zřejmé, že verifikační procesy jsou vždy mnohem rychlejší, než procesy identifikační, v nichž je nutno vyhodnotit (porovnat) všech  $n$  uložených referenčních šablon v databázi. Identifikační procesy jsou ale mnohem náročnější z pohledu výkonnosti biometrické aplikace.

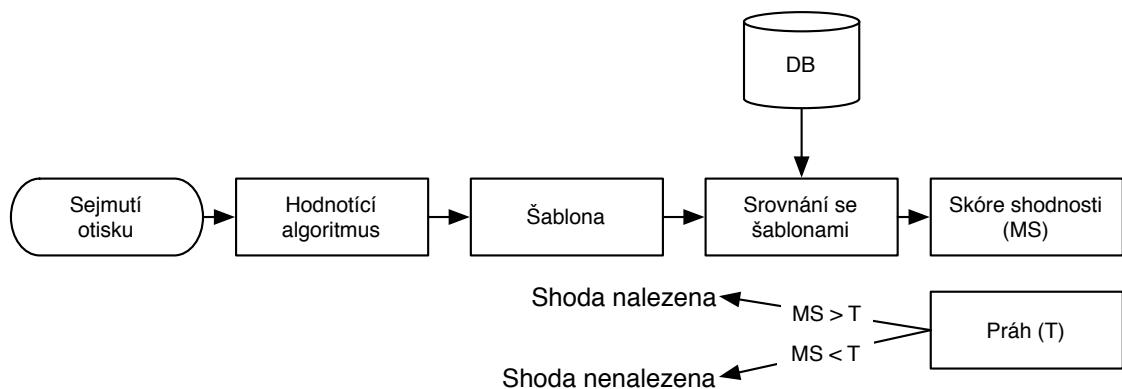
## 1.3 Měření výkonnosti

Komparace biometrických vzorů za účelem rozhodnutí jejich stupně shodnosti nebo úměrnosti je nazýváno srovnáváním. Proces srovnávání biometrických vzorů má za



Obr. 1.1: Blokové schéma úloh: a) uložení šablony; b) verifikace; c) identifikace

výsledek tzv. skóre (match score), které je v mnoha systémech ohraničeno mezí, určující, zda je vzor shodný či nikoliv. Tento proces zahrnuje komparaci vzoru, který byl vytvořen uživatelem zadanými biometrickými daty a vzoru uloženého v databázi [21].



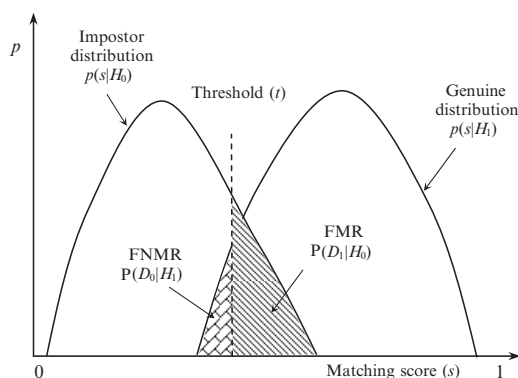
Obr. 1.2: Proces biometrického srovnávání

Identifikace či verifikace osoby z libovolného pohledu má obecně vždy bezpečnostní charakter. Cílem tedy je, aby oprávněné (autorizované) osobě byly bezchybně umožněny garantovaná práva. Naopak osoba, jež tyto práva nemá, musí být stejně bezchybně rozpoznána a odmítnuta. V praxi pak pracujeme s pravděpodobností obou zmíněných

negativních a tedy nežádoucích jevů. V průběhu let byly zavedeny dva základní pojmy:

- Pravděpodobnost chybného odmítnutí (autorizované osoby) biometrickým zařízením, v anglické literatuře nazvaná False Rejection Rate (FRR) <sup>1</sup>
- Pravděpodobnost chybného přijetí (neoprávněné osoby), označovaná též False Acceptance Rate (FAR) <sup>2</sup>

Pravděpodobnost chybného přijetí nebo odmítnutí biometrických metod nelze teoreticky vypočítat. Biometrické metody identifikace/verifikace jsou založeny na statickém vyhodnocování podobnosti biometrického vzoru a biometrické šablony. Při každém snímání biometrického vzoru nejsou zaznamenávány absolutně stejné hodnoty, stejné markanty pořizovaných charakteristik. V důsledku se pak i obě porovnávané šablony nepatrně liší. Míra ztotožnění (nazvaná rovněž i výsledek porovnání, tzv. skóre) je pak pokaždé odlišná a závisí především na každé biometrické aplikaci a jejím technickém řešení. Čím nižší je FAR tím vyšší je FRR a naopak. Hodnota při, které se rovnají FRR a FAR se nazývá EER (Equal Error Rate [EER]).



Obr. 1.3: Základní histogram rozdělení ztotožnění oprávněných a neoprávněných uživatelů. Zdroj [19].

### 1.3.1 Pravděpodobnost chybného odmítnutí

Jedním z kritérií, ukazujících na bezpečnostní a uživatelskou spolehlivost, je pravděpodobnost chybného odmítnutí. Tato veličina udává, s jakou pravděpodobností bude biometrické zařízení chybovat a nerozpozná oprávněného uživatele nebo již dříve registro-

<sup>1</sup>V anglické literatuře jsou False Reject Rate nebo False Non-Match Rate (FRR respektive FNMR) ekvivalentní pojmy [31].

<sup>2</sup>V anglické literatuře jsou False Accept Rate nebo False Match Rate (FAR respektive FMR) ekvivalentní pojmy [31].

vanou osobu, kteří mají v aplikaci již uloženou svou referenční biometrickou šablonu. V důsledku je pak tento uživatel odmítnut (nebo vůbec nenalezen) a musí se znovu pokusit o prokázání své identity.

Pravděpodobnost chybného odmítnutí  $FRR$  je definována [21]:

$$FRR = \frac{N_{FR}}{N_{EIA}} = \frac{N_{FR}}{N_{EVA}}, \quad (1.1)$$

kde  $N_{FR}$  je Number of False Rejection (počet chybných odmítnutí),  $N_{EIA}$  je Number of Enrolle Identification Attempts (počet pokusů oprávněných osob o identifikaci) a  $N_{EVA}$  je Number of Enrolle Verification Attempts (počet pokusů oprávněných osob o verifikaci).

Z hlediska bezpečnostního se v případě civilních aplikací nejedná o kriticky negativní jev. Chybné odmítnutí je nežádoucí z pohledu uživatelské přítulnosti biometrické metody a spolehlivosti daného zařízení. Není v praxi nijak žádoucí, aby existoval velký počet oprávněných osob, které jsou biometrickým zařízením odmítány. Ve sledu toho pak klesá důvěra v dané zařízení, jež je přehnaně tvrdé i k osobám, které ve skutečnosti mají garantovaný přístup. V policejně-soudních aplikacích pak falešné odmítnutí znamená to, že osoba, u níž má dojít k potvrzení identity není rozpoznána a identita není potvrzena. V praxi pak není identita osoby potvrzena z důvodu selhání techniky a osoba uniká z okruhu vyšetřovacích činností. Z pohledu policejně-soudních aplikací se jedná o závažný nedostatek.

### 1.3.2 Pravděpodobnost chybného přijetí

Druhou stranou mince je požadavek na vysokou bezpečnost biometrického zařízení, které nesmí akceptovat neoprávněné osoby. V reálném životě se setkáváme s osobami, jež se snaží překonat bezpečnostní kontrolní mechanismy a proniknout do střeženého objektu, získat identitu někoho jiného a následně pak provést nežádoucí činnost v chráněném prostředí. Osoby, které usilují o neoprávněný průnik, musí být rozpoznány a nekompromisně biometrickým zařízením odmítnuty – vyhodnoceny jako osoby neoprávněné. V aplikacích, kontrolujících přístup do objektů, je chybné přijetí neoprávněné osoby chápáno jako bezpečnostní incident, v jehož důsledku může dojít i k nežádoucím aktivitám a následně i k narušení majetku, stability objektu, poškození práv majitele nebo provozovatele střeženého objektu apod.

Pravděpodobnost chybného přijetí  $FAR$  je definována [21]:

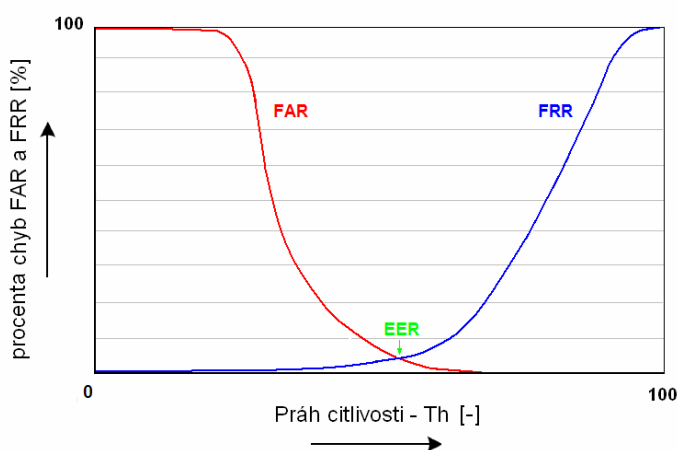
$$FAR = \frac{N_{FA}}{N_{IIA}} = \frac{N_{FA}}{N_{IVA}}, \quad (1.2)$$

kde  $N_{FA}$  je Number of False Acceptance (počet chybných přijetí),  $N_{IIA}$  je Number of Impostor Identification Attempts (počet pokusů neoprávněných osob o identifikaci) a  $N_{IVA}$  je Number of Impostor Verification Attempts (počet pokusů neoprávněných osob o verifikaci).

V policejně-soudních aplikacích falešné přijetí znamená to, že osoba, u níž má dojít k potvrzení identity (např. pachatele) je chybně ztotožněna se zcela jinou osobou. V praxi to znamená, že identita např. hledané osoby byla chybně zaměněna s identitou jiné osoby, která nemá vůbec žádný vztah k řešenému případu. Vyšetřování je pak vedeno nesprávným směrem.

### 1.3.3 Přesnější výpočty chybovosti

V některých případech může být zajímavé mít detailnější přehled o důvodech chybovosti zařízení, můžeme tedy celkovou chybovost FAR a FRR jemněji rozdělit. Předně existuje skupina lidí, kteří nemohou to které biometrické zařízení používat, neboť se nemohou zaregistrovat. Příkladem mohou být lidé s chybějícími články prstů. Možnost, že uživatel nebude moci být zaregistrován v biometrickém systému se anglicky nazývá Failure to Enroll (FTE). Avšak i v případech, kde uživatel je v systému zaregistrován, se může stát, že získaná biometrická data nejsou dostatečně kvalitní pro další biometrické zpracování. V takovém případě je nutné biometrická data opakově získat. Vzniklá situace se anglicky nazývá Failure to Acquire (FTA). Pokud je kvalita vstupních dat dostatečná, může se přikročit k biometrickému srovnání se šablonou. Pokud při tomto srovnání dojde k nesprávnému ztotožnění nazývá se situace anglicky False Match (FM), pokud dojde k nesprávnému neztotožnění, jedná se o False Non Match (FNM) [21].



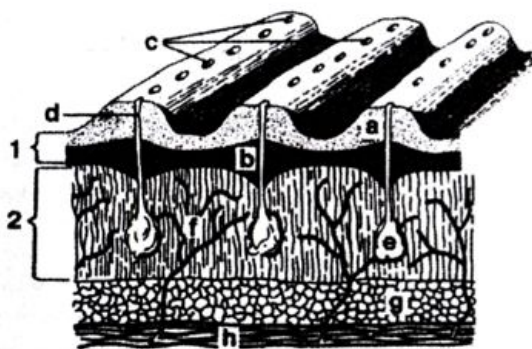
Obr. 1.4: Vztah mezi FRR a FAR. Zdroj [17].

## 2 SEJMUTÍ A ROZPOZNÁNÍ OTISKU

Snímáním otisků kresby papilárních linií z vnitřní strany prstů rukou, dlaní a chodidel osob se získávají objekty potřebné pro vlastní zkoumání. Cílem je získání jasné kontrastní kresby jednotlivých papilárních linií a jejich markantů tak, aby v procesu porovnání s jednotlivými objekty zkoumání nemohlo dojít k rozdílnému hodnocení jednotlivých charakteristických znaků.

Každé zařízení, které obecně provádí jakékoliv vyhodnocení, je závislé i na kvalitě vstupních dat. Nejinak je tomu i v případě automatizované identifikace osob, založené na daktyloskopických otiscích. A je lhostejné, zda se jedná o aplikace policejně-soudního charakteru nebo aplikace charakteru komerčně-bezpečnostního.

Podstatu snímání otisků, tedy daktyloskopie tvoří vědecké poznatky o fyziologických vlastnostech kůže člověka. Tyto poznatky hovoří o tom, že na vnitřní straně ruky a plochách chodidel se vytvářejí papilární linie jako funkční útvary spojené s hmatovými a jinými vlastnostmi končetin. Papilární linie vytvářejí složité a ve své podstatě jedinečné obrazce, jejichž účel není dosud zcela jednoznačně objasněn. Jednoznačně bylo prokázáno, že souvisí s citlivostí pokožky a jejími hmatovými vlastnostmi. Papilární linie vytvářejí souvisle vyvýšené reliéfy, jejichž výška je 0,1 – 0,4 mm a šířka 0,2 – 0,7 mm. Jejich vzájemným křížením, změnou směru, rozvětvováním apod. dochází v souhrnu k vytváření nejrůznějších obrazců [25].



Obr. 2.1: Schéma stavby kůže s papilárními liniemi: 1 – pokožka (epidermis); 2 – škára (curie); a – rohová vrstva; b – zárodečná vrstva; c – póry; d – vývody potních žláz; e – potní žlázy; f – cévy; g – podkožní tuk; h – svalstvo. Zdroj [21]

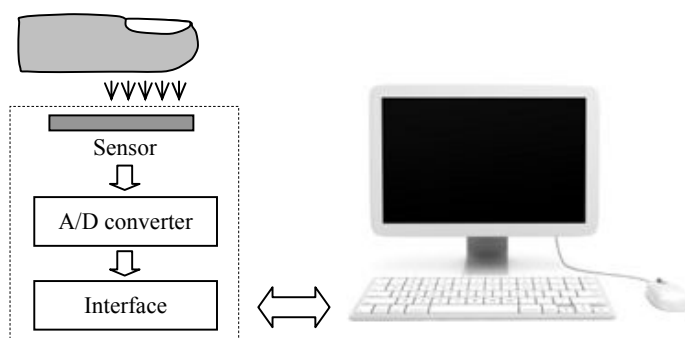
### 2.1 Získávání otisku prstu

Historicky v prostředí kriminalistiky bylo získávání otisků prstů možné pouze za použití „inkoustové metody“. Na předmětné prsty byl nanesen černý inkoust a prst

byl přitisknut na papírovou kartičku. Karta poté byla naskenována běžně dostupným skenerem, který vytvořil digitální snímek. Tento druh snímání je označován jako *off-line* snímání otisků prstů.

Nyní většina civilních a kriminalistických AFIS<sup>1</sup> přijímají *přímo naskenované* digitální otisky získané snímáním povrchu otisku prstu pomocí elektronického *skeneru otisků prstů*<sup>2</sup>. V této metodě není potřeba žádný inkoust a vše co musí osoba udělat je přiložit prst ke čtečce otisků. Ačkoli AFIS systémy velmi těžší z přímých technik snímání, toto vylepšení je nepochybně důležitější v širokém rozsahu civilních a komerčních aplikací.

Obecná struktura typického snímače otisku prstů je zobrazena obrázku 2.2: *snímač (sensor)*<sup>3</sup> čte strukturu papilárních linií na povrchu prstu a převádí analogová data do digitální podoby přes *A/D (analogově/digitální) převodník*. Modul *rozhraní (interface)* je zodpovědný za komunikaci (posílání obrázku, přijímání příkazů, atd.) s externím zařízením (např. osobním počítačem).



Obr. 2.2: Blokový diagram obecného snímače otisku prstů. Zdroj [19].

Existující skenery mohou být rozděleny do těchto základních kategorií:

**Více-prstový (multi-finger)** - více než jeden otisk prstu může být sejmuto v jednom tahu. Obvykle čtyři prsty na jedné ruce (všechny kromě palce) mohou být sejmuty ve stejnou dobu.

**Jedno-prstový (single-finger)** - pouze jeden otisk prstu může být sejmuto ve stejnou dobu. Tento typ skenerů je široce využíván v komerční a osobní sféře díky jejich malé velikosti, nízké ceně a jednoduchosti použití.

<sup>1</sup>Automated fingerprint identification system (Automatický identifikační systém otisků prstů) je procesem automatického rozpoznání jednoho nebo více neznámých otisků prstů podle databáze známých i neznámých otisků [30].

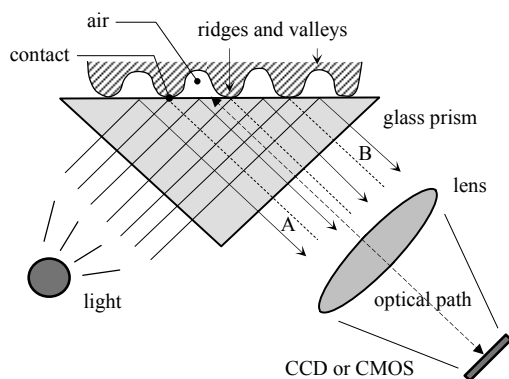
<sup>2</sup>Také nazývané *snímač otisků prstů*.

<sup>3</sup>V oblasti snímání otisků prstů mají pojmy *snímač* a *skener* rozdílné významy. *Snímač* je interní aktivní snímací prvek *skeneru* otisku prstů.

## 2.1.1 Optické snímače

### Frustrated Total Internal Reflection (FTIR)

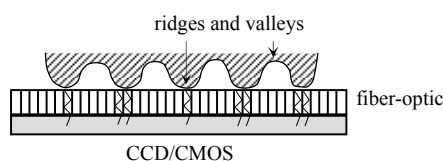
Je to nejstarší a dnes nejpoužívanější technika přímého snímání otisku prstů [19]. Zatímco se prst dotýká horní strany skleněného nebo plastového hranolu, hřebeny papilárních linií jsou v přímém kontaktu s hranolem a údolí mezi papilárními liniemi zůstávají v určité vzdálenosti. Levá strana hranolu je typicky osvětlená difusním světlem. Světlo vstupující do hranolu je odraženo v údolích papilárních linií a náhodně rozptýleno (absorbováno) na hřebenech papilárních linií. Nedostatečný odraz dovozuje hřebenům papilárních linií (jež se zjevují tmavě na výsledném obrázku) být odlišeny od údolí papilárních linií (zobrazujícími se světle). Paprsky světla dopadající na pravou stranu hranolu jsou zaostřeny přes optickou čočku na CCD nebo CMOS snímač. Jelikož zařízení FTIR snímají tří-rozměrný povrch prstu, nemůžou být jednoduše oklamány přiložením ploché fotografie otisku prstu [19].



Obr. 2.3: Schéma snímače založeného na technologii FTIR. Zdroj [19].

### Optovláknový snímač

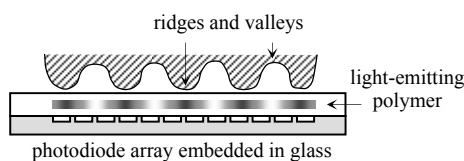
Významné zmenšení velikosti optického skeneru může být dosaženo nahrazením hranolu ploškou optických vláken. Prst je v přímém kontaktu s horní stranou plošky a na druhé straně je k plošce pevně připojen CCD nebo CMOS snímač. Ten přijímá zbytkové světlo přenášené přes skleněná vlákna. Na rozdíl od zařízení FTIR, je CCD/CMOS snímač v přímém kontaktu s ploškou snímání a bez jakéhokoliv průchodu přes optickou čočku. Protože velikost snímače pokrývá celou snímanou oblast, je výsledná cena zařízení velmi vysoká [19].



Obr. 2.4: Snímač založený na optických vláknech. Zdroj [19].

### Elektro-optický snímač

Tyto zařízení se skládají ze dvou hlavních vrstev. První vrstva obsahuje polymer, který je-li polarizován správným napětím emituje světlo závislé na potenciálu přiloženém na jednu stranu. Protože se hřebeny papilárních linií dotýkají polymeru a údolí papilárních linií ne, není generován stejný potenciál na celém povrchu snímače. Množství emitovaného světla závisí na dovolené světelné reprezentaci generované vzorkem otisku prstu. Druhá vrstva, pevně spojená s první, je složena z foto-diodového pole, které je zodpovědné za příjem světla emitovaného polymerem a jeho konverzi do digitální podoby. Obrázky ze skenerů založených na této technologii nejsou porovnatelné s obrázky ze skenerů FTIR z důvodů horší kvality [19].



Obr. 2.5: Elektro-optický snímač otisků prstů. Zdroj [19].

### Skenery pro přímého snímání

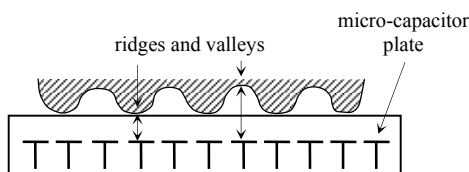
Tyto zařízení používají vysoce kvalitní fotoaparát přímo zaostřený na otisk prst. Prst není v žádném kontaktu s jakýmkoliv povrchem, ale skener může být vybaven mechanickou podporou usnadňující uživateli umístit prst ve vhodné vzdálenosti. Bezkontaktní snímání může být považováno za více hygienické a může předcházet některým problémům typickým pro dotekové snímání. Např. nelineární deformací způsobenou přiložením prstu na dotykovou plochu či nepotřebou periodického čištění dotykové plochy.

## 2.1.2 Polovodičové snímače

Polovodičové snímače (známé také jako křemíkové snímače) byly navrženy k překonání velikostních a cenových problémů, které byly zábranou širšímu rozvoji systémů pro rozpoznávání otisků prstů v různých zákaznických aplikacích. Všechny polovodičové snímače se skládají z „pole“ pixelů, kdy je každý pixel malým samostatným snímačem.

### Kapacitní snímače

Tyto snímače jsou dnes nejběžněji používanou technikou v oblasti polovodičových snímačů. Kapacitní snímač je dvou rozměrným polem mikro-kondenzátorů usazených na jednom čipu [19].



Obr. 2.6: Kapacitní snímač. Zdroj [19].

Druhou elektrodu každého mikro-kondenzátoru tvoří samotný prst. Vytvářejí se zde malé elektrické náboje mezi povrchem prstu a křemíkovou vrstvou, když je na snímači přiložen prst. Uživatel přímo pokládá prst na povrch polovodiče, tedy nejsou potřeba žádné optické komponenty ani žádné externí CCD/CMOS snímače. Velikost těchto elektrických nábojů závisí na vzdálenosti mezi povrchem prstu a vrstvou kondenzátorů. Tak se rozdílnou kapacitou zobrazí hřebeny a údolí papilárních linií.

Kapacitní snímače, stejně jako optické, nemůžou být oklamány přiložením ploché fotografie otisku prstu, protože měří „vzdálenost“ a nasnímán může být pouze tří-rozměrný povrch.

### Teplotní snímače

Tyto snímače jsou vyrobeny z pyroelektrického materiálu, který generuje napětí založené na teplotním rozdílu. Hřebeny papilárních linií v kontaktu s povrchem snímače generují jiné napětí, na rozdíl od údolí papilárních linií, které jsou ve větší vzdálenosti od povrchu snímače. Tento teplotní rozdíl vytváří obraz, když se prst dotkne snímače, ale ten brzy mizí, protože je rychle dosažena teplotní rovnováha [19].

## Piezoelektrické snímače

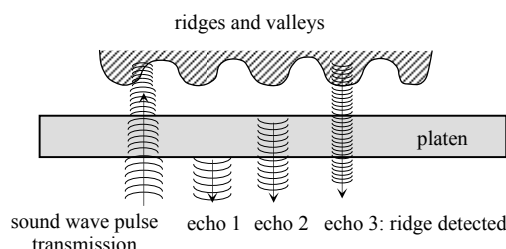
Jsou to tlakově citlivé snímače a byly navrženy, tak aby generovaly elektrický signál, když na ně působí mechanický tlak [19].

### 2.1.3 Ultrazvukové snímače

Ultrazvukové snímání je založeno na odeslání akustického signálu směrem k prstu a zachycení odraženého signálu. Odražený signál je použit k vypočtení *hloubkového* obrazu otisku prstu a následně samotné struktury papilárních linií. Ultrazvukový snímač má dvě hlavní části [19]:

**Vysílač** - generující krátké akustické pulzy

**Příjmač** - detekuje odezvu, když se tyto pulzy odrazí od povrchu prstu



Obr. 2.7: Základní princip ultrazvukového snímače. Zdroj [19].

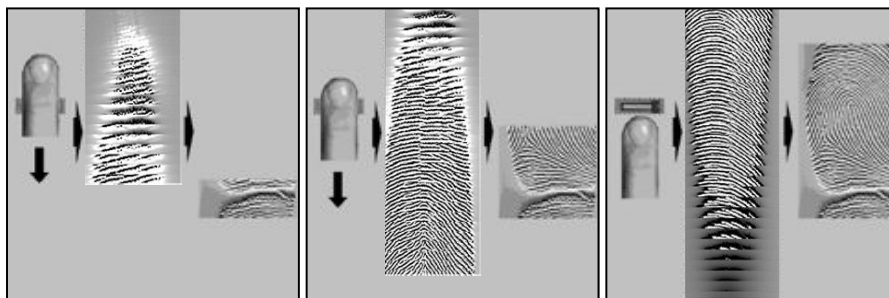
Tato metoda zobrazuje spodní vrstvu kůže (i přes tenké rukavice), proto je rezidentní vůči špíně a mastnotě akumulované na prstu. Zatímco touto technologií můžou být generovány obrázky otisků velmi dobré kvality, současné ultrazvukové skenery jsou neskladné s mnoha mechanickými částmi a velmi drahé.

### 2.1.4 Dotykové a průtahové snímače

Mnoho z dnes dostupných přímo skenujících snímačů otisků používá dotykovou technologii: prst se jednoduše přiloží na skener a bez pohnutí je vygenerován obraz otisku prstu. Hlavní výhodou této technologie je její jednoduchost. Nicméně navzdory technologickým inovacím, dotykové senzory stále zabírají relativně velké množství místa pro snadné zabudování ve spotřebních produktech jako jsou notebooky, PDA či mobilní telefony [19].

S cílem redukovat velikost polovodičového snímače a cenu. Byla navržena další technologie snímání, jež vyžaduje od uživatele protáhnout prst přes snímač. Velikost průtahového snímače je mnohem menší než snímače dotykového. Jakmile prst přejede přes tento snímač, jsou vygenerovány částečné (řezy) obrázky otisku prstu.

Protože posuv přes snímač je pouze ve vertikálním směru, šířka snímače může být stejná jako je šířka prstu, kdežto hloubka snímače může být velmi malá (minimálně jeden pixel). Protože v praktickém použití je rychlost průtahu prstu přes snímač neznámá, je důležitý několik stupňový přesah mezi jednotlivými řezy otisku pro efektivní spojení těchto řezů a vygenerování plnohodnotného otisku.



Obr. 2.8: Ukázka protažení prstu uživatele přes snímač. Jakmile snímač vygeneruje nové řezy jsou spojeny do dvou rozměrného obrazu. Zdroj [19].

Průtahová metoda byla původně představena a používána s teplotními snímači, ale nyní je dotyková i průtahová metoda používána v rozdílných technologiích snímačů. Nejdůležitější předností průtahových snímačů je, že jsou menší a obvykle levnější. Další předností je, že na rozdíl od dotykových zařízení, jsou průtahové snímače „samočisticí“ - prst sám vyčistí snímač během používání a žádné na snímači nezůstávají žádné latentní otisky.

## 2.2 Parametry snímačů

**Rozlišení** - Označuje počet jednotek DPI (bodů na palce). Rozlišení v rozmezí 250-300 DPI jsou minimální rozlišení, která dovolují úspěšně lokalizovat markanty v otisku. Při použití menších rozlišení se možnost extrakce informací z otisku prstu snižuje. Skenery odpovídající specifikaci FBI používají rozlišení 500 DPI. [1]

**Oblast** - Jedná se o velikost snímané oblasti. Čím větší je tato oblast, tím více informací je možné zachytit a tím je otisk více zřetelný. Oblast o velikost  $1 \times 1 \text{ inch}^2$  nebo větší je dostatečně velká pro získání plného obrazu otisku. V komerčních skenerech, určených pro běžné použití, se velikost oblasti často snižuje kvůli ceně. To ale může vést k chybám při porovnávání obrazu otisku s uloženou šablonou. Proto je nutné najít kompromis mezi velikostí snímané oblasti a přesností. [1]

**Počet pixelů** - Počet pixelů lze snadno odvodit z tohoto vzorce:  $rh \times rw$ , kde  $h(\text{height}) \times w(\text{width})\text{inch}^2$  je velikost snímané plochy a  $r$  je rozlišení skeneru v DPI. [1]

**Dynamický rozsah** - Určuje počet bitů nutných pro zakódování hodnoty intenzity každého pixelu. Většina skenerů snímá černobílý obraz, proto odpovídající hodnota je 8 bitů. [1]

**Geometrická přesnost** - Ta je obvykle určena maximálním geometrickým zakřivením, které způsobuje snímací zařízení. Toto zakřivení se udává v procentech s ohledem na osu  $x$  a osu  $y$ . [1]

**Kvalita obrazu** - Tato charakteristika bere do úvahy věci jako: za je prst vlhký či suchý, zda jsou na něm nějaké jizvy a další faktory. [1]

## 2.3 Rozpoznání otisků

Spolehlivé rozpoznání otisků je mimořádně obtížným úkolem, především z důvodů velké variability v rámci jednoho otisku prstu (především velký rozdíl v kvalitě). Hlavními faktory odpovědnými za velké rozdíly jsou: posunutí, rotace, částečné překrytí, nelineární deformace, rozdílný přítlak, změna vlastností kůže, šum a chyby při extrakci hlavních rysů. Proto mohou otisky z jednoho prstu někdy vypadat naprosto odlišně, kdežto otisky z rozdílných prstů se mohou jevit velmi podobně (názorně na obrázku 2.9).

Daktyloskopičtí technici pro potvrzení, že dva otisky jsou ze stejného prstu, musí zvážit několik faktorů:

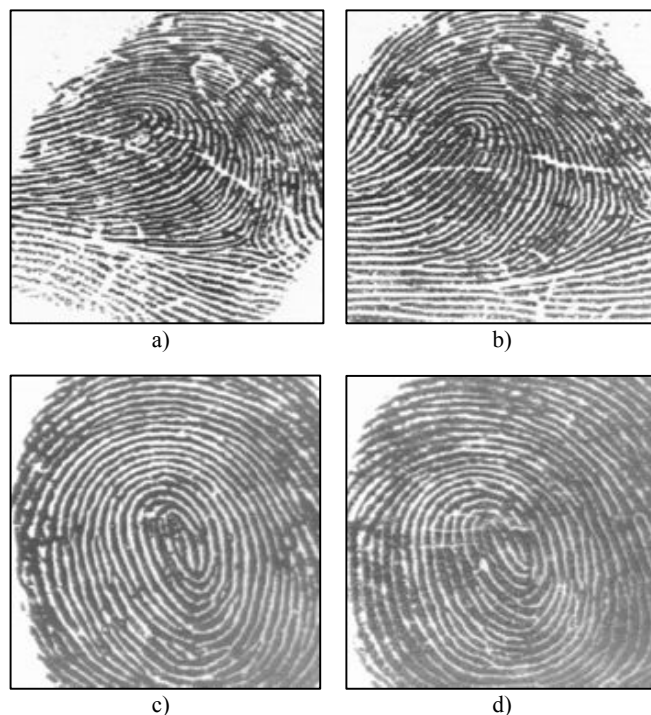
1. Musí souhlasit celkové seskupení vzorů, tedy dva otisky musí být stejného typu.
2. Kvalitativní shoda, tedy odpovídající detaily markantů musí být shodné.
3. Mnohost-ní faktor, který specifikuje minimální počet korespondujících markantů<sup>4</sup>.
4. Korespondující detaily markantů musí navzájem souhlasit.

V praxi bylo definováno několik postupů pro manuální klasifikaci otisků a jsou k dispozici detailní postupy s instrukcemi pro manuální hodnocení otisků.

Automatické srovnávání otisků nemusí nutně následovat stejné postupy. Ve skutečnosti, ačkoli jsou automatické rozpoznávací algoritmy pro hodnocení markantů inspirovány manuálními postupy, byly navrženy během posledních 40 let další techniky. Mnoho

---

<sup>4</sup>Ve forenzní sféře je nutno splnit podmínku daného státu (v ČR se jedná o minimální počet 10 shodných markant, v USA 8, v Rusku 7 a v zemích EU 10–17)[26]



Obr. 2.9: Potíže při porovnávání otisku. Otisky prstů na obrázcích a) a b) vypadají pro netréované oko rozdílně, ale přitom pocházejí ze stejného prstu. Obrázky c) a d) vypadají podobně, ale jsou ze dvou rozdílných prstů. Zdroj [19].

z nich bylo navíc přímo navrženo pro automatické rozpoznání. Základní rozdělení automatických přístupů pro rozpoznávání otisků je [19]:

**Korelačně založené rozpoznávání** - dva otisky prstů jsou přeloženy přes sebe a následně jsou vypočteny vzájemné vztahy mezi korespondujícími body pro rozdílné vzájemné polohy (například různé posunutí a rotace).

**Rozpoznávání založené na srovnání markant** - markanty se extrahují ze dvou otisků a uloží se jako sada bodů v dvou rozměrné matici. Samotné porovnání markant se v podstatě skládá z hledání souvislostí mezi šablonou a vstupní sadou markant, jejíž výsledkem je maximální počet spárovaných shodných markant.

**Rozpoznávání nezaložené na srovnání markant** - extrakce markant je velmi obtížná v nekvalitních obrázcích otisků prstů, zatímco další rysy papilárních linií (například lokální orientace a frekvence, tvar papilární linie či struktura) mohou být extrahovány mnohem spolehlivěji, než markanty. Dokonce přesto, že jejich výraznost je mnohem slabší. Přístupy patřící do této skupiny porovnávají otisky z hlediska rysů extrahovaných ze vzoru papilárních linií.

### 2.3.1 Manuální klasifikace otisků prstů

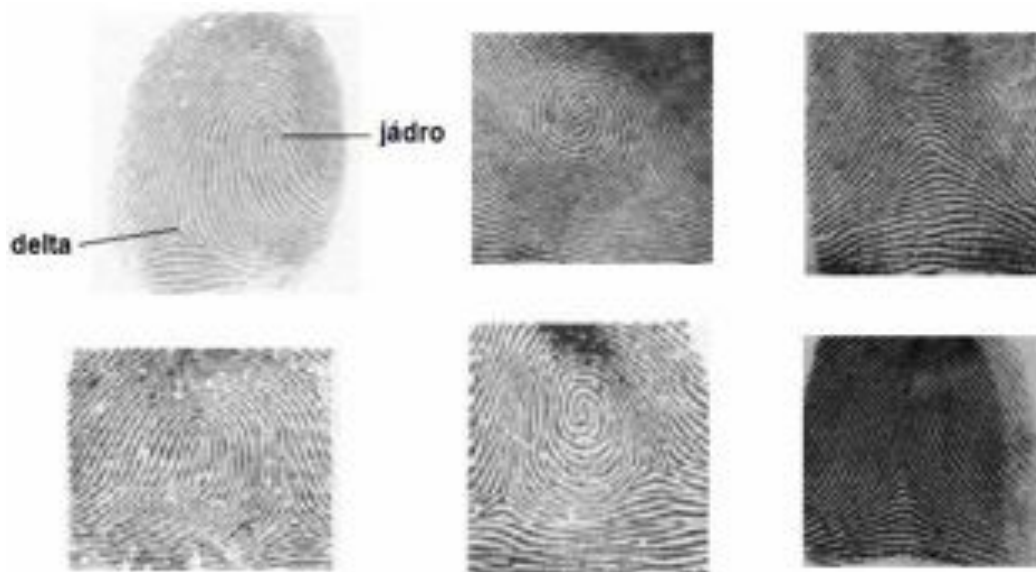
Pro manuální klasifikaci otisků se používá několik systémů: *Roscherův klasifikační systém* a *klasifikační systém Juana Vuceticha* [33]. Nejvýznamnějšími jsou však následující dva. Prvním je *Galtonův klasifikační systém*, který obsahuje pouze tři třídy otisků prstů. Druhým je *Henryho klasifikační systém*, který obsahuje pět tříd a je nejpoužívanějším systémem pro rozpoznání otisků prstů [21]. Jedná se tedy o exkluzivní klasifikaci, která přiřazuje otisk prstu do předdefinovaných tříd podle jejich makro znaků.

Rozeznáváme tři základní klasifikační vzory [21]:

**Smyčka** - papilární linie zde tvoří smyčku a také mezi středem centrální oblasti a deltou se musí nacházet alespoň jedna linie. Smyčka se nachází přibližně na 65% všech otisků prstů.

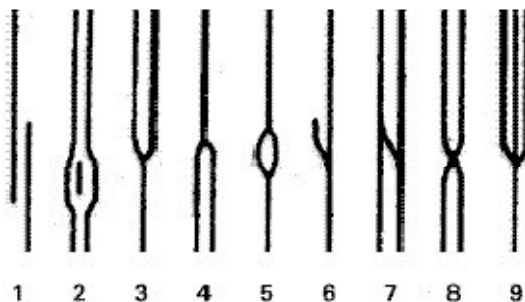
**Vír** - papilární linie zde tvoří kruh, ovál, spirálu s jádrem. Vír tvoří přibližně 25% všech otisků prstů.

**Oblouk** - papilární linie zde tvoří jednoduché oblouky. Je nejméně častým jevem na otisku přibližně v 5-10%.



Obr. 2.10: Základní vzory, postupně zleva: smyčka, vír a oblouk. Zdroj [17].

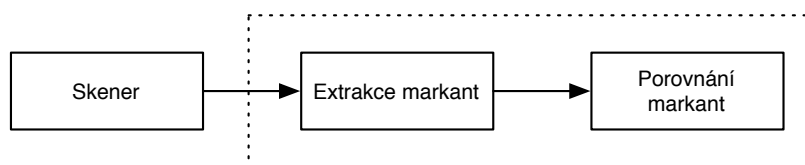
Kromě základních tvarů, rozlišujeme jednotlivé přerušování nebo ukončení papilárních linií, které jsou nazývány markanty. Můžou mít následující podobu: začínající a končící linie, bod, oko, hák, most, křížení, vidlice, přerušovaná linie, boční přerušování, ukončení a další.



Obr. 2.11: Typy markant: 1 - ukončení, 2 - krátká hrana, 3 a 4 - vidlice, 5 očko, 6 - háček, 7 - můstek, 8 - překřížení, 9 - trojitá vidlice. Zdroj [21]

### 2.3.2 Automatická klasifikace založená na srovnání markant

Metoda, kterou jsem použil pro realizaci diplomové práce se skládá ze skeneru otisků prstů, extrakce markant a jejich porovnání.



Obr. 2.12: Blokové schéma zjednodušeného systému pro rozpoznávání otisků prstů

*Extrakce markant* je realizována pomocí pomocí tří-stupňového přístupu [19]:

**Předzpracování otisku** - první fáze slouží k vylepšení obrazu otisku. Používají se vylepšující algoritmy, které zlepšují čistotu papilárních linií.

**Označení markant** - druhým krokem je nalezení jednotlivých markant ve zpracovaném otisku. Samotné hledání markant probíhá na morfologicky ztenčeném otisku.

**Odstranění falešných markant** - poslední krok, který odstraní falešně označené markanty - tedy takové, které se za markanty nedají považovat.

Pro srovnávání otisků na základě extrahovaných markant je založeno několik algoritmů. Základem je výběr dvou markant jako referenčního páru a následné srovnání přidružených papilárních linií. Pokud si papilární linie odpovídají, dva obrázky otisků jsou zarovnány a srovnání je provedeno pro všechny zbývající markanty [29].

### 3 PŘEDZPRACOVÁNÍ OTISKU

Výkonnost rozpoznávacího algoritmu při extrakci markant velmi záleží na kvalitě vstupních obrázků otisků. V ideálním otisku se hřebeny a údolí papilárních linií pravidelně střídají a lokálně ubíhají ve stejném směru. V těchto situacích můžou být hřebeny papilárních linií snadno detekovány a tím přesně lokalizovány jednotlivé markanty. Obrázek 3.1a zobrazuje příklad otisku prstu v dobré kvalitě. Bohužel v praxi, vinou vlastností kůže, šumu snímače, nesprávného přitlaku a přirozeně špatnou kvalitou prstu (např. staří lidé, manuálně pracující), je významná část otisku špatné a průměrné kvality, jako na obrázcích 3.1b, c. V mnoha případech obsahuje jeden otisk oblasti s dobrou, střední a špatnou kvalitou, kde jsou hřebeny papilárních linií velmi zašuměné a porušené (obr. 3.2). Celkově se vyskytuje několik základních degradací souvisejících s otisky [19]:

1. Hřebeny papilárních linií nejsou vždy souvislé – mají krátké přerušení<sup>1</sup>
2. Souběžné papilární linie nejsou dobře odděleny. Je to způsobeno přítomností šumu, který prochází mezi papilárními liniemi, což způsobuje jejich slabé oddělení.
3. Vrásky, pohmožděniny a rýznutí na prstu

Tyto tři typy degradací dělají extrakci markant (na hřebenech papilárních linií) extrémně složitou ve velmi poškozených oblastech. To vede k následujícím problémům při srovnávání markant:

- je rozpoznáno velké množství falešných markantů
- není rozpoznáno množství pravých markantů
- způsobuje chyby v pozicích a orientacích markant

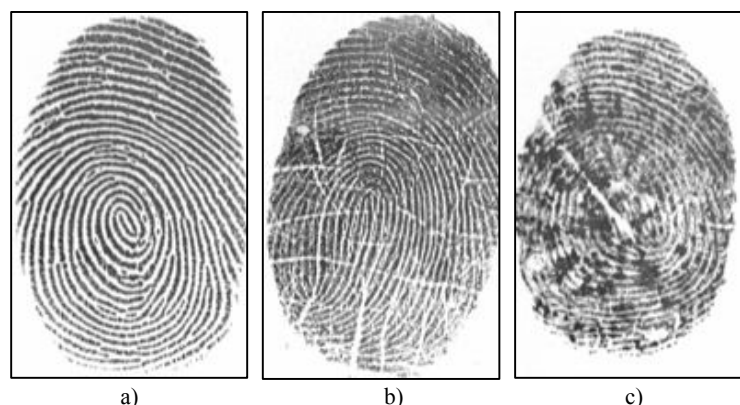
K zajištění dobré účinnosti algoritmů pro rozpoznávání markantů v nekvalitních otiscích, je nezbytné použít vylepšující algoritmy pro zlepšení čistoty papilárních linií.

#### 3.1 Vylepšování založené na konvoluci s Gaborovými filtry

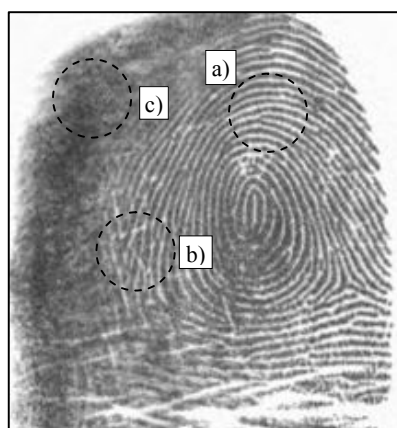
Jednou z nejvíce citovaných metod pro vylepšování otisků je metoda vyvinutá L. Hongem [9], která je založena na konvoluci obrázku s Gaborovými filtry harmonizovanými s lokálními orientacemi papilárních linií a jejich frekvencí. Hlavními

---

<sup>1</sup>V angličtině známé pod pojmem „gabs“



Obr. 3.1: Ukázka rozdílné kvality otisků: a) kvalitní otisk; b) průměrně kvalitní otisku; c) velmi špatný otisk. Zdroj [19].



Obr. 3.2: Otisk prstu obsahující oblasti s různou kvalitou: a) dobře definovaná oblast; b) obnovitelná oblast; c) neobnovitelná oblast

kroky tohoto algoritmu jsou normalizace, odhad orientací papilárních linií, jejich frekvencí a samotná filtrace.

Metody vylepšování otisků založené na Gaborových filtrech jsou široce používány k ulehčení dalších aplikací, jako je porovnávání [20, 23] a klasifikace otisků [13]. Gaborovy filtry jsou pásmové propusti, které mají jak frekvenčně selektivní tak i směrově selektivní vlastnosti [2],

### 3.1.1 Segmentace

Prvním krokem zlepšovacího algoritmu je segmentace obrazu. Segmentace je procesem oddělováním oblasti popředí a pozadí. Popředí obsahuje samotný otisk prstu

- hřebeny papilárních linií, jež jsou předmětem zájmu. Pozadí obsahuje oblasti, které nesouvisí s otiskem a jsou tedy nepotřebné. Kdyby se aplikoval algoritmus pro rozpoznání markant na oblasti pozadí, výsledkem by bylo velké množství markant falešných. Segmentace tedy odstraňuje oblasti s pozadím, což má za následek lepší a přesnější extrakci markant [27].

V otisku prstu, mají obvykle oblasti s pozadím velmi nízkou úroveň šedé a oblasti s popředím hodnoty velké a vykazují velkou varianci. Díky tomu se může použít prahování. Nejprve je obrázek rozdělen do bloků a rozptyl šedé je vypočítán pro každý blok. Pokud je hodnota v rozptylu menší než globálního prahu, je blok označen jako pozadí, v opačném případě jako popředí. Rozsah úrovní šedé pro blok velikosti  $W \times W$  je definován jako [27]:

$$V(k) = \frac{1}{W^2} \sum_{i=0}^{W-1} \sum_{j=0}^{W-1} (I(i, j) - M(k))^2, \quad (3.1)$$

kde  $V(k)$  je rozptyl šedé bloku  $k$ ,  $I(i, j)$  je úroveň šedé pixelu  $(i, j)$  a  $M(k)$  je převažující úroveň šedé v bloku  $k$ .

### 3.1.2 Normalizace

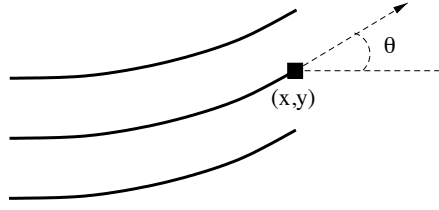
Dalším krokem při vylepšování otisku prstu je normalizace. Normalizace se používá ke srovnání intenzit v obrázku pomocí přizpůsobení stávajících úrovní šedé do požadovaného rozsahu. Jestliže  $I(i, j)$  reprezentuje úroveň šedé pixelu  $(i, j)$ , a  $N(i, j)$  reprezentuje normalizovanou úroveň šedé pixelu  $(i, j)$ . Normalizovaný obrázek je poté definován jako [27]:

$$N(i, j) = \begin{cases} M_0 + \sqrt{\frac{V_0(I(i, j) - M)^2}{V}} & \text{když } I(i, j) > M \\ M_0 - \sqrt{\frac{V_0(I(i, j) - M)^2}{V}} & \text{jinak,} \end{cases} \quad (3.2)$$

kde  $M$  je odhadovaná hodnota,  $V$  je odhadovaná hodnota variance  $I(i, j)$ ,  $M_0$  je požadovaná hodnota a  $V_0$  je požadovaná hodnota variance. Normalizace nemění strukturu papilárních linií v otisku. Provádí se k vyrovnání rozdílů dynamických úrovní ve varianci šedotonových hodnot a zlepšuje zpracování v následných krocích.

### 3.1.3 Odhad orientací

Pole orientací otisku prstu definuje lokální orientace hřebenů papilárních linií (viz obr. 3.3). Odhad orientací je podstatným krokem ve zlepšovacím procesu a také nutný krok před filtrací Gaborovými filtry. Ta spoléhá na lokální orientace pro účinné vylepšení otisku. K výpočtu orientací je používána metoda odhadu v nejmenším čtverci [9]. Pro jemnější a přesnější výpočet orientací je lepší odhad v okolí pixelu,



Obr. 3.3: Orientace vybraného bodu na hřebeni papilární linie. Zdroj [9].

než v okolí bloku [27]. Pro výpočet orientace pixelu  $(i, j)$  jsou potřebné následující kroky [27]:

1. Nejprve je blok o velikost  $W \times W$  vystředěn kolem pixelu  $(i, j)$  v normalizovaném otisku.
2. Pro každý pixel v bloku se vypočítají gradienty  $\partial_x(i, j)$  a  $\partial_y(i, j)$ , které jsou velikostmi gradientů ve směrech  $x$  a  $y$ . K výpočtu  $\partial_x(i, j)$  se používá horizontální Sobelův operátor<sup>2</sup> [38]:

$$G_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{pmatrix} \quad (3.3)$$

A k výpočtu  $\partial_y(i, j)$  se používá vertikální Sobelův operátor [38]:

$$G_y = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix} \quad (3.4)$$

3. Samotná lokální orientace pixelu  $(i, j)$  může být odhadnuta na základě následujících rovnic [27]:

$$V_x(i, j) = \sum_{u=i-\frac{W}{2}}^{i+\frac{W}{2}} \sum_{v=j-\frac{W}{2}}^{j+\frac{W}{2}} 2\partial_x(u, v)\partial_y(u, v), \quad (3.5)$$

$$V_y(i, j) = \sum_{u=i-\frac{W}{2}}^{i+\frac{W}{2}} \sum_{v=j-\frac{W}{2}}^{j+\frac{W}{2}} 2\partial_x^2(u, v)\partial_y^2(u, v), \quad (3.6)$$

$$\theta(i, j) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{V_y(i, j)}{V_x(i, j)}, \quad (3.7)$$

kde  $\theta(i, j)$  je nejmenší odhad lokální orientace vystředěné okolo pixelu  $(i, j)$ .

<sup>2</sup>Sobelův operátor se používá ve zpracování obrazů a to zejména pro detekci hran [38]

4. K vyhlazení orientovaného pole v nejbližším okolí se používá Gaussův filtr<sup>3</sup>. Orientovaný obraz je nejprve převeden na spojité vektorové pole, které je definováno [27]:

$$\Phi_x(i, j) = \cos(20(i, j)), \quad (3.8)$$

$$\Phi_y(i, j) = \sin(20(i, j)), \quad (3.9)$$

kde  $\Phi_x$  a  $\Phi_y$  jsou jednotlivé složky vektorového pole ve směrech  $x$  respektive  $y$ . Jakmile je vypočítáno vektorové pole, je následně provedeno Gaussovo vyhlazení<sup>4</sup> [27]:

$$\Phi'_x = \sum_{u=-\frac{\omega_\Phi}{2}}^{\frac{\omega_\Phi}{2}} \sum_{v=-\frac{\omega_\Phi}{2}}^{\frac{\omega_\Phi}{2}} G(u, v) \Phi_x(i - u\omega, j - v\omega), \quad (3.10)$$

$$\Phi'_y = \sum_{u=-\frac{\omega_\Phi}{2}}^{\frac{\omega_\Phi}{2}} \sum_{v=-\frac{\omega_\Phi}{2}}^{\frac{\omega_\Phi}{2}} G(u, v) \Phi_y(i - u\omega, j - v\omega), \quad (3.11)$$

kde  $G$  je Gaussova dolní propust o velikosti  $\omega_\Phi \times \omega_\Phi$ .

5. Výsledné vyhlazené orientované pole  $O$  v okolí pixelu  $(i, j)$  je definováno jako [27]:

$$O(i, j) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{\Phi'_y(i, j)}{\Phi'_x(i, j)} \quad (3.12)$$

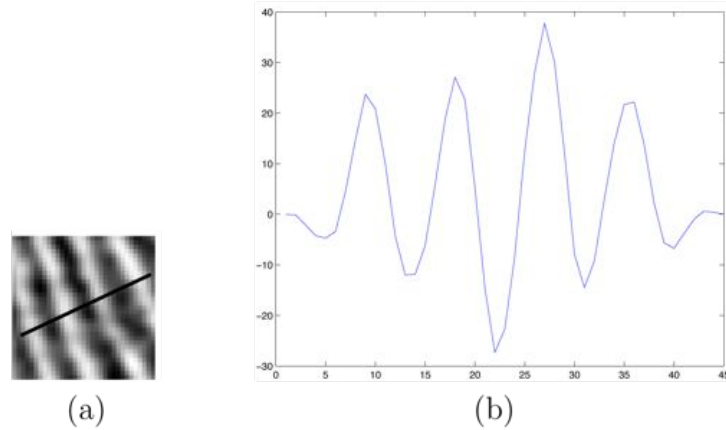
### 3.1.4 Odhad frekvencí hřebenů papilárních linií

Kromě obrazu pole orientací je dalším důležitým parametrem, který je používán pro konstrukci Gaborova filtru, lokální frekvence hřebenů papilárních linií. Frekvenční obraz představuje lokální četnost papilárních linií v otisku. Prvním krokem ve fázi odhadu frekvence je rozdělit obrázek do bloků o velikosti  $W \times W$ . Dalším krokem je projekce šedotonových hodnot všech pixelů uvnitř každého bloku podél směru k lokální orientaci hřebenu papilární linie. Tato projekce vytváří vlnu téměř sinusového tvaru s lokálním minimem odpovídajícím hřebenu papilární linie (viz obr. 3.4).

R. Thai [27] upravil původní fázi odhadu frekvencí využívanou Hongem [9] a navrhl další vyhlazení projekce před vypočten vzdáleností mezi papilárními liniemi. To zahrnuje vyhlazení vyprojektované křivky použitím Gaussovy dolní propusti o velikosti  $\omega \times \omega$  pro potlačení šumu. Rozteč mezi papilárními liniemi  $S(i, j)$  je poté

<sup>3</sup>Gaussův filtr je filtr, jehož impulzní odezva je Gaussova funkce. Gaussovy filtry jsou navrženy tak, aby byl odstraněn pře-kmit na vstupu skokové funkce při minimalizaci posunu v čase [35].

<sup>4</sup>Gaussovo vyhlazení je výsledkem rozostření obrazu pomocí Gaussovy funkce [34]



Obr. 3.4: Projekce hodnot intenzit pixelů kolmém ke směru hřebenů papilárních linií: a) blok o velikosti  $32 \times 32$  v otisku prstu. b) vyprojektovaný průběh bloku.

Zdroj [27]

vypočtena jako součet středních hodnot pixelů mezi dvěma sousedními body ve vyprojektované křivce. Proto je frekvence hřebenů  $F(i, j)$  pro blok vycentrovaný okolo pixelu  $(i, j)$  definován jako [27]:

$$F(i, j) = \frac{1}{S(i, j)} \quad (3.13)$$

Vzhledem k tomu, že otisk prstu je naskenován v pevně daném rozlišení, potom by v ideálním případě měly hodnoty četností papilárních linií ležet v určitém rozmezí. Existují však případy, kdy nelze spolehlivě získat hodnotu frekvence z projekce. Příkladem je situace, kdy nelze detekovat po sobě jdoucí vrcholy v projekci a také když se markanty objeví v bloku. Pro bloky, kde se objeví markanty, není správně vyprojektovaná sinusová křivka, která pak vede k nepřesnému odhadu frekvence papilárních linií. Tyto hodnoty frekvencí mimo rozsah jsou interpolovány použitím hodnot ze sousedních bloků, které mají dobře určenou frekvenci [27].

### 3.1.5 Gaborova filtrace

Jakmile jsou determinovány orientace a frekvence papilárních linií, jsou tyto parametry použity pro konstrukci všesměrových symetrických Gaborových filtrů. Dvou rozměrné Gaborovy filtry se skládají ze sinusové vlny o konkrétní orientaci a frekvencí (viz obr. 4.1). Jsou použity protože mají směrově a frekvenčně selektivní vlastnosti, jež dovolují přizpůsobení maximální odezvy na papilární linii - na dané orientaci a frekvenci v otisku. Proto můžou být správně přizpůsobené Gaborovy filtry použity k redukovaní poruch při zachování struktury papilárních linií.

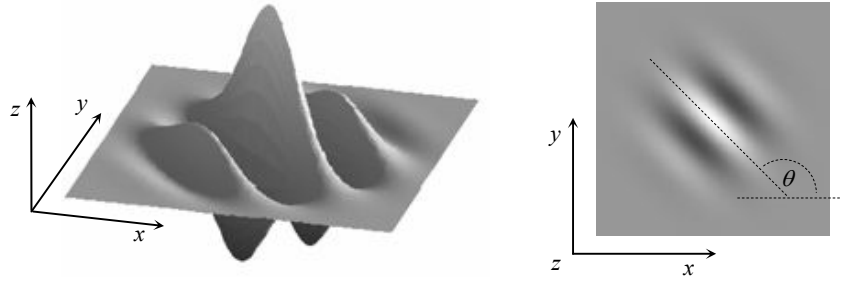
Všesměrový Gaborův filtr je reálnou částí Gaborovy funkce. Symetrický Gaborův filtr v prostorové oblasti je definován jako [14]:

$$G(x, y, \theta, f) = \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{x_\theta^2}{\sigma_x^2} + \frac{y_\theta^2}{\sigma_y^2}\right]\right\} \cos(2\pi f x_\theta), \quad (3.14)$$

$$x_\theta = x \cos \theta + y \sin \theta, \quad (3.15)$$

$$y_\theta = -x \sin \theta + y \cos \theta, \quad (3.16)$$

kde  $\theta$  je orientace Gaborova filtru,  $f$  je frekvence kosinovy vlny,  $\sigma_x$  a  $\sigma_y$  jsou standardní odchylky podél os  $x$  respektive  $y$  a  $x_\theta, y_\theta$  definují filtr v souřadné soustavě.



Obr. 3.5: Ukázka Gaborova filtru (pohled z boku a shora) s těmito parametry:

$$\theta = 135^\circ, f = \frac{1}{5} \text{ a } \sigma_x = \sigma_y = 3. \text{ Zdroj [27].}$$

Gaborovy filtry se aplikují na otisku prstu pomocí prostorové konvoluce. Konvoluce pixelu  $(i, j)$  vyžaduje korespondující hodnotu orientace  $O(i, j)$  a hodnotu frekvence papilární linie  $F(i, j)$ . Následně po aplikaci Gaborova filtru  $G$  dostaneme vylepšený obraz  $E$  následujícím způsobem [27]:

$$E(i, j) = \sum_{u=-\frac{w_x}{2}}^{\frac{w_x}{2}} \sum_{v=-\frac{w_y}{2}}^{\frac{w_y}{2}} G(u, v, O(i, j), F(i, j)) N(i - u, j - v), \quad (3.17)$$

kde  $O$  je orientovaný obraz,  $F$  je frekvenční obraz,  $N$  je normalizovaný obraz otisku a  $w_x, w_y$  je šířka respektive výška masky Gaborova filtru.

Šířka pásma filtru, která specifikuje rozsah frekvencí odpovídajícího filtru, je determinována pomocí standardních parametrů odchylek  $\sigma_x$  a  $\sigma_y$ . R. Thai [27] ve své práci definuje tyto parametry jako funkci frekvence papilární linie:

$$\sigma_x = k_x F(i, j), \quad (3.18)$$

$$\sigma_y = k_y F(i, j), \quad (3.19)$$

kde  $F$  je obraz frekvencí papilárních linií,  $k_x$  a  $k_y$  jsou konstantní proměnné pro  $\sigma_x$  respektive  $\sigma_y$ . To dovoluje použít mnohem adaptabilnější postup.

### 3.1.6 Binarizace

Většina algoritmů pro extrakci markant operuje s binárními obrazy, které mají pouze dvě úrovně jasu: bílé pixely reprezentující hřebeny papilárních linií a černé pixely reprezentující údolí mezi papilárními liniemi. Binarizace je procesem, který převádí šedotonový obraz do binárního obrazu. Tím vylepšuje kontrast mezi hřebeny a údolím papilárních linií a následně usnadňuje extrakci markant.

Jednou důležitou vlastností Gaborova filtru je, že má stejnosměrnou složku nulovou [27], což znamená že filtrovaný obraz má průměrnou hodnotu pixelů nulovou. Z toho důvodu může být provedena přímá binarizace obrazu s použitím globálního prahu. Binarizační proces zahrnuje zjištění hodnoty každého pixelu ve vylepšeném obrazu, akdyž je hodnota větší než je hodnota globálního prahu, potom je hodnota pixelu nastavena na binární hodnotu jedna, jinak nula. Výsledkem je binární obraz obsahující dvě úrovně informace - popředí s papilárními liniemi a pozadí s údolím mezi papilárními liniemi a nezajímavé oblasti.

## 3.2 Vylepšování otisku použitím STFT analýzy

Krátkodobá Fourierova transformace<sup>5</sup> je poměrně nová metoda vylepšování otisku prstu založená na kontextuálním filtrování ve Fourierovi oblasti [11]. Algoritmus je schopen simultánně stanovit lokální orientaci a frekvenci papilárních linií použitím krátkodobé Fourierovy analýzy. Algoritmus je také schopen úspěšně segmentovat obrázky otisků prstů.

### 3.2.1 Krátkodobá Fourierova analýza

Obrázek s otiskem prstu může být považován za systém s orientovanou texturou, která má lokální orientaci a frekvenci papilárních linií pomalu proměnou v celém obrazu. V důsledku této nestacionární povahy obrazu, není schopna tradiční Fourierova analýza zpracovat obraz kompletně.

U 1D STFT analýzy nestacionárního 1D signálu  $x(t)$  je předpokládána stacionarita v časovém intervalu dočasného okna  $w(t)$  s konečnou podporou. STFT  $x(t)$  je nyní reprezentován pomocí časově-frekvenčního prostoru  $X(\tau, \omega)$  a je dán [11]:

$$X(\tau, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)w^*(t - \tau)e^{-j\omega t} dt \quad (3.20)$$

---

<sup>5</sup>STFT - Short Time Fourier Transform, tedy krátkodobá Fourierova transformace

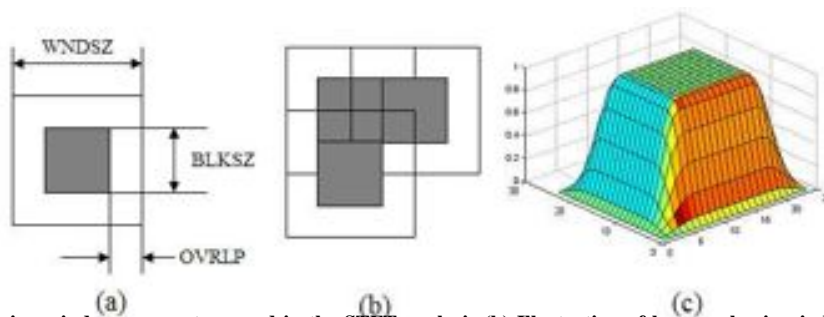
V případě 2D signálu, jako je obraz otisku prstu, je časové frekvenční prostor dán:

$$X(\tau_1, \tau_2, \omega_1, \omega_2) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} I(x, y) W^*(x - \tau_1, y - \tau_2) e^{-j(\omega_1 x + \omega_2 y)} dy dx, \quad (3.21)$$

kde  $\tau_1$  a  $\tau_2$  reprezentují prostorovou pozici dvourozměrného okna  $W(x, y)$  a  $\omega_1$  s  $\omega_2$  reprezentují prostorově frekvenční parametry. Nepodobně regulární Fourierovy transformaci výsledek STFT závisí na výběru okna  $w(t)$ . Z důvodu vyhlazení může být použito jakéhokoliv spektrálního okna jako je Hammingovo nebo Gaussovo [11]. Jestliže je našim zájmem vylepšení a rekonstrukce otisku prstu přímo z Fourierovy oblasti, naše volba okna je přísně omezena. Obrázek 3.6 ilustruje jak je spektrální okno parametrizováno. V každé pozici okna přesahují pixely OVRLP do předchozí pozice. To zajišťuje pokračování papilárních linií a eliminuje „blokový“ efekt běžný s dalšími blokově orientovanými úpravami obrázků. Každá taková analýza určí v rámci ohraničeného pole jednu hodnotu dominantní orientace a frekvence v oblasti kolem  $\tau_1$  a  $\tau_2$ . V postupu poskytujícím dostatečnou kvalitu rekonstrukce během vylepšování, bylo použito rostoucí Kosinovo okno [11], které jemně vyhlazuje v okolí okraje a je jednotné ve středu okna. Rostoucí Kosinovo spektrální okno je určeno [11]:

$$W(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{když } (|x|, |y|) < BLKSZ/2 \\ \frac{1}{2} \left( 1 + \cos\left(\frac{\pi(x - BLKSZ/2)}{OVRLP}\right) \right) & \text{jinak,} \end{cases} \quad (3.22)$$

$$(x, y) \in \left[ -\frac{WINDSZ}{2}, \frac{WINDSZ}{2} \right] \quad (3.23)$$



Obr. 3.6: a) Parametry přesahujícího okna použitého v STFT analýze; b) Naznačení jak je okno posunováno v průběhu analýze; c) Spektrální okno použité při STFT analýze. Zdroj [11]

Každá lokální oblast v otisku prstu má stejnou orientaci a frekvenci, tím může být modelována oblast v daném místě jako povrchová vlna, která je celkově reprezentována orientací  $\theta$  a frekvencí  $f$ . To jsou parametry, které jsou vypočítány během aplikace STFT. Tento přibližný model nepočítá s přítomností lokálních nespojitostí, ale je dostatečně užitečný pro tento účel. Lokální oblast otisku může být modelován jako povrchová vlna v souladu s [11]:

$$I(x, y) = A\{2\pi f \cos(x \cos \theta + y \sin \theta)\} \quad (3.24)$$

Parametry povrchové vlny  $(f, \theta)$  mohou být snadno získány z jejich Fourierova spektra, které je složeno ze dvou impulzů, jejichž vzdálenost od počátku indikuje frekvenci a jejichž vzdálenost indikuje orientaci vlny. Tento přímý postup není příliš užitečný jelikož maximální odezva je náchylná k chybám. Proto je navržena aproximace orientace a frekvence papilární linie. Model povrchové vlny je pouze aproximací a Fourierovo spektrum reálného otisku prstu je charakterizováno pomocí distribuce energie přes všechny frekvence a orientace. Fourierovo spektrum můžeme vyjádřit v polárních souřadnicích jako  $F(r, \theta)$ . Také můžeme definovat pravděpodobnost funkce hustoty  $p(r, \theta)$  a mezní funkce hustoty  $p(\theta)$  a  $p(r)$  jako [11]:

$$p(r, \theta) = \frac{|F(r, \theta)|^2}{\int_r \int_\theta |F(r, \theta)|^2} \quad (3.25)$$

$$p(r) = \int_\theta p(r, \theta) d\theta \quad (3.26)$$

$$p(\theta) = \int_r p(r, \theta) dr \quad (3.27)$$

### 3.2.2 Obraz orientací papilárních linií

Orientace  $\theta$  je náhodná proměnná, která má pravděpodobnou funkci hustoty  $p(\theta)$ . Očekávaná hodnota orientace může být získána použitím vektorového průměrování podle vzorce 3.28 [11]. Výrazy  $\sin(2\theta)$  a  $\cos(2\theta)$  jsou použity k výpočtu neurčitosti mezi orientacemi  $\pm 180^\circ$ .

$$E(\theta) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left\{ \frac{\int_\theta p(\theta) \sin(2\theta) d\theta}{\int_\theta p(\theta) \cos(2\theta) d\theta} \right\} \quad (3.28)$$

Jestliže jsou v otisku prstu rýhy, které přesahují několik analyzujících rámců, odhad orientací bude nepřesný. Odhad také bude nepřesný, pokud rámec obsahuje kompletně neobnovitelné regiony se špatnou strukturou nebo slabým kontrastem papilárních linií. V takových případech můžeme určit orientaci papilárních linií se zřetelem na orientace jejich nejbližších sousedů. Proto je výsledný orientovaný obraz

$O(x, y)$  dále vyhlazen použitím vektorového průměrování. Vyhlazený obraz  $O'(x, y)$  je získán pomocí [11]:

$$O'(x, y) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left\{ \frac{\sin(2O(x, y)) \cdot W(x, y)}{\cos(2O(x, y)) \cdot W(x, y)} \right\}, \quad (3.29)$$

kde  $W(x, y)$  reprezentuje jádro Gaussova vyhlazení.

### 3.2.3 Obraz frekvencí papilárních linií

Průměrná frekvence papilárních linií je odhadnuta podobným způsobem jako orientace papilárních linií. Můžeme předpokládat frekvenci papilárních linií jako náhodnou proměnou s pravděpodobnostní funkcí hustoty  $p(r)$  jako ve vzorci 3.26. Očekávaná hodnota frekvence papilární linie je dána [11]:

$$E(r) = \int_r p(r) r dr \quad (3.30)$$

Získaná frekvenční mapa je vyhlazena izotropním rozptylem. Jednoduché vyhlazení nemůže být použito protože frekvence papilárních linií nejsou určeny v oblastech s pozadím. Mimo to odhad frekvencí papilárních linií získaný na hranicích popředí a pozadí otisku je nepřesný. Chyby v oblasti se rozšiřují podobně jako výsledek obyčejného vyhlazování. Vyhlazený obraz je získán pomocí [11] :

$$F'(x, y) = \frac{\sum_{u=x-1}^{x+1} \sum_{v=y-1}^{y+1} F(u, v) W(u, v) I(u, v)}{\sum_{v=y-1}^{y+1} W(u, v) I(u, v)}, \quad (3.31)$$

kde  $W(x, y)$  reprezentuje jádro Gaussova vyhlazení o velikosti okna  $3 \times 3$ . Indikátor  $I(x, y)$  zajišťuje pouze platné frekvence papilárních linií, které jsou váženy během procesu vyhlazení.  $I(x, y)$  je nenulová, jestliže frekvence papilární linie je v platném rozsahu.

### 3.2.4 Maska oblasti

Obraz otisku prstu může být snadno rozdělen v závislosti na sledování toho, zda se model povrchové vlny „neudrží“ v regionech, kde nejsou papilární linie. V oblastech pozadí a šumu je velmi slabá struktura a z tohoto důvodu je energie ve Fourierově spektru velmi malá. Je proto definován obraz energií  $E(x, y)$  [11], kde každá hodnota indikuje energii náležející korespondujícímu bloku. Oblast otisku prstu může být oddělena od pozadí pomocí prahování obrazu energií. Logaritmováním hodnot energií je redukován velký dynamický rozsah do lineárního měřítka [11]:

$$E(x, y) = \log \left\{ \int_r \int_\theta |F(r, \theta)|^2 \right\} \quad (3.32)$$

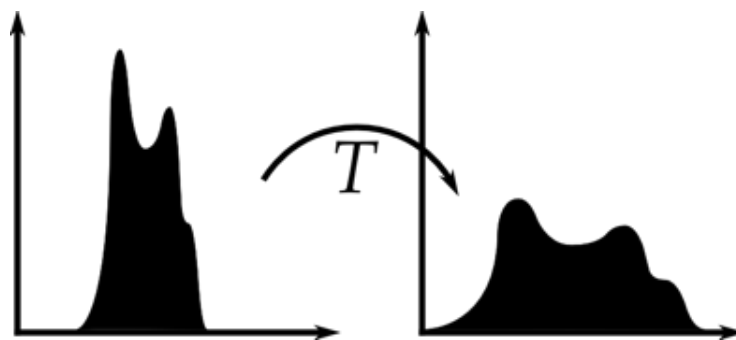
Maska oblasti je získána pomocí prahování. V tomto případě je nejlepší použití Otsuovy metody hledání optimální hodnoty prahu.

### 3.3 Vylepšení otisku ve Fourierově spektru

Metoda zpracování, kdy nová hodnota každého bodu vychází z hodnoty předchozí a několika globálních parametrů. Nezáleží tedy na hodnotách sousedních bodů. Bodově orientované techniky obvykle neposkytují uspokojivý a konečný výsledek při vylepšování otisku prstu. Ale různé metody předzpracování jako roztažení kontrastu, manipulace s histogramem, normalizace nebo Wienerova filtrace ukázali, že tyto počáteční kroky vedou k mnohem sofistikovanějšímu vylepšení otisku [19].

#### 3.3.1 Ekvalizace histogramu

Ekvalizace histogramu je metoda upravující kontrast obrázku s využitím jeho histogramu<sup>6</sup>. Metoda obvykle zvyšuje lokální kontrast obrázku, zejména když jsou použita obrazová data reprezentována blízkými hodnotami. Díky těmto úpravám intenzity mohou být jednotlivé jasové hodnoty v histogramu lépe rozloženy. Tyto změny umožňují získat v obrázku větší kontrast [32]. Metoda je tedy užitečná pro obrázky otisku prstů, kdy rozdíl mezi hřebeny a údolími papilárních linií je velmi malý a ekvalizace histogramu vede ke zřetelnějšímu znázornění struktur linií.



Obr. 3.7: Znázornění původního a nového histogramu obrázku po procesu ekvalizace. Zdroj [36].

Jestliže máme obraz otisku prstu ve stupních šedi a  $n_i$  je počet výskytů úrovně šedé  $i$ . Pravděpodobnost výskytu bodu úrovně šedé  $i$  v obrázku pak je [32]:

$$p(x_i) = \frac{n_i}{n}, i \in 0, \dots, L - 1, \quad (3.33)$$

<sup>6</sup>Histogram představuje grafickou reprezentaci rozložení jednotlivých tónů v digitálním obrázku. Graficky zobrazuje počet bodů (pixelů) pro každou jednotlivou úroveň tónu. [36]

kde  $L$  je celkový počet různých úrovní šedi v obrazu,  $n$  celkový počet bodů v obrazu. Pak je  $p$  vlastně sloupcový diagram normalizovaný do intervalu  $[0, 1]$ .

Definujme  $c$  jako kumulativní distributivní funkci odpovídající  $p$  [36]:

$$c(i) = \sum_{j=0}^i p(x_j) \quad (3.34)$$

Nyní můžeme definovat transformaci hodnot pixelů ve formě  $y = T(x)$  tak, aby kumulativní distributivní funkce  $y$  byla ve svém oboru hodnot linearizována. Tato transformace je definována [36]:

$$y_i = T(x_i) = c(i) \quad (3.35)$$

Víme, že  $T$  mapuje úrovně šedi do intervalu  $[0, 1]$ . Abychom vrátili hodnoty do jejich původní oblasti, musíme na výsledek aplikovat následující jednoduchou transformaci [36]:

$$y'_i = y_i \cdot (max - min) + min \quad (3.36)$$

### 3.3.2 Vylepšení otisku použitím Fourierovy transformace

Prvním krokem bylo rozdělení obrázku do malých bloků zpracování ( $32 \times 32$  pixelu) a provedení Fourierovy transformace podle [29]:

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \times \exp \left\{ -j2\pi \times \left( \frac{ux}{M} + \frac{vy}{N} \right) \right\}, \quad (3.37)$$

pro  $u = 0, 1, 2, \dots, 31$  a  $v = 0, 1, 2, \dots, 31$ .

V postupu vylepšování má každý blok svou specifickou dominantní frekvenci, dle [29] je násobeno FFT daného bloku její veličinou. Kde veličina původního bloku je [29]:

$$FFT = |F(u, v)| \quad (3.38)$$

Získání vylepšeného bloku dle [29]:

$$g(x, y) = F^{-1} \left\{ F(u, v) \times |F(u, v)|^k \right\}, \quad (3.39)$$

kde  $F^{-1}(F(u, v))$  je provedeno podle [29]:

$$f(x, y) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} F(u, v) \times \exp \left\{ j2\pi \times \left( \frac{ux}{M} + \frac{vy}{N} \right) \right\}, \quad (3.40)$$

pro  $x = 0, 1, 2, \dots, 31$  a  $y = 0, 1, 2, \dots, 31$ .

Hodnota  $k$  ve vzorci 3.39 je experimentálně určená konstanta [29], která se optimálně jeví při  $k = 0,45$ . Zatímco vyšší hodnota konstanty  $k$  zlepšuje strukturu papilárních linií spojením malých vad ve struktuře otisku, může mít taky za následek falešné spojení papilárních linií. To může mít za následek záměnu markanty ukončení za markantu vidlice. Vylepšený otisk pro aplikace FFT zlepšuje propojení mezi falešně rozdělenými body a odstraňuje nepravé propojení mezi papilárními liniemi.

### 3.3.3 Binarizace otisku

Podobně jako v jednom z předchozích případů je třeba oddělit popředí od pozadí. Hlavním úkolem binarizace je transformace 8-bitového šedo-tónového obrázku otisku na 1-bitový obrázek, kde nulovou hodnotu mají oblasti s papilárními liniemi a opačnou hodnotu oblasti pozadí.

Je použita metoda adaptivní binarizace k určení pozadí a popředí. Tato metoda mění hodnotu pixelu na 1, jestliže je větší než průměrná hodnota intezity v aktuálním bloku ( $16 \times 16$  pixelů) vystředěném v okolí pixelu.

## 4 EXTRAKCE A SROVNÁNÍ MARKANT

Po vylepšení obrazu otisku prstu, je dalším krokem extrahování markant. Následně po extrakci je posledním stupněm odstranění markant falešných. Tato kapitola popisuje metodu a implementaci techniky extrakce a srovnání markantů.

### 4.1 Ztenčení papilárních linií

Prvním krokem po vylepšení otisku, před extrakcí markant je ztenčování. Ztenčování je morfologická operace, která se používá pro odstranění vybraných pixelů z binárního obrazu. Výsledek ztenčení je také označován jako skeleton<sup>1</sup> nebo MAT<sup>2</sup>. Výsledkem je odstranění všeho až na linie o šířce jednoho pixelu. Ztenčování je obvykle aplikováno pouze na binární obraz a výsledkem je další binární obraz. Operace ztenčování souvisí s Hit-and-Miss<sup>3</sup> transformací. Ztenčování obrázku  $I$  se strukturovaným prvkem<sup>4</sup>  $J$  je [8]:

$$\text{Thin}(I, J) = I - \text{HitAndMiss}(I, J), \quad (4.1)$$

kde odečet je logickým odečtem definovaným jako  $X - Y = X \cap \text{NOT}Y$  [8]. Algoritmus pro ztenčování dodržuje následující podmínky [3]:

- Pixel, který má být odstraněn, musí ležet na hranici
- Pixel, který má být odstraněn, nesmí být koncovým bodem čáry (aby nedocházelo ke zkracování čar).
- Odstranění pixelu nesmí způsobit přerušení čáry.
- Odstranění pixelu nesmí způsobovat nadměrnou erozi.

Algoritmus prochází obraz a zjišťuje, zda zkoumaný bod splňuje určité podmínky, a tudíž má být označen jako kandidát na odstranění a bude možno mu přiřadit hodnotu 0. K tomu, aby byly objekty ztenčeny na šířku jeden pixel, je obvykle potřeba více průchodů obrazem (iterací). Proto, aby byl skeleton v obraze správně centrován, jsou průchody rozděleny na sudé a liché. V lichém průchodu je obraz ztenčován v

---

<sup>1</sup>Skelenotizace je procesem, který odstraňuje regiony popředí v binárním obrázku. Na skeletonu do značné míry zachovává rozsah a propojení původních regionů, zatímco maže většinu ostatních pixelů [6].

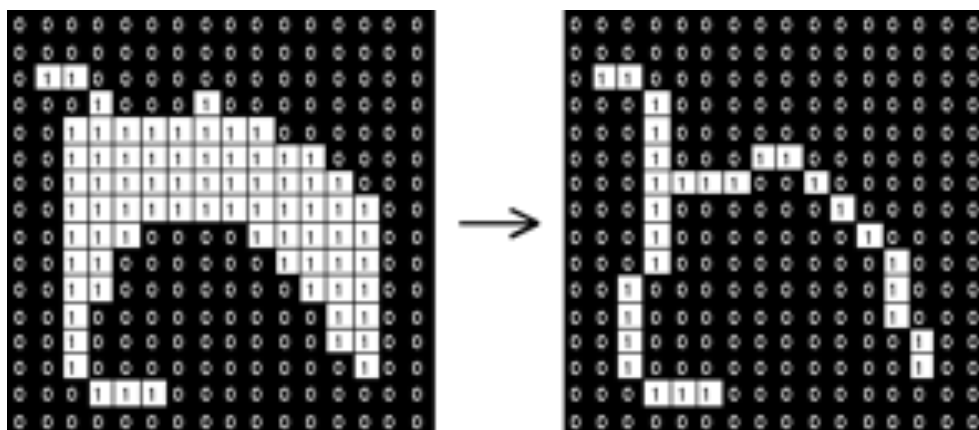
<sup>2</sup>Medial Axis Transform

<sup>3</sup>Hit-And-Miss transformace je celková binární morfologická operace, která může být použita pro hledání konkrétních vzorů v pixelech popředí a pozadí [5].

<sup>4</sup>Strukturovaný prvek se skládá ze vzoru specifikovaném jako souřadnice několika diskrétních bodů ve vztahu k jejich původu. Obvykle je zobrazen jako malý prvek (obrázek) v obdélníkové síti [5]

jednom směru a v sudém v opačném. Na konci každého průchodu obrazem jsou označení kandidáti odstranění. Průchody jsou prováděny tak dlouho, dokud již není možné odstranit žádný pixel.

Algoritmus pro ztenčování je také přístupný přímo v MATLABu, pomocí operace `thin` ve funkci `bwmorph`.

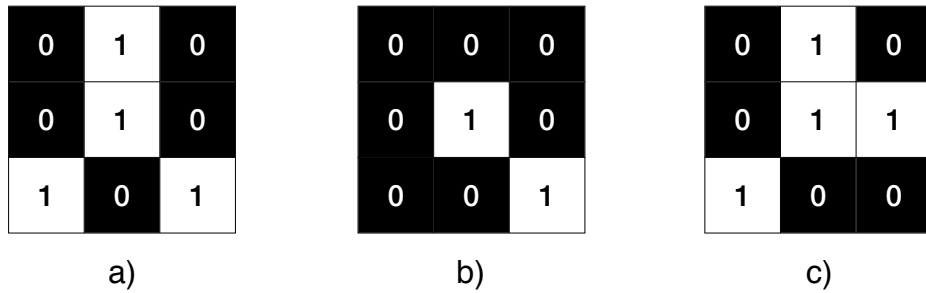


Obr. 4.1: Ukázka výsledku ztenčovacího algoritmu, kdy je výsledný skeleton souvisle propojen. Zdroj [8].

## 4.2 Hledání a označení markantů

Po ztenčení papilárních linií otisku prstu je nalezení markant relativně snadné. Obecně pokud v okně o velikost  $3 \times 3$  pixelu v okolí bodu s nenulovou hodnotou, kde dále přesně další tři pixely mají v okolí nenulovou hodnotou tak se jedná o vidlici (obr. 4.2a). Jestliže středový pixel je nenulový a ve svém okolí má další nenulový bod, potom je středový pixel ukončením papilární linie (obr. 4.2b). Zvláštní případ je naznačen na obr. 4.2c, kdy je regulérní vidlice započítána třikrát. Předpokladem je, že horní bod s nenulovou hodnotou a pravý bod také s nenulovou hodnou mají jiného „sousedu“ s nenulovou hodnotou mimo aktuální okno, takže tyto dva pixely budou označeny také jako vidlice. Ale pouze je nalezena jedna vidlice v takto malé oblasti, takže je nutný ověřovací postup, který neoznačí žádného ze sousedů pokud je také typu vidlice či ukončení [3, 29].

V této části je také stanovena průměrná mezi-papilární šířka  $D$ . Průměrná mezi-papilární šířka je odvozena z průměrné vzdálenosti mezi dvěma sousedními papilárními liniemi. Způsob jak určit šířku  $D$  je jednoduchý. Určí se procházením každého řádku ve ztenčeném obrazu papilárních linií, kdy se sečte počet pixelů s nenulovou hodnotou. Následně se vidělí délka řádku výslednou sumou nenulových



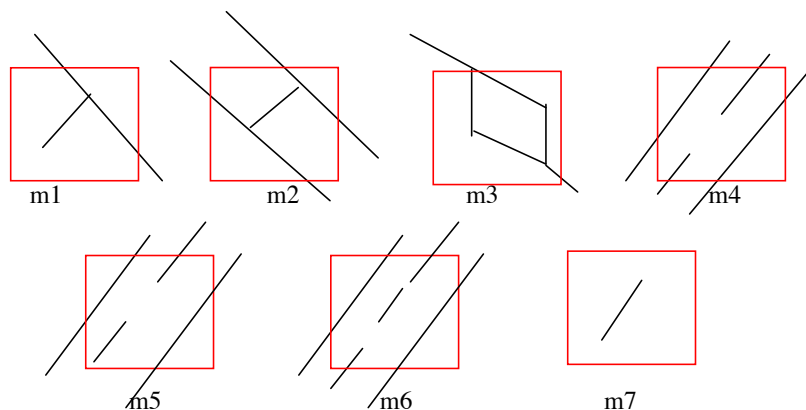
Obr. 4.2: Ukázka markant v okně o velikosti  $3 \times 3$  pixely: a) vidlice; b) ukončení; c) trojitá vidlice

pixelů a výsledkem je mezi-papilární šířka. Pro větší přesnost se stejný proces aplikuje na všechny řádky a sloupce a výsledná hodnota  $D$  je průměrem těchto hodnot.

Společně s označováním markant, jsou všechny ztenčené papilární linie v otisku také označeny unikátním ID pro pozdější operace. Pro veškeré označování je použita jedna z morfologických funkcí v Matlabu: `bwlabel`.

### 4.3 Odstranění falešných markant

Fáze předzpracování obvykle dokonale nevyčistí obraz otisku prstu. Někdy dokonce samy můžou přinést některé artefakty, které ve výsledku vedou k falešným markantům. Tyto falešné markanty významně ovlivňují přesnost srovnávání, když jsou jednoduše považovány za opravdové markanty [29]. Takže je nezbytný nějaký systém pro zachování efektivity ověřovacího systému.



Obr. 4.3: Uspořádání falešných markant. Zdroj [29].

Je definováno několik typů falešných markant, zobrazených na obr. 4.3.  $M1$  je bod zasahující do údolí mezi papilárními liniemi.  $M2$  jsou falešně propojené dvě

papilární line. Na  $m_3$  jsou dvě blízké vidlice na stejné papilární linii. Dvě markanty ukončení jsou na  $m_4$ , kdy má papilární linie stejnou orientaci a přílišnou blízkost dalších celistvých papilárních linií. Podobným případem je  $m_5$ , pouze s tím rozdílem, že další přerušení papilární linie je velmi blízké.  $M_6$  je opět podobná  $m_4$ , ale s tím, že je nalezena další papilární linie mezi přerušným průběhem papilární linie.  $M_7$  je pouze samostatnou krátkou papilární linií [29].

### Postup při odstraňování papilárních linií

1. Jestliže vzdálenost mezi jednou vidlicí a jedním ukončením je menší než  $D$  a dvě markanty jsou na stejné papilární linii (podobně jako na  $m_1$ ), odstraní se obě dvě.
2. Jestliže je vzdálenost mezi dvěma vidlicemi menší než  $D$  a jsou na stejné papilární linii, potom se obě odstraní (případy  $m_2$  a  $m_3$ ).
3. Jestliže jsou dvě ukončení ve vzdálenosti  $D$  a jejich směr je podobný. Dále vyhovují-li podmínce, že není žádné další větvení mezi těmito dvěma ukončeními. Potom jsou považovány za falešné markanty odvozené z přerušené papilární linie a jsou odstraněny (případy  $m_4$ ,  $m_5$  a  $m_6$ ).
4. Jestliže jsou dvě ukončení umístěna na krátké papilární linii se vzdáleností menší než  $D$ , potom jsou obě odstraněna (případ  $m_7$ ).

Tento postup odstraňování falešných markant má dvě výhody [29]. První je, že  $ID$  papilární linie je použito k odlišení markantů a je definováno sedm typů falešných markant, oproti jiným metodám [22, 15]. Druhou výhodou je, že pořadí odstraňovacích procedur je zvoleno tak, aby bylo potřeba co nejmenší počet výpočtů. Například třetí krok odstraní falešné markanty typů  $m_4$ ,  $m_5$  a  $m_6$  v jednom běhu a také se velmi sníží počet výskytů falešných markant typu  $m_7$ .

## 4.4 Sjednocení označení markantů

Protože různé metody získávání otisků mají různé podmínky snímání (např. tlak prstu na snímač může mít za následek změnu jednoho typu otisku na jiný), většina vědeckých pracovníků přijala sjednocenou podobu pro jednotlivou podobu markant - ukončení a vidlice [1, 19, 15]. Takže každá markanta je kompletně charakterizována následujícími parametry: *souřadnicí v ose x*, *souřadnicí v ose y* a *orientací*.

Výpočet orientace pro markanty typu vidlice potřebuje krátký popis. Všechny tři papilární linie vycházející z vidlice mají svůj vlastní směr. Wu Zhili [29] navrhl rozdělit vidlici do tří ukončení. Tři nové ukončení jsou třemi sousedními pixely

vidlice a každá ze třech papilárních linií spojená před tím s vidlicí je nyní asociována s ukončením.

Orientace každého zakončení o souřadnicích  $t_x$ ,  $t_y$  je odhadnuta následujícím způsobem [4]:

1. Sledováním segmentu papilární linie, jejíž počáteční bod je ukončení a délka je  $D$ .
2. Sečíst všechny souřadnice bodů v ose  $y$  v segmentu papilární linie.
3. Vydělit tento součet vzdáleností  $D$  pro získání části souřadnice segmentu  $s_x$ . Následně použít stejný postup pro získání druhé části souřadnice segmentu  $s_y$ .
4. Vypočítat směr  $\sigma$  pomocí vzorce:

$$\theta = \text{atan} \frac{s_y - t_y}{s_x - t_x} \quad (4.2)$$

## 4.5 Srovnání markant

Máme-li dány dvě sady markant dvou otisků prstů, algoritmus pro srovnávání markant určí zda je tato sada markant ze stejného prstu nebo ne. Algoritmus porovnávání je založen na vzájemném uspořádání markantů [10, 29]. Je postaven na dvou po sobě jdoucích fázích:

**Fáze uspořádání** - Daným dvěma otiskům prstů určeným ke srovnání, se vybere jakákoliv markanta z každého otisku, vypočítá se podobnost dvou papilárních linií asociovaných se dvěma zmíněnými markanty. Jestliže je podobnost větší než práh, transformuje se každá sada markant do nového souřadného systému, jehož počátek je ve zmíněném bodě a jehož osa  $x$  je shodná se směrem zmíněného bodu.

**Fáze srovnávání** - Poté co jsou získány dvě sady transformovaných bodů markant, je použit pružný algoritmus srovnání pro spočítání množství srovnatelných párů markant, pomocí předpokladu, že dvě markanty mající téměř stejnou pozici a směr jsou identické.

### 4.5.1 Fáze uspořádání

#### První krok

Papilární linie přiřazená ke každé markantě je reprezentována jako série souřadnic  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  jednotlivých bodů na linii. Bod je vzorkován délkou papilární linie  $L$ , začínající v markantě. Hodnota  $n$  je nastavena na 10, pokud je celková délka

papilární linie menší než  $10 \times L$ . Takže podobnost korelace dvou papilárních linií je odvozena ze vztahu [29]:

$$S = \frac{\sum_{i=0}^m x_i X_i}{(\sum_{i=0}^m x_i^2 X_i^2)^{\frac{1}{2}}}, \quad (4.3)$$

kde  $x_i, \dots, x_n$  a  $X_i, \dots, X_n$  jsou sady markant pro každý otisk prstu. A hodnota  $m$  je minimum hodnoty  $n$ . Pokud je skóre podobnosti větší než 0,8 pokračuje se dalším krokem, jinak se pokračuje se srovnáním dalšího páru.

## Druhý krok

Pro každý otisk prstu, se přemístí a natočí všechny další markanty s ohledem na referenční markantu podle následujícího vzorce [29]:

$$\begin{pmatrix} x_{i,new} \\ y_{i,new} \\ \theta_{i,new} \end{pmatrix} = \text{TM} \times \begin{pmatrix} x_i - x \\ y_i - x \\ \theta_i - \theta \end{pmatrix}, \quad (4.4)$$

kde  $x$ ,  $y$  a  $\theta$  jsou parametry referenční markanty a TM je:

$$\text{TM} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4.5)$$

### 4.5.2 Fáze srovnávání

Srovnávací algoritmus pro zarovnané vzory markant by měl být elastický, protože přesné srovnání vyžaduje, že všechny parametry ( $x$ ,  $y$  a  $\theta$ ) jsou stejné pro dvě shodné markanty, což není možné z důvodu drobných deformací a nepřesného „dávkování“ markant [29].

Řešení k elastickému srovnání markant může být dosaženo umístěním ohraničujícího pole kolem každé markanty v šabloně<sup>5</sup>. Jestliže je odpovídající markanta uvnitř tohoto pole a směrový nesouhlas mezi oběma je velmi malý, potom jsou obě markanty považovány za souhlasný pár. Každá markanta v šabloně otisku nemá žádnou souhlasnou markantu, nebo má pouze jednu korespondující markantu.

Konečná míra shodnosti pro dva otisky prstu je poměr mezi celkovým počtem souhlasných párů markant a počtem markant v šabloně otisku. Shodnost je vyjádřena v procentech a tedy jeho rozsah je od 0 do 100. Jestliže je míra shodnosti větší než specifikovaný práh, můžou být dva otisky prstů označeny jako od jedné osoby.

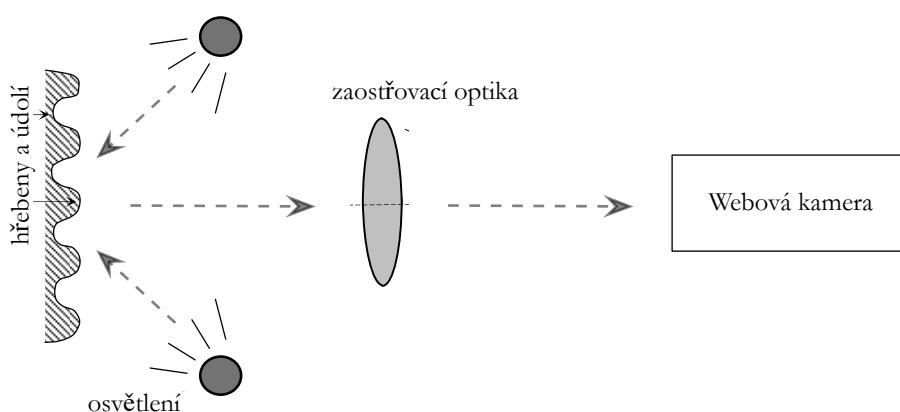
---

<sup>5</sup>Šablona je míněna jako zdrojová sada markant jednoho z otisků.

## 5 ŘEŠENÍ PRÁCE

Pro samotné řešení diplomové práce byl sestrojen jednoduchý skener otisků prstů spolu s obslužným rozhraním. Dále byl vytvořen program pro práci s otisky, využívající postupů popsaných v kapitolách 2.3.2, 3 a 4. Nakonec byly jednotlivé postupy experimentálně vyhodnoceny dle kritérií uvedených v kapitole 1.3.

### 5.1 Návrh snímacího zařízení



Obr. 5.1: Návrh snímacího zařízení

Snímací zařízení pro skenování otisků bylo navrženo jako optický skener pro přímé snímání. Zařízení se skládá z osvětlovací jednotky (šestice difusních zelených LED diod), zaostřovací optiky a webové kamery *Logitech Webcam C250*.

#### Základní parametry skeneru

**Počet pixelů** - obraz otisku prstu je snímán v rozlišení VGA, tedy  $640 \times 480$  pixelů.

**Oblast** - snímaná oblast je  $3,5 \text{ cm} \times 2,4 \text{ cm}$ .

**Rozlišení** - sejmutý otisk má rozlišení 460 DPI ( $\frac{3,5 \text{ cm}}{640 \text{ px}}$ ).

**Dynamický rozsah** - sejmutí otisku je provedeno ve stupních šedi, tudíž dynamický rozsah je 8 bit.

Podrobnější popis snímacího zařízení je v příloze A.

## 5.2 Návrh obslužného programu

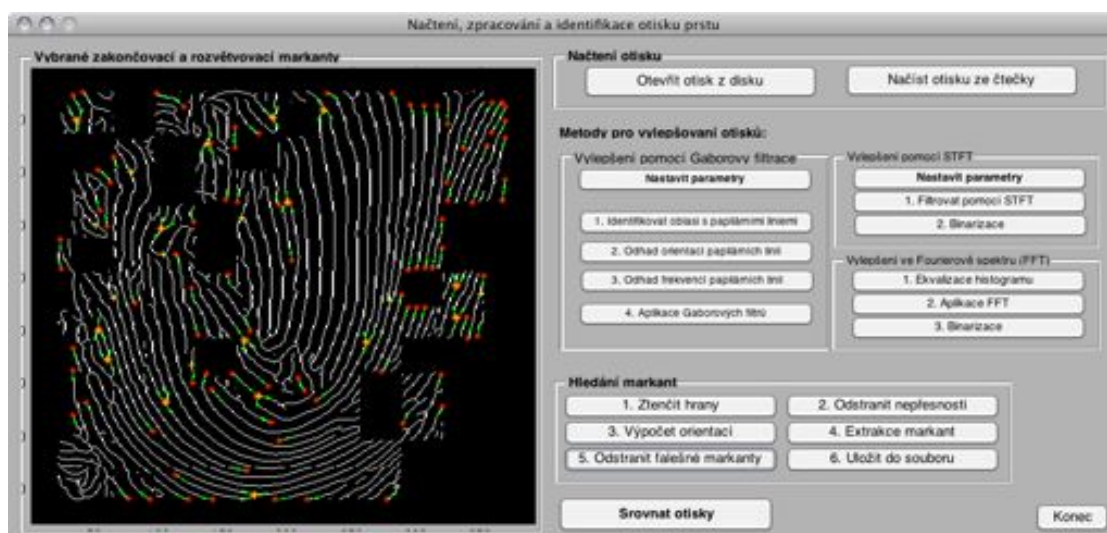
Program pro zpracování a rozpoznání otisků je realizován v prostředí MATLAB. Výběr prostředí byl ovlivněn dostupností funkcí a relativní snadností realizace algoritmů pro zpracování obrazů otisků prstů a také jeho multiplatformostí - návrh byl převážně prováděn pod Mac OS X 10.6.3, ale dílčí částí byly také prováděny pod MS Windows XP. Rozhraní programu odpovídá popisu uvedeném v kapitole 2.3.2. Samotný program je tedy rozdělen do několika částí:

**Načtení otisku** - první část programu slouží pro otevření otisku z disku nebo načtení otisku ze skeneru. Pro obsluhu skeneru je navíc vytvořeno separátní GUI.

**Metody pro vylepšení otisku** - slouží pro samotné vylepšení otisku před hledáním markant. Jednotlivé metody vylepšování jsou navzájem nezávislé a jedná se o vylepšení pomocí konvoluce s Gaborovými filtry (viz kap. 3.1), vylepšení pomocí krátkodobé Fourierovy transformace (viz kap. 3.2) a poslední pomocí FFT filtrace (viz kap. 3.3).

**Hledání markant** - část programu která slouží ke ztenčení upraveného otisku a následnému hledání markant (viz kap. 4).

**Srovnání otisků** - část programu prezentována pouze jedním tlačítkem slouží ke srovnání dvou uložených šablon zpracovaného otisku a vypsání výsledné míry shodnosti (viz kap. 4.5.2).



Obr. 5.2: Hlavní GUI navrženého programu pro rozpoznání otisků prstů

Podrobnější popis programu je uveden v příloze B .

## 5.3 Experimentální výsledky

Pro hodnocení výkonnosti biometrických systémů jsou široce používány hodnotící indexy výkonnosti FRR (pravděpodobnost chybného odmítnutí) a FAR (pravděpodobnost chybného přijetí) - více v kap. 1.3. Pro hodnocení výkonnosti byly použity dvě databáze otisků. Pro každou databázi a algoritmus vylepšení je ze získaných dat sestaven *histogram rozdělení ztotožnění oprávněných a neoprávněných uživatelů* a následně je ze získaných dat určena a vynesena do grafu *distribuce indexů výkonnosti FAR a FRR*.

### Histogram rozdělení ztotožnění oprávněných a neoprávněných uživatelů

Histogram se skládá ze dvou částí. První určuje míru shodnosti u stejného otisku a byla získána vzájemným porovnáváním otisků ze stejného prstu. Druhá část určuje míru shodnosti u jiných otisků, kdy byl každý otisk v databázi srovnán s otisky z jiných prstů. Z histogramu můžeme určit průměrnou hodnotu nesprávného přijetí  $NP$  a průměrnou hodnotu správného přijetí  $SP$ .

### Distribuce indexů výkonnosti FAR a FRR

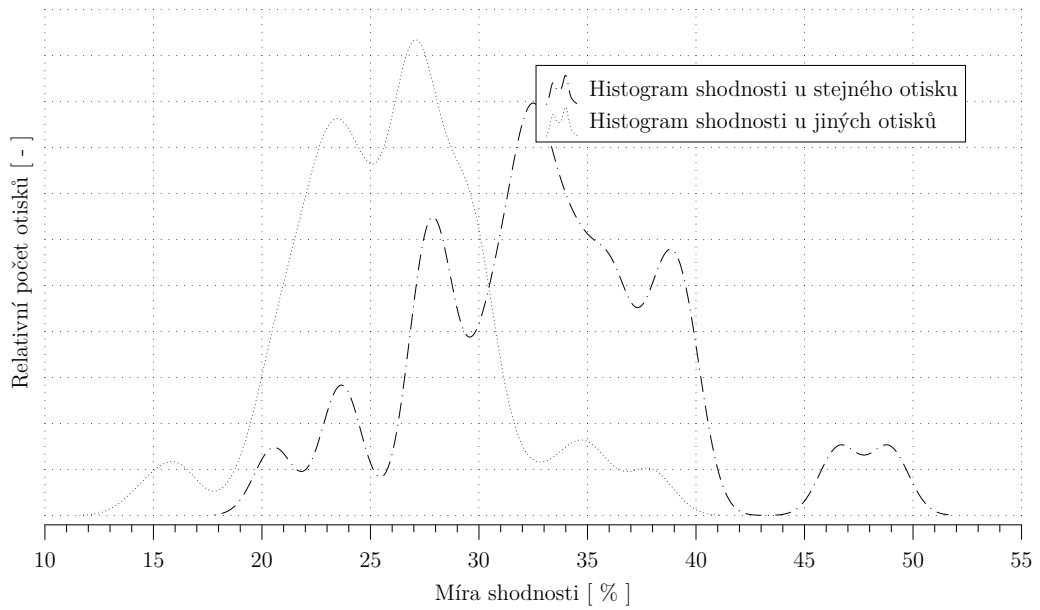
Křivka FAR zobrazuje relativní index vztažený k počtu chybných přijetí při určeném prahu a srovnáním daného otisku se zbývajícími otisky z jiných prstů. Křivka FRR zobrazuje relativní index vztažený k počtu chybných odmítnutí při určeném prahu a srovnáním daného otisku se zbývajícími otisky ze stejného prstu. V průsečíku obou křivek je určen křížový koeficient EER, kdy je hodnota FAR a FRR rovna.

#### 5.3.1 Hodnocení získaných otisků

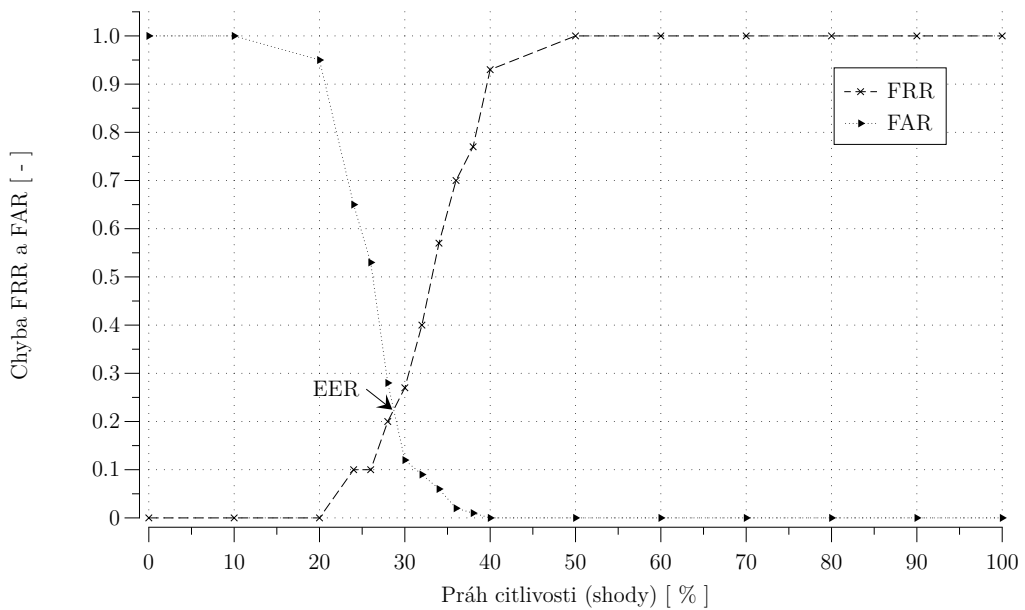
První hodnocená databáze otisků je získána pomocí navrženého skenovacího zařízení. Bylo celkem pořízeno 30 otisků (3 otisky od 10 osob). Tato sada otisků byla otestována podle postupu uvedeného v úvodu kapitoly.

$NP_{Gabor}$	26,09 [ % ]
$SP_{Gabor}$	33,23 [ % ]
$EER_{Gabor}$	0,23 [ - ]; 29,43 [ % ]

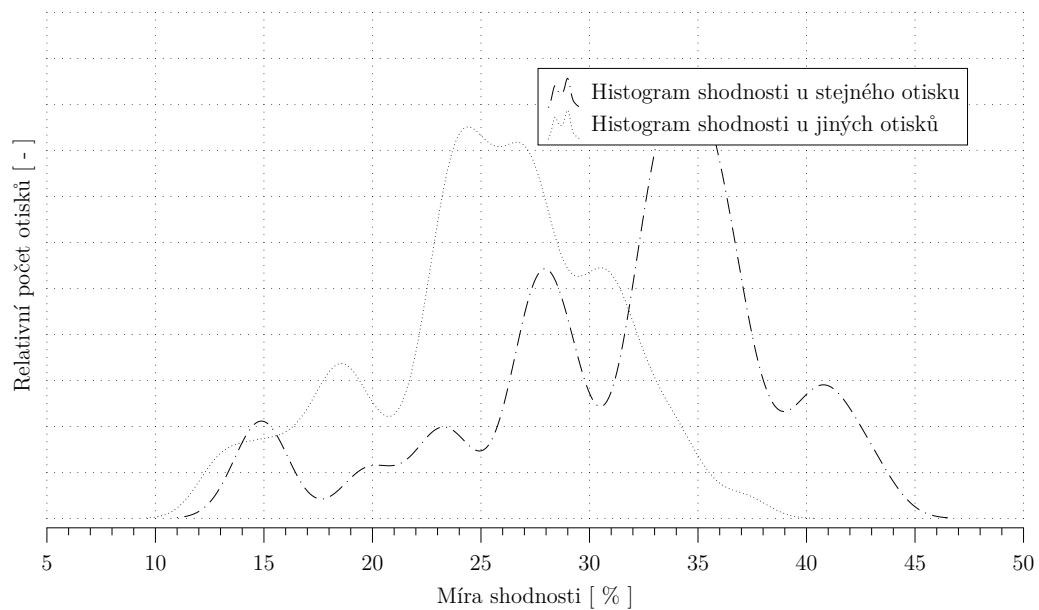
Tab. 5.1: Hodnocení výsledných parametrů pro vlastní databázi otisků vylepšených konvolucí s Gaborovými filtry



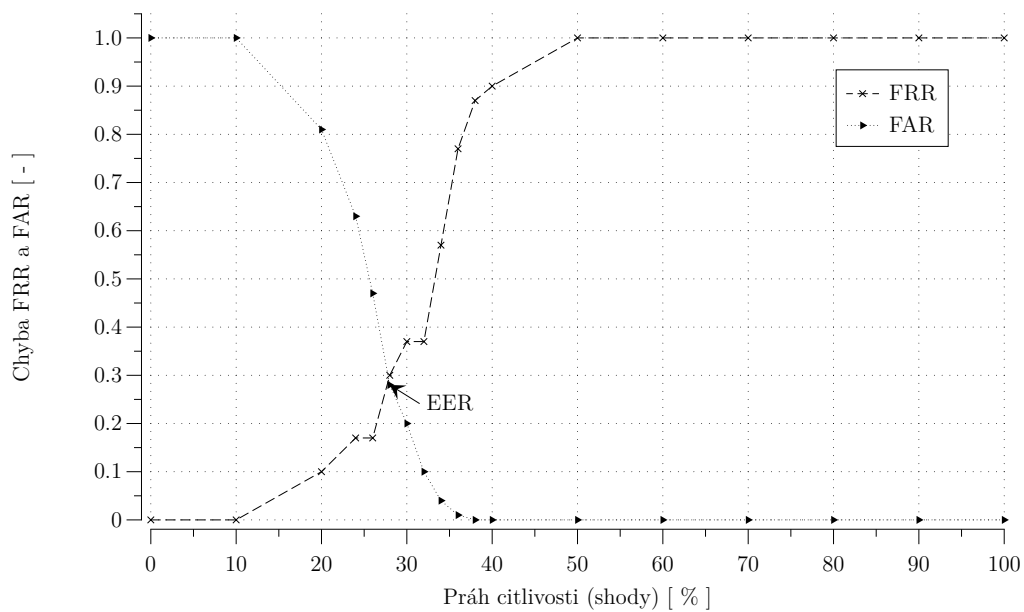
Obr. 5.3: Histogram rozdělení ztotožnění oprávněných a neoprávněných uživatelů pro vlastní databázi otisků vylepšených konvolucí s Gaborovými filtry



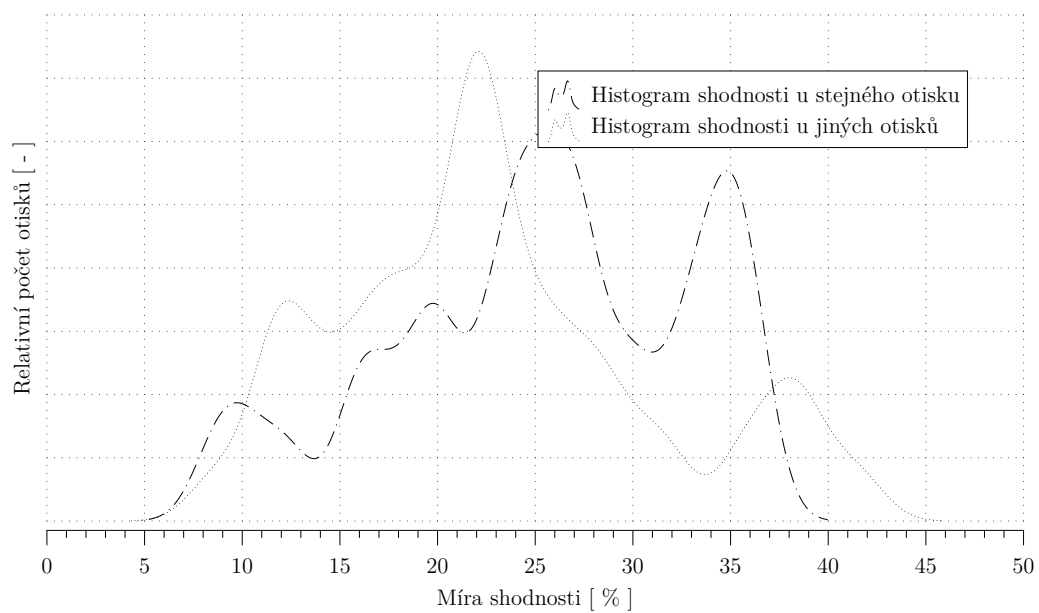
Obr. 5.4: Distribuce indexů výkonnosti FAR a FRR pro vlastní databázi otisků vylepšených konvolucí s Gaborovými filtry



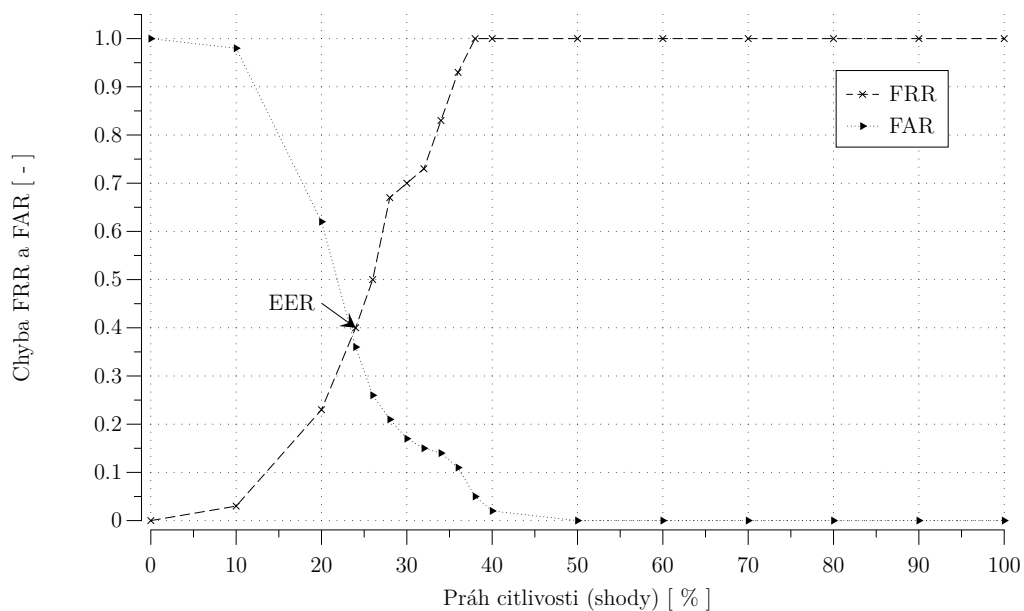
Obr. 5.5: Hodnocení shodnosti otisků pro vlastní databázi otisků vylepšených STFT analýzou



Obr. 5.6: Křivka FRR a FAR pro vlastní databázi otisků vylepšených STFT analýzou



Obr. 5.7: Hodnocení shodnosti otisků pro vlastní databázi otisků vylepšených FFT filtrací



Obr. 5.8: Křivka FRR a FAR pro vlastní databázi otisků vylepšených FFT filtrací

$NP_{STFT}$	25,36 [ % ]
$SP_{STFT}$	31,54 [ % ]
$EER_{STFT}$	0,28 [ - ]; 27,08 [ % ]

Tab. 5.2: Hodnocení výsledných parametrů pro vlastní databázi otisků vylepšených STFT analýzou

$NP_{FFT}$	25,16 [ % ]
$SP_{FFT}$	22,92 [ % ]
$EER_{FFT}$	0,40 [ - ]; 25,11 [ % ]

Tab. 5.3: Hodnocení výsledných parametrů pro vlastní databázi otisků vylepšených FFT filtrací

### 5.3.2 Hodnocení otisků z databáze FVC2002

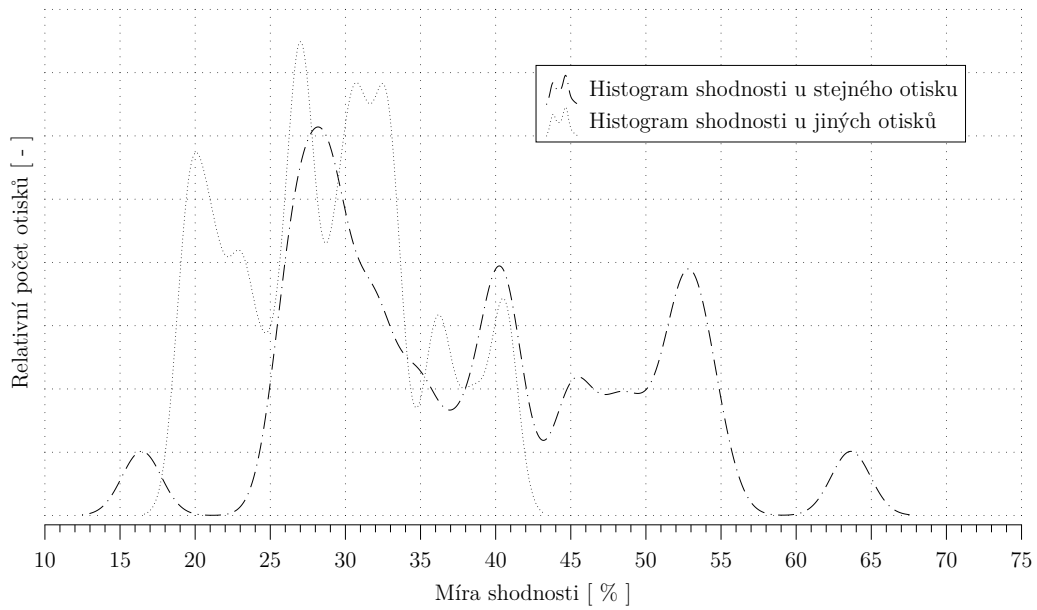
Jako druhá hodnotící databáze byla zvolena FVC2002 (Second International Competition for Fingerprint Verification Algorithms), tedy jakási standardizovaná databáze otisků pro hodnocení kvality algoritmů srovnávání a vylepšení [19]. Bylo opět celkem otestováno 30 otisků (3 otisky od 10 osob). Tato sada otisků byla otestována podle postupu uvedeného v úvodu kapitoly.

$NP_{Gabor}$	28,94 [ % ]
$SP_{Gabor}$	38,25 [ % ]
$EER_{Gabor}$	0,37 [ - ]; 32,18 [ % ]

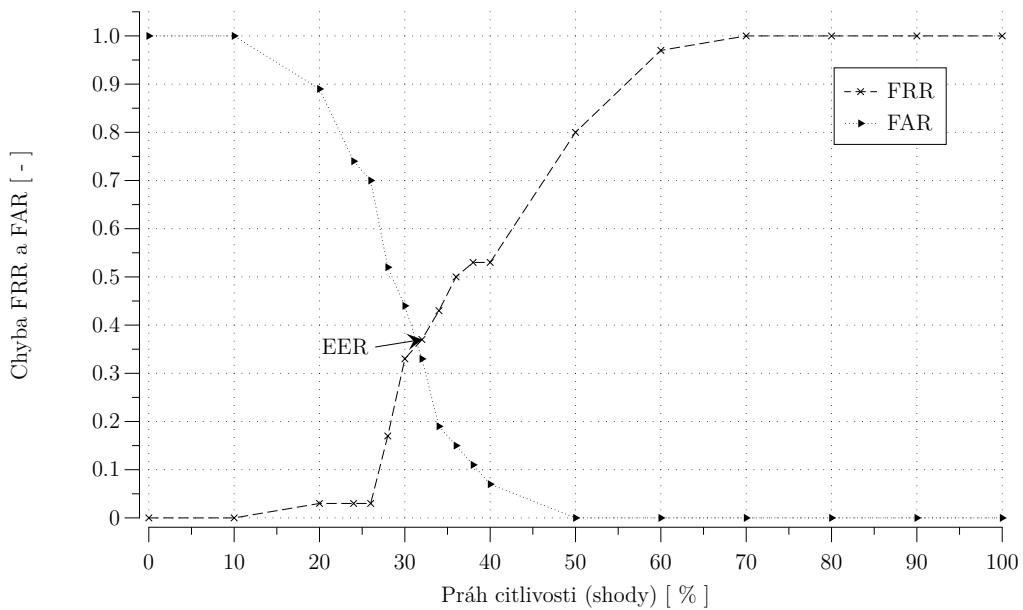
Tab. 5.4: Hodnocení výsledných parametrů pro databázi otisků FVC2002 vylepšených konvolucí s Gaborovými filtry

$NP_{STFT}$	31,03 [ % ]
$SP_{STFT}$	34,91 [ % ]
$EER_{STFT}$	0,43 [ - ]; 31,75 [ % ]

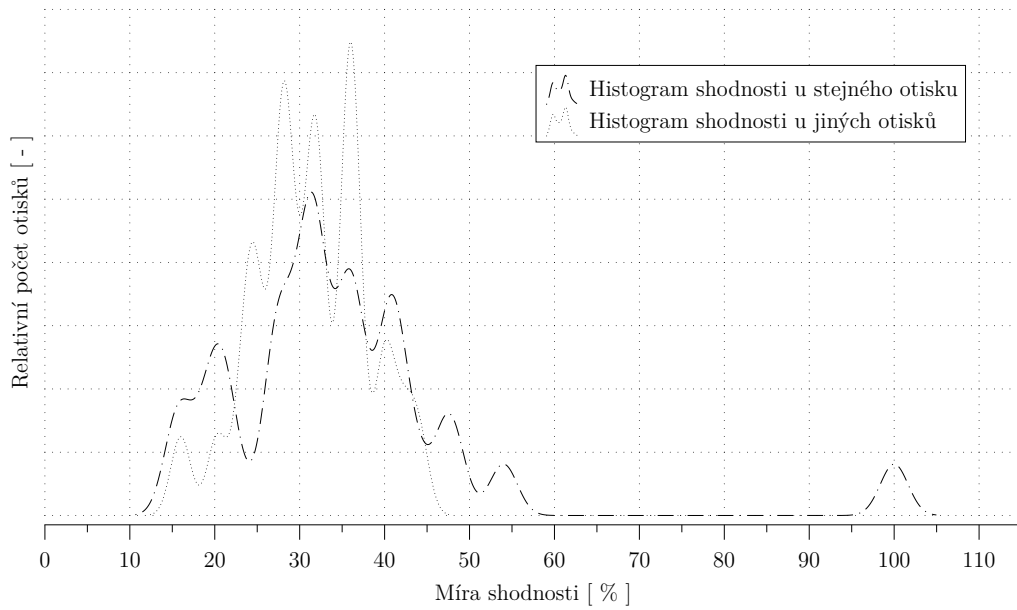
Tab. 5.5: Hodnocení výsledných parametrů pro databázi otisků FVC2002 vylepšených STFT analýzou



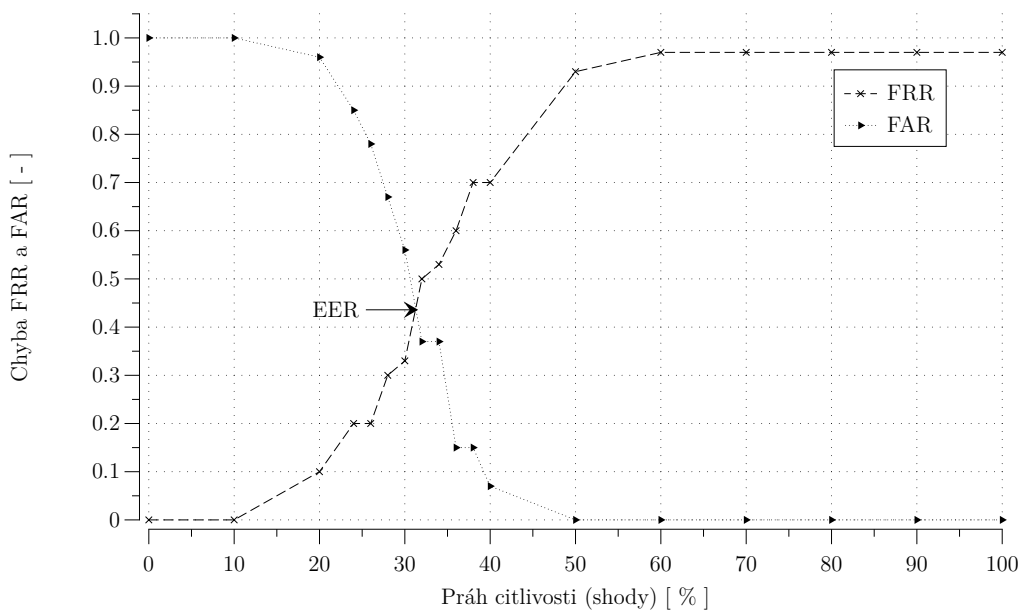
Obr. 5.9: Histogram rozdělení ztotožnění oprávněných a neoprávněných uživatelů pro databázi otisků FVC2002 vylepšených konvolucí s Gaborovými filtry



Obr. 5.10: Distribuce indexů výkonnosti FAR a FRR pro databázi otisků FVC2002 vylepšených konvolucí s Gaborovými filtry



Obr. 5.11: Hodnocení shodnosti otisků pro databázi otisků FVC2002 vylepšených STFT analýzou



Obr. 5.12: Křivka FRR a FAR pro databázi otisků FVC2002 vylepšených STFT analýzou

## 6 ZÁVĚR

Zajímavá historie daktyloskopie ukazuje, že ne vždy byla tato technika uznávaným oborem a biometriky si tak velmi obtížně razily cestu ke svému uznání a využívání. Dnes je situace taková, že použití biometrik není limitováno téměř ničím. Můžeme se s nimi setkat v domácnosti – stejně jako ve firmách i v kriminalistických ústavech. To, že biometriky jsou na vzestupu je dnes evidentní. Otisky prstů si přitom mezi nimi stále pevně drží své přední místo. Zpracování otisku prstu je proces, který vyžaduje přesnost a robustnost algoritmu, který jej provádí. V této práci jsem se snažil objasnit jednu z možných cest pro ověření otisků - porovnávání podle markant. Byly zvoleny tři metody pro vylepšení samotného obrazu otisku prstu, jež byly popsány jak po teoretické stránce, tak i realizovány prakticky pomocí programu s jednoduchým GUI. Dále pro samotné srovnávání otisků byl popsán a také realizován postup extrakce a porovnávání markant ve vylepšeném otisku. Pro hodnocení algoritmů bylo navrženo a realizováno vhodné snímací zařízení pro záznam otisků prstů horních končetin, kterým bylo sejmuto potřebné množství vzorků. Ty byly podrobeny spolu s veřejně dostupnou databází otisků testům na základě parametrů falešného přijetí neoprávněné osoby a falešného odmítnutí oprávněné osoby. Ze samotných testů vyplynulo, že největší robustnost v předzpracování otisku poskytuje konvoluce pomocí Gaborových filtrů, která dokáže velmi kvalitně rekonstruovat otisk. Nejhorší výsledky podala podle předpokladů filtrace ve Fourierově oblasti, kde je velmi obtížné nastavit vhodný práh pro přijetí či odmítnutí otisku. Důvodem je, že pracuje s obrazem otisku jako s celkem a nebere v potaz lokální charakteristiky otisku podobně jako filtrace pomocí Gaborových filtrů či 2D STFT analýzy.

## LITERATURA

- [1] BOUŠKA, Petr. *Biometrické systémy: zpracování otisku prstu včetně možnosti rekonstrukce otisku z biometrické šablony*. Brno, 2007. 58 s. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Fakulta informatiky.
- [2] DAUGMAN, J. G. Uncertainty relation for resolution in space, spatial frequency, and orientation optimized by two-dimensional visual cortical filters. *Journal of the Optical Society of America*. 1985, 2, 7, s. 1160-1169.
- [3] DOBEŠ, Michal. *Zpracování obrazu a algoritmy v C#*. 1. vydání. Praha : BEN - technická literatura, 2008. 138 s. ISBN 978-80-7300-233-6.
- [4] FARINA, Alessandro; M. KOVACS, Zsolt; LEONE, Alberto. Fingerprint minutiae extraction from skeletonized binary images. *Pattern Recognition*. 1999, v. 32, s. 877-889.
- [5] FISHER, R.; PERKINS, S.; WALKER, A. *HIPR2* [online]. 2004 [cit. 2010-04-01]. Hit-and-Miss Transform. Dostupné z WWW: <<http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/hitmiss.htm>>.
- [6] FISHER, R.; PERKINS, S.; WALKER, A. *HIPR2* [online]. 2004 [cit. 2010-04-01]. Skeletonization/Medial Axis Transform. Dostupné z WWW: <<http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/skeleton.htm>>.
- [7] FISHER, R.; PERKINS, S.; WALKER, A. *HIPR2* [online]. 2004 [cit. 2010-04-01]. Structuring Elements. Dostupné z WWW: <<http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/strctel.htm>>.
- [8] FISHER, R.; PERKINS, S.; WALKER, A. *HIPR2* [online]. 2004 [cit. 2010-04-01]. Thinning. Dostupné z WWW: <<http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/thin.htm>>.
- [9] HONG, L.; WAN, Y.; JAIN, A. K. Fingerprint image enhancement: Algorithm and performance evaluation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1998, v. 20, s. 777-789
- [10] HONG, L. *Automatic personal identification using fingerprints*. Lansing, 1998. 227 s. Dizertační práce. Michigan State University, Dept. of Computer Science
- [11] CHIKKERUR, S.; CARTWRIGHT, A.; GOVINDARAJU, V. *Fingerprint Images Enhancement Using STFT Analysis*. University at Buffalo, Center for Unified Biometrics and Sensors, 2005. s. 6.

- [12] ITO, K.; MORITA, A.; AOKI, T. *A Fingerprint Recognition Algorithm Using Phase-Based Image Matching for Low-Quality Fingerprints*. Tohoku University, Graduate School of Information Sciences, 2005. s. 4.
- [13] JAIN, A.; PRABHAKAR, S.; HONG, L. A multichannel approach to fingerprint classification. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1999, v. 21, s. 348-359.
- [14] JAIN, A.; FARROKHANIA, F. Unsupervised texture segmentation using Gabor filters. *Pattern Recognition*. 1991, v. 24, s. 1167 - 1186.
- [15] JAIN, L. C., et al. *Intelligent biometric techniques in fingerprint and face recognition*. Boca Ralton : CRC Press, 1999. 480 s. ISBN 9780849320552.
- [16] KARUNGARU, Stephen, et al. Fingerprint Images Enhancement Using a Concavity and Convexity method. *Biomedical Soft Computing and Human Sciences*. 2009, v. 14, s. 39-46.
- [17] KOVÁČ, Petr. *Návrh biometrického identifikačního systému pro malou organizaci*. Zlín, 2009. 85 s. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky.
- [18] KOVESI, Peter. *MATLAB and Octave Functions for Computer Vision and Image Processing* [online]. 1996 [cit. 2010-04-05]. Dostupné z WWW: <<http://www.csse.uwa.edu.au/~pk/Research/MatlabFns/>>.
- [19] MALTONI, Davide, et al. *Handbook of Fingerprint Recognition*. Second Edition. London : Springer, 2009. 483 s. ISBN 978-1-84882-253-5.
- [20] PRABHAKAR, S., et al. Minutiae verification and classification for fingerprint matching. *In Proc. 15th International Conference Pattern Recognition (ICPR)*. 2000, v. 1, s. 25-29.
- [21] RAK, R.; MATYÁŠ, V.; ŘÍHA, Z. *Biometrie a identita člověka ve forezních a komerčních aplikacích*. Brno : Grada Publishing, 2008. 631 s. ISBN 978-80-247-2365-5.
- [22] RATHA, N.; CHEN, S.; JAIN, A. K. Adaptive Flow Orientation Based Feature Extraction in Fingerprint Images. *Pattern Recognition*. 1995, v. 28, s. 1657-1672.
- [23] ROSS, A.; JAIN, A.; REISMAN, J. A hybrid fingerprint matcher. *Pattern Recognition*. 2003, v. 36, s. 1661-1673.

- [24] SHERLOCK, B. G.; MONRO, D. M.; MILLARD, K. Fingerprint enhancement by directional Fourier filtering. *IEE Proc.-Vis. Image Signal Process.* 1994, Vol 141, s. 87-94.
- [25] STRAUS, Jiří. *Kriminalistická daktyloskopie*. Praha: Policejní akademie ČR, 2005. ISBN 80-7251-192-0
- [26] ŠČUREK, Radomír. *Biometrické metody identifikace osob v bezpečnostní praxi*. Ostrava, 2008. 58 s. Seminární práce. VŠB TU Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství.
- [27] THAI, Raymond. *Fingerprint Image Enhancement and Minutiae Extraction*. Perth, 2003. 63 s. Dizertační práce. School of Computer Science and Software Engineering, The University of Western Australia.
- [28] MACH, M. *Historie biometrik a jejich využití ve výpočetní technice* [online]. 2003 [cit. 2010-05-02]. Dostupné z WWW: <[http://www.fi.muni.cz/usr/jkucera/pv109/2003/xvach\\_biometriky.htm](http://www.fi.muni.cz/usr/jkucera/pv109/2003/xvach_biometriky.htm)>.
- [29] ZHILI, Wu. *emphFingerprint Recognition*. Hong Kong, 2002. 45 s. Diplomová práce. Hong Kong Baptist University, Department of Computer Science.
- [30] Automated fingerprint identification. *In Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2004 [cit. 2010-05-17]. Dostupné z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Automated\\_fingerprint\\_identification](http://en.wikipedia.org/wiki/Automated_fingerprint_identification)>.
- [31] Biometrics. *In Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2008 [cit. 2010-05-15]. Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Biometric>>.
- [32] Ekvalizace histogramu. *In Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2007 [cit. 2010-05-15]. Dostupné z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Ekvalizace\\_histogramu](http://cs.wikipedia.org/wiki/Ekvalizace_histogramu)>.
- [33] Fingerprint. *In Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2005 [cit. 2010-05-18]. Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Fingerprint>>.
- [34] Gaussian blur. *In Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2003 [cit. 2010-03-28]. Dostupné z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Gaussian\\_blur](http://en.wikipedia.org/wiki/Gaussian_blur)>.

- [35] Gaussian filter. *In Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2005 [cit. 2010-03-28]. Dostupné z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Gaussian\\_filter](http://en.wikipedia.org/wiki/Gaussian_filter)>.
- [36] Image histogram. *In Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2006 [cit. 2010-03-28]. Dostupné z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Image\\_histogram](http://en.wikipedia.org/wiki/Image_histogram)>.
- [37] Otsu's method. *In Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2006 [cit. 2010-05-15]. Dostupné z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Otsu's\\_method](http://en.wikipedia.org/wiki/Otsu's_method)>.
- [38] Sobel operator. *In Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2008 [cit. 2010-03-27]. Dostupné z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Sobel\\_operator](http://en.wikipedia.org/wiki/Sobel_operator)>.

# SEZNAM PŘÍLOH

<b>A</b>	<b>Popis snímacího zařízení</b>	<b>68</b>
A.1	Hardwarová realizace snímacího zařízení . . . . .	68
A.2	Softwarová realizace obslužného programu . . . . .	70
<b>B</b>	<b>Popis obslužného programu</b>	<b>71</b>
B.1	Metody pro vylepšování otisku . . . . .	72
B.1.1	Vylepšení pomocí Gaborovy filtrace . . . . .	72
B.1.2	Vylepšení pomocí STFT . . . . .	73
B.1.3	Vylepšení ve Fourierově spektru . . . . .	73
B.2	Hledání markant . . . . .	73
B.3	Srovnat otisk . . . . .	74
<b>C</b>	<b>Obsah CD-ROM přílohy</b>	<b>75</b>

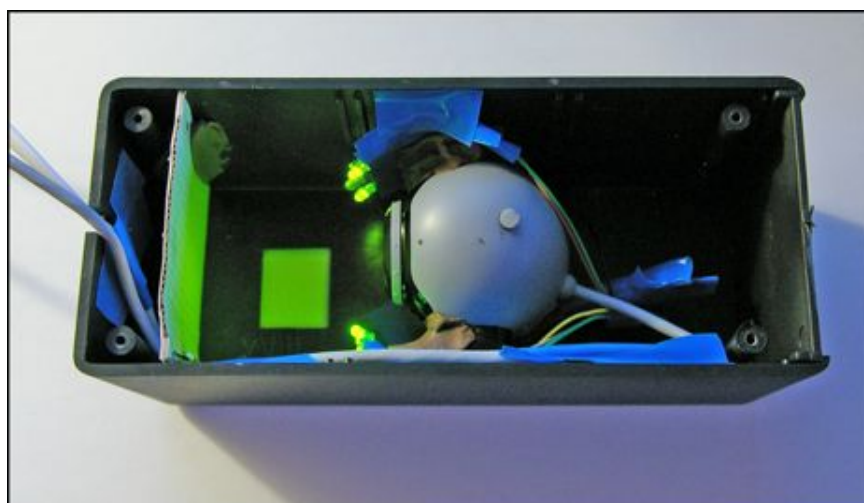
## A POPIS SNÍMACÍHO ZAŘÍZENÍ

### A.1 Hardwarová realizace snímacího zařízení

Snímací zařízení pro skenování otisků bylo navrženo jako optický skener pro přímé snímání. Zařízení se skládá z osvětlovací jednotky (šestice difusních zelených LED diod), zaostřovací optiky a webové kamery *Logitech Webcam C250*.



Obr. A.1: Navržené snímací zařízení. Pohled zvenčí.



Obr. A.2: Navržené snímací zařízení. Pohled na vnitřní uspořádání.

### **Základní parametry skeneru**

**Počet pixelů** - obraz otisku prstu je snímán v rozlišení VGA, tedy  $640 \times 480$  pixelů.

**Oblast** - snímaná oblast je  $3,5 \text{ cm} \times 2,4 \text{ cm}$ .

**Rozlišení** - sejmutý otisk má rozlišení 460 DPI ( $\frac{3,5\text{cm}}{640\text{px}}$ ).

**Dynamický rozsah** - sejmutí otisku je provedeno ve stupních šedi, tudíž dynamický rozsah je 8 bit.

## A.2 Softwarová realizace obslužného programu

Grafické uživatelské rozhraní pro obsluhu snímače otisku prstů je navrženo v Matlabu a spouští se pomocí funkce `FingerScan.m`. Tato část GUI běží pouze pod systémem MS Windows, protože využívá toolbox *Data Acquisition*, který firma MathWorks vyvíjí pouze pro toto prostředí<sup>1</sup>. Samotné GUI disponuje několika tlačítky:

**Spustit snímání** - spustí webovou kameru uvnitř čtečky pro vizuální kontrolu před sejmutím otisku.

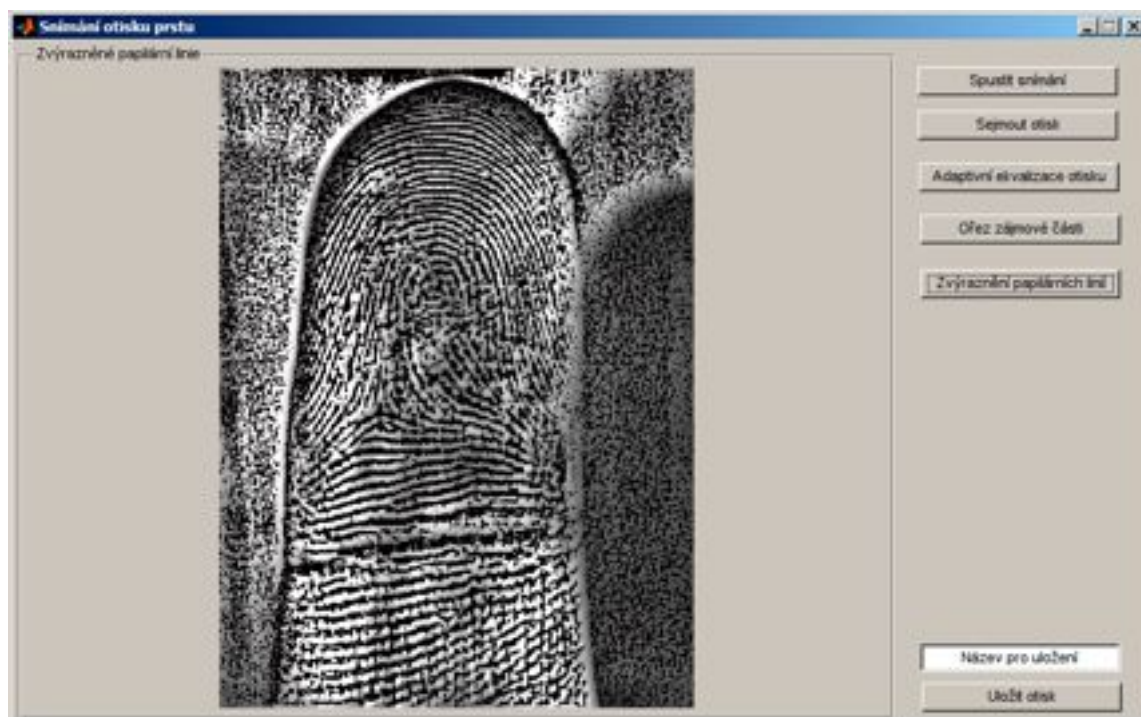
**Sejmout otisk** - sejme statický otisk prstu ve stupních šedi.

**Adaptivní ekvalizace otisku** - adaptivně ekvalizuje histogram sejmutého otisku pro získání vyššího dynamického rozsahu.

**Ořez zájmové části** - uživatel může tímto nástrojem ořezat obraz otisku pro zachování pouze zájmových částí.

**Zvýraznění papilárních linií** - v sejmutém otisku označí papilární linie.

**Uložit otisk** - uloží načtený otisk pod zadaným jménem.



Obr. A.3: GUI určené pro snímání otisku prstu.

<sup>1</sup>Pro ověření, zda nenastala změna: <http://www.mathworks.com/products/daq/requirements.jsp>

## B POPIS OBSLUŽNÉHO PROGRAMU

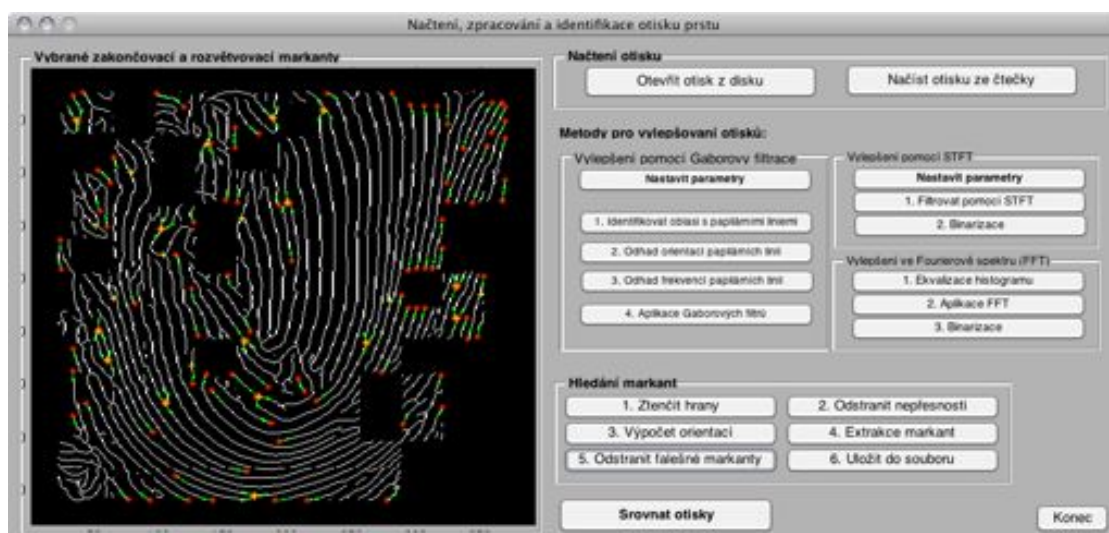
Pro samotné zpracování a rozpoznání otisků je navrženo grafické uživatelské rozhraní v prostředí MATLAB. Výběr prostředí byl ovlivněn dostupností funkcí a relativní snadností realizace algoritmů pro zpracování obrazů otisků prstů a také jeho multiplatformostí. Rozhraní programu odpovídá popisu uvedenému v kapitole 2.3.2. Program se spouští pomocí funkce `START.m`. Samotný program je tedy rozdělen do několika částí:

**Načtení otisku** - první část programu slouží pro otevření otisku z disku nebo načtení otisku ze skeneru. Pro obsluhu skeneru je navíc vytvořeno separátní GUI.

**Metody pro vylepšení otisku** - slouží pro samotné vylepšení otisku před hledáním markant. Jednotlivé metody vylepšování jsou navzájem nezávislé a jedná se o vylepšení pomocí konvoluce s Gaborovými filtry (viz kap. 3.1), vylepšení pomocí krátkodobé Fourierovy transformace (viz kap. 3.2) a poslední pomocí FFT filtrace (viz kap. 3.3).

**Hledání markant** - část programu která slouží ke ztenčení upraveného otisku a následnému hledání markant (viz kap. 4).

**Srovnání otisků** - část programu prezentována pouze jedním tlačítkem slouží ke srovnání dvou uložených šablon zpracovaného otisku a vypsání výsledné míry shodnosti (viz kap. 4.5.2).



Obr. B.1: Hlavní GUI navrženého programu pro rozpoznání otisků prstů

## B.1 Metody pro vylepšování otisku

Samotná část rozhraní pro vylepšování otisku se skládá ze třech nezávislých částí, kdy je každá z nich určená pro zpracování otisku jednou metodou. Každá metoda může být spuštěna pouze jednou v jednom běhu programu a jednotlivé kroky musí být vykonávány dle posloupností jednotlivých tlačítek.

### B.1.1 Vylepšení pomocí Gaborovy filtrace

**Nastavit parametry** - toto tlačítko spustí separátní okno, pro nastavení podrobných parametrů pro filtraci s Gaborovými filtry.

**Identifikovat oblasti s papilárními liniemi** - jedná se o proces segmentace, kdy se označí oblasti popředí a pozadí.

**Odhad orientací papilárních linií** - funkce odhadne a vyznačí jednotlivé lokální orientace papilárních linií.

**Odhad frekvencí papilárních linií** - funkce vykreslí frekvenční spektrum pro jednotlivé bloky.

**Aplikace Gaborových filtrů** - spustí funkci konvoluce všesměrových Gaborových filtrů, dle vypočtených parametrů v předchozích krocích. Zároveň provede binarizaci vylepšeného otisku.

Parametr	Hodnota
Velikost bloku, ve kterém je určena směrodatná odchylka (vyzkoušejte hodnotu 16):	16
Práh standardní odchylky rozhodující, zda je v bloku papilární líne (zkuste hodnoty 0,1 až 0,2):	0.1
Sigma derivace Gaussova rozložení použita pro výpočet přechodů v obraze:	1
Sigma Gaussovy váhy použita pro výpočet jednotlivých momentů přechodů:	5
Sigma Gaussova rozložení použitého pro vyřazení výsledného pole orientací:	5
Velikost bloku pro použití při odhadu frekvencí papilárních linií:	32
Délka okna použita pro hledání vrcholů (pouze liché hodnoty - 3 nebo 5):	5
Minimální a maximální délka vlny papilární líne - hodnoty jsou v píselech:	5 15
Relativní vlnová délka filtru. Ve směru x udává šířku pásma a ve směru y udává selektivitu filtru:	0.5 0.5
Míra spolehlivosti Gaborovy filtrace, idálně mezi hodnotami 0 - 0.5:	0.4

Uložit a pokračovat

Obr. B.2: Dialogové okno pro nastavení parametrů pro filtraci za použití všesměrových Gaborových filtrů.

## B.1.2 Vylepšení pomocí STFT

**Nastavit parametry** - spustí dialogové okno pro nastavení podrobných parametrů STFT filtrace.

**Filtrovat pomocí STFT** - spustí a provede všechny kroky k STFT filtraci.

**Binarizace** - vybere a označí části popředí a pozadí.



Obr. B.3: Dialogové okno pro nastavení parametrů STFT filtrace.

## B.1.3 Vylepšení ve Fourierově spektru

**Ekvalizace histogramu** - před samotnou aplikací filtrace ekvalizuje histogram otisku prstu pro lepší rozlišení jednotlivých papilárních linií.

**Aplikace FFT** - spustí funkci filtrace otisku prstu ve frekvenční oblasti.

**Binarizace** - vybere a označí oblasti s popředím a pozadím.

## B.2 Hledání markant

Další část programu slouží k vyhledání a uložení markant do šablony. Realizace je opět rozdělena do několika dílčích kroků, které by měli být spouštěny návazně za sebou podle pořadí.

**Ztenčit hrany** - funkce, která v binarizovaném otisku z předchozího vylepšení zachová pouze papilární linie o šířce jednoho pixelu.

**Odstranit nepřesnosti** - odstraní zbytky falešných papilárních linií, různých krátkých výběžků a podobných nepřesností.

**Výpočet orientací** - slouží k vypočtení orientací jednotlivých papilárních linií a jejich označení pro pozdější využití ve srovnávání

**Extrakce markant** - funkce extrahuje a označí všechny pravé i falešné markanty.

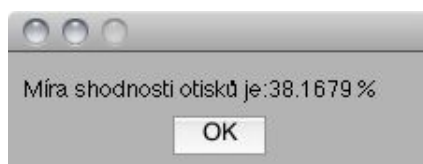
Tato funkce nepočítá směry jednotlivých markant.

**Odstranit falešné markanty** - během několika iterací odstraní falešné markanty z otisku, které byly popsány v jedné z předchozích kapitol.

**Uložit do souboru** - uloží získanou šablonu, tedy polohu a směry markantů do souboru pod jménem pro pozdější porovnávání.

### B.3 Srovnat otisk

Funkce, která disponuje pouze jedním tlačítkem. Po spuštění je vyvolán dialog pro otevření první šablony, po výběru je vyvolán dialog podobný pro výběr druhé šablony. Následně je vypočítána a zobrazena míra shodnosti dvou vybraných šablon.



Obr. B.4: Dialogové okno se zobrazeným výsledkem srovnání dvou šablon otisku.

## C OBSAH CD-ROM PŘÍLOHY

Jednotlivé adresáře na CD-ROM obsahují:

**data** - Databázi naskenovaných otisků vlastním snímacím zařízením a jejich šablon.

Databázi otisků FVC2002 a jejich vygenerovaných šablon.

**diplomova-prace** - Text diplomové práce v PDF a zdrojové soubory pro  $\text{\LaTeX}$ .

**program** - Samotný program pro načtení, vylepšení a porovnání otisku prstu.

**srovnavaci-charakteristiky** - Charakteristiky jednotlivých měření ve formátu DataGraph.

**vygenerovana-grafika** - Vlastní vývojové diagramy ve formátu OmniGraffle.