



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

BIOMETRIE OTISKU PRSTU

FINGERPRINT BIOMETRY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ROMAN KUBICA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR FEDRA

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav biomedicínského inženýrství

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Biomedicínská technika a bioinformatika

Student: Roman Kubica

ID: 115101

Ročník: 3

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Biometrie otisku prstu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s matematickými modely popisu papilárních čar lidských otisků prstů z horních končetin pro následnou identifikaci osoby. Prostudujte a porovnejte současné aplikované algoritmy na rozpoznání osoby podle otisku prstu z hlediska úspěšnosti. Seznamte se s dostupnými databázemi otisků prstů. Navrhněte a v MATLABu realizujte vhodný algoritmus na identifikaci osoby podle otisku prstu. Ověřte úspěšnost algoritmu při identifikaci náhodně vybraného obrazu s otiskem prstu známé/neznámé osoby. Zhodnotte výsledky dle parametrů FAR/FRR.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

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

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

[3] MALTONI, D., et al. Handbook of Fingerprint Recognition. Second Edition. London: Springer 2009. ISBN 978-1-84882-253-5.

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 27.5.2011

Vedoucí práce: Ing. Petr Fedra

prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Úvodní část práce je zaměřena na seznámení s principy biometrických metod zpracování otisku prstu. Obsahuje klasifikaci a popis jednotlivých typů analýz otisku prstu rozdělených dle algoritmu porovnávání identifikovaného vzoru s obrazy z databáze. V navazující části se práce věnuje jejich zhodnocení na základě úspěšnosti experimentálních výsledků a popisu dostupných databází.

Hlavním cílem této práce je vytvoření programu porovnávajícího snímaný otisk prstu s odpovídajícím vzorem získaným z databáze v programovacím rozhraní MATLAB[®].

Realizovaný algoritmus identifikace je založen na výpočtu Poincarého indexu, stanovení singulárních bodů a markantů - význačných prvků obrazu otisku. Výkonnost programu je testována na generované databázi a zhodnocena dle indexů výkonnosti FAR a FRR.

Klíčová slova

Šablona otisku prstu, papilární linie, Poincaré index, markanty, FAR, FRR

Abstract

The first part of this thesis deals with principles of evaluation biometric methods of scanning fingerprint images. Classification and description of single methods, separated into groups depending on the algorithm of comparison of template and image from database are included. In the next part is thesis focused on evaluation based on the success of experimental results and description of available databases.

The main purpose of this thesis is creation of computer program for identification of fingerprint image in the programming interface MATLAB[®].

Realized identification algorithm is based on computing of Poincare index and extraction of singular points and minutiae. Performance of the program is tested on generated database and evaluated by index FAR and FRR.

Keywords

Fingerprint template, papillary ridges, Poincare index, markants, FAR, FRR

Bibliografická citace:

KUBICA, R. *Biometrie otisku prstu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 72 s, 1 příloha. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Fedra.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Biometrie otisku prstu jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla 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.

V Brně dne

.....

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Fedrovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne

.....

podpis autora

Obsah:

1	Úvod.....	8
1.1	Biometrie	9
1.2	Identifikace a verifikace.....	9
1.3	Spolehlivost biometrických metod	9
1.4	Pravděpodobnost chybného odmítnutí FRR	11
1.5	Pravděpodobnost chybného přijetí FAR.....	12
2	Rozdělení metod zpracování otisku prstů	14
3	Metody založené na detekci markantů, značek a linií.....	14
3.1	Značky	14
3.2	Počítačové zpracování otisku prstu.....	15
3.3	Různé varianty a přístupy k počítačovému zpracování otisku prstů.....	17
3.4	Popis metody založené na orientaci linií	20
4	Algoritmy založené na globálním porovnávání obrazu	24
4.1	Metoda užití fázové korelace a Fourier-Melinovy transformace.....	24
5	Metody založené na určení vzájemné informace	27
5.1	Kritérium sesouhlasení	27
5.2	Popis metody.....	27
6	Porovnání algoritmů na rozpoznání osoby z hlediska úspěšnosti.....	29
6.1	FRR.....	29
6.2	FAR.....	29
6.3	GAR.....	30
6.4	Algoritmy založené na porovnávání markantů, značek a linií.....	30
6.5	Globální porovnávání obrazu.....	31
6.6	Zhodnocení	32
7	Databáze otisků prstu	34
7.1	Databáze FCS 2000 Maltoni.....	34

7.2	Generátor otisků prstů SFIGNE, Maltoni	37
7.3	Databáze IBM	37
8	Realizace programu	39
8.1	Vytvoření vektorového pole	40
8.2	Poincaré Index	41
8.3	Rozdělení otisků na základě singulárních bodů.....	45
8.4	Hledání markantů, značek ukončení a rozdvojení	45
8.5	Funkce <i>bwlabel</i>	47
8.6	Odstranění falešných markantů.....	48
8.7	Klasifikace	50
8.8	Porovnávání	51
8.9	Transformace	51
8.10	Finální porovnání	52
8.11	Důležitost nastavení okolí porovnávaných markantů	53
8.12	Porovnání šablon otisků	54
9	Blokové schéma programu.....	55
10	Realizace programu	57
10.1	Vzhled hlavního okna programu	57
11	Modelový příklad	61
11.1	Registrace	61
11.2	Identifikace.....	63
12	Vyhodnocení programu dle parametrů FAR a FRR.....	64
13	Závěr.....	67
14	Seznam zkratk.....	71
15	Seznam literatury	68
15	Přílohy	72
15.1	Obsah příloženého CD	72

1 Úvod

Identifikace dosáhla v dnešní době vysoké úrovně a také nutnosti. Tento fakt je způsoben tím, že státy, společnosti a různé organizace mají velký zájem na exaktním určení konkrétních jevů a s nimi souvisejících objektů.

Pojem identifikace je spojován především s vojenskými a bezpečnostními složkami. Vývoj společnosti a zejména prudký rozvoj informačních technologií na konci minulého století zapříčinil rozšíření identifikačního systému do široké společenské sféry. Dnes jsou již tyto aplikace realizovány běžně v komerční oblasti.

Biometrické metody jsou založeny na faktu fyzické jedinečnosti každé jednotlivé osoby. Technologie založené na vědeckých základech, kterým předcházely principy jednodušší, byly vyvíjeny až specializovanými bezpečnostními složkami (kriminalistické ústavy, forenzní instituce). V dnešní době značně vzrostla potřeba přesného rozlišení zejména osob v důsledku vývoje civilizace (volný pohyb osob a zboží).

Daktyloskopie je zaměřena na identifikaci pomocí jedinečnosti otisku prstu. Počátky sahají až do 7. tisíciletí let před naším letopočtem v Asýrii a Číně, kde byly otisky užívány při obchodních záležitostech, například nahrazení vlastního podpisu. V minulém století byly již uplatňovány k identifikaci v kriminalitě, pomocí specializovaných expertů zkoumajících detailní rozdíly sejmutých vzorků. Časová náročnost vedla k nutnosti zavedení výpočetní techniky. S prudkým nárůstem zločinnosti stoupal počet daktyloskopických stop. Ruční porovnávání se tak prakticky stalo nemožným.

V 60. letech se objevily první návrhy na počítačovou daktyloskopii, boom pak nastal v letech 80. a 90. díky bouřlivému rozvoji informatiky. Výpočetní technika umožnila především rychlejší a kvalitnější zpracování. Zásadní výhodou aplikací je rychlost, spolehlivost a vysoká přesnost kladného porovnání v databázi.

Dnes je daktyloskopie specializovaným a stále se vyvíjejícím oborem zahrnujícím řadu algoritmů, které jsou neustále vylepšovány a dosahují lepších identifikačních výsledků.

1.1 Biometrie

Pojem biometrie zahrnuje širokou škálu elektronických postupů, využívajících jedinečných fyzických vlastností jako prostředků k identifikaci subjektu. Tyto metody zaznamenávají v dnešní době značný rozvoj a představují velice perspektivní oblast technického vývoje.

1.2 Identifikace a verifikace

Identifikace je proces porovnávání, ztotožnění (jeden k mnoha, 1:n, rekonvence) nasnímaného biometrického vzorku se všemi referenčními šablonami, uloženými v databázi. Vedoucí ke zjištění, která referenční šablona (existuje-li v databázi) odpovídá šabloně vytvořené z nasnímaného vzorku. Identifikující biometrická aplikace pak rozpozná totožnost prověřované osoby. Identifikace odpovídá na otázku „Kdo to je?“

Verifikace je proces porovnávání (jedna ku jedné, 1:1, autentizace) jediné šablony vytvořené z nasnímaného biometrického vzorku s jedinou referenční šablonou, patřící prověřované osobě. Cílem je zjistit, zda je prověřovaná osoba opravdu tou osobou za kterou se vydává nebo navenek jinak jeví. Biometrická aplikace potvrzuje nebo vyvrací identitu prověřované osoby.

Identifikace je typická pro policejné soudní aplikace, verifikace pak pro bezpečnostně komerční účely. Každé porovnávání má dvě oddělené funkce, navzájem duální:

1. Potvrdit, že oprávněná osoba je tou, za kterou se vydává
2. Dokázat, že neoprávněná osoba není tou, za kterou se vydává

1.3 Spolehlivost biometrických metod

Při aplikaci konkrétních biometrických metod je rozhodující jejich spolehlivost. Tento faktor je dominantní pro volbu jejich použití v konkrétní oblasti. Spolehlivost je deklarována především správností rozhodnutí potvrzení či vyloučení shody. Cílem je dosažení co

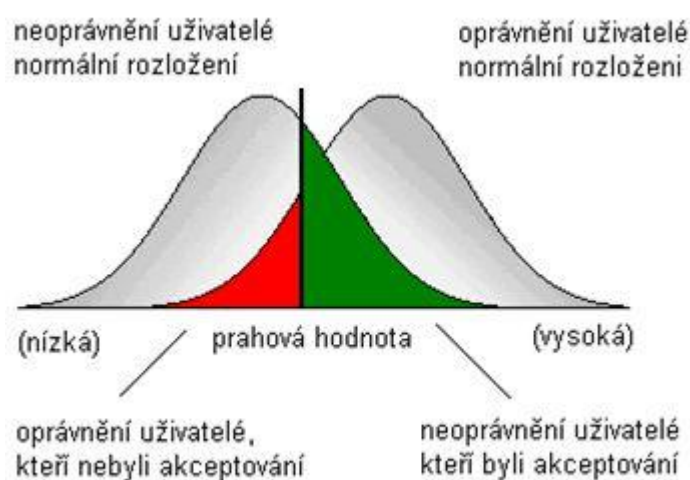
nejpřesnějšího ztotožnění testované osoby s příslušným vzorem či vyloučení v případě neshody.

Dalšími relevantními prvky procesu porovnávání jsou rychlost zpracování vstupních informací, porovnávání dat s databází, počet verifikací/identifikací za konkrétní čas. Z hlediska kvality metody rozlišujeme dvě hlavní složky v hodnocení aplikovaných metod. Pravděpodobnost chybného odmítnutí (False Rejection Rate, FRR) a pravděpodobnost chybného přijetí (False Acceptation Rate, FAR).

Hodnoty těchto pravděpodobností nelze předběžně vypočítat užitím vzorců. Jde o statistické hodnoty získané záznamy v dlouhodobém horizontu.

I při totožnosti vstupních dat s daty v databázi se oba prvky (otisky, šablon) liší na detailní úrovni, rozdíly jsou způsobeny faktory působícími na snímání a zpracování obrazu. Nejedná se tedy nikdy o stoprocentní shodnost. Hodnotíme míru ztotožnění, skóre.

Jednotlivá zařízení lze graficky popsat pomocí histogramu. Vyjadřujeme závislost četnosti míry ztotožnění osob podrobených verifikaci nebo identifikaci pro dvě skupiny osob, kterým odpovídají dvě křivky rozdělení [1].



Obrázek 1: Rozložení oprávněných a neoprávněných uživatelů z hlediska nastavení prahové hodnoty.

Křivka vpravo charakterizuje skupinu kompetentních uživatelů podstupujících verifikační proces. Křivka na levé straně znázorňuje neoprávněné uživatele pokoušející se proniknout biometrickou aplikací.

Práh citlivosti, vyznačen černou úsečkou je rozhodující faktor pro potvrzení shody. Systém akceptuje subjekt prokazující se vyšší shodou porovnání, než je stanoven práh. Neoprávnění uživatelé překračující tento práh jsou akceptováni taktéž.

Oblast vyznačena červenou barvou zahrnuje oprávněné uživatele, kteří byli odmítnuti pro nízkou míru ztotožnění. Zelená část grafu zobrazuje neoprávněné uživatele, kteří byli chybně verifikováni jako autorizovaní. Šedá část pod křivkou vpravo představuje oprávněné uživatele, kteří byli pozitivně identifikováni. Šedá oblast vlevo pak neautorizované uživatele, kteří byli zamítnuti.

1.4 Pravděpodobnost chybného odmítnutí FRR

Jedná se o odmítnutí osoby, která je oprávněným uživatelem systému. Nedostatečnou přesností přístroje je však označena za nezpůsobilou (na grafu zeleně). Vypočet je realizován následujícími vztahy:

$$FRR = \frac{N_{FR}}{N_{EIA}} \quad FRR = \frac{N_{FR}}{N_{EVA}} \quad (1)$$

N_{FR} – Number of False Rejection (počet chybných odmítnutí)

N_{EIA} – Number of Enrolle Identification Attemps (počet pokusů oprávněných osob o identifikaci)

N_{EVA} – Number of Enrolle Verification Attemps (počet pokusů oprávněných osob o verifikaci, ověření platnosti identity)

Z hlediska komerčních aplikací vyžaduje tento prvek opakovaný pokus verifikace, což zapříčiňuje nespokojenost uživatele aplikace. Z komerčního stanoviska pak nespokojenost zákazníka. Velký počet falešně odmítnutých oprávněných uživatelů je nežádoucí, nejedná se však o kritický problém. Vyšší hodnota FRR deklaruje přísnost testu.

V soudně-policejních systémech jde o značný nedostatek. Při nepotvrzení shody totožnosti pachatele dojde k závažnému narušení vyšetřování. Pachatel není zadržen na základě nesprávného rozhodnutí aplikace.

1.5 Pravděpodobnost chybného přijetí FAR

Jedná se o ztotožnění nesprávné osoby, tedy označení nesprávného jedince za zcela jinou osobu.

V komerční oblasti působí tento fakt bezpečnostní komplikaci. Dochází k ilegálnímu zpřístupnění objektů, zcizení majetku atd.

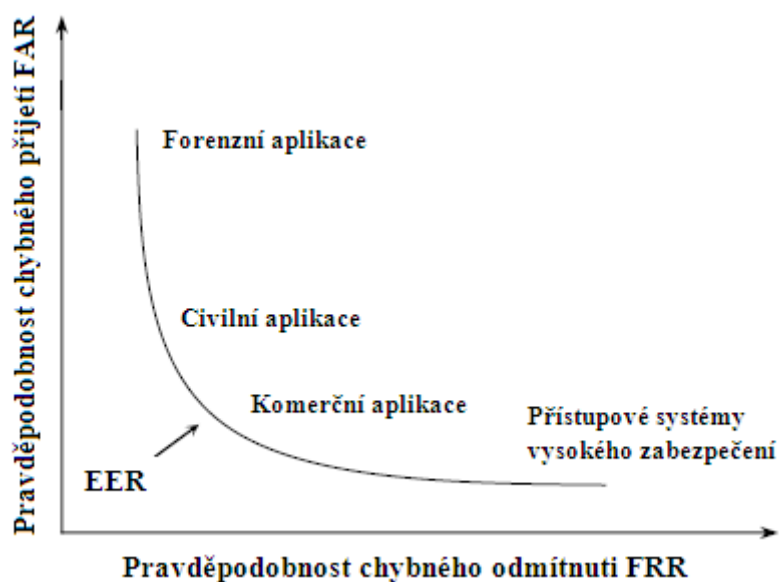
V aplikacích soudně-policejního rázu způsobuje označení nesprávného jedince za osobu zcela jinou. Chybné označení pachatele - je označena osoba, která nemá s danou záležitostí nic společného a vyšetřování je mařeno.

$$FAR = \frac{N_{FA}}{N_{IIA}} \quad FRR = \frac{N_{FA}}{N_{IVA}} \quad (2)$$

N_{FA} – Number of False Acceptation (počet chybných přijetí)

N_{IIA} – Number of Impostor Identification Attempts (počet pokusů neoprávněných osob o identifikaci)

N_{IVA} – Number of Impostor Verification Attempts (počet pokusů neoprávněných osob o verifikaci)



Obrázek 2: Křivka ROC popisující kvalitu biometrického zařízení.

Ideální biometrický přístroj, pracuje zcela bez chybných potvrzení či odmítnutí. V praxi přístroj s těmito parametry zatím neexistuje.

Popis jednotlivých zařízení je realizován křivkou ROC, lze podle ní objektivněji hodnotit kvalitu biometrických aplikací a slouží ke vzájemnému porovnávání zařízení. Křivka popisuje vzájemný vztah pravděpodobností FRR a FAR. Na grafu je význačný bod EER (Equal Error Rate), který definuje pozici rovnosti hodnot FRR i FAR a jeho význam je primárně orientační. Z fyzikálního hlediska nemá tento bod význam.

Policejně-soudní aplikace kladou rozhodující důraz na rozpoznání osoby, která již je evidována v databázi. Je zde nutnost velmi nízké pravděpodobnosti FRR a tím nalezení shody. Hodnota FAR má až sekundární význam. Chyba zapříčiněná hodnotou FAR je eliminována lidským faktorem.

Systémy bezpečnostní jsou zaměřeny na verifikaci vyžadující nízkou hodnotu falešného přijetí FAR. Primární funkcí je zamezení pozitivní verifikace neautorizované osoby. Vyšší hodnota FRR je tolerována a řešena opakovaným pokusem snímání. Aplikace komerčního rázu jsou charakterizovány relativně nízkými hodnotami FAR i FAR. Náleží pomyslnému čtverci o úhlopříčce dané body EER a počátkem souřadnicového systému.

Křivka ROC je typická pro jednotlivé aplikační systémy a realizuje základní charakteristiky přístroje. Z grafu je jednoznačný fakt opačné pozice pro komerční aplikace a aplikace policejně-soudního rázu. Pravděpodobnosti těchto hodnot udávány v desetínách resp. setínách procent se například projeví jako chyby řádově v procentech resp. desetínách procent [2], [3].

2 Rozdělení metod zpracování otisku prstů

Algoritmy byly rozděleny do tří skupin:

- Metody založené na detekci markantů, značek a linií
- Algoritmy založené na globálním porovnávání obrazu
- Metody založené na určení vzájemné informace

3 Metody založené na detekci markantů, značek a linií

Tyto metody rozeznávají význačné rysy kresby otisku prstu. Dva markantní symboly, (singulární body) jsou daktyloskopický vrchol (střed, jádro) otisku a bod delta. Vrchol představuje nejvýše položené místo souřadnicového systému tvořeného vrstevnicemi. Vrstevnice představují jednotlivé papilární linie.

Bod delta znázorňuje bod, ze kterého se linie rozcházejí do tří směrů. Vrchol pomyslného trojúhelníku. Na základě těchto singulárních bodů jsou otisky klasifikovány do několika typů. Mezi typy užívané v československé praxi patřil oblouk, otevřená smyčka vlevo, otevřená smyčka vpravo, uzavřená smyčka vlevo a uzavřená smyčka vpravo. V celosvětové pak tři hlavní typy, oblouk (arch), smyčka (loop) a vícedeltový vzor/vír (whorl).

3.1 Značky

Značky (markanty) představují základ úspěšného rozlišení jedinečných obrazů. Liší se geometrickým tvarem, četností výskytu a rozmístěním. Jednotlivé značky mají individuální identifikační hodnotu. Vyjadřujeme vztahem:

$$I = -\log n \quad (3)$$

I je identifikační hodnota daktyloskopického znaku (značky), n je četnost výskytu znaků na 1mm^2

Následující vztah charakterizuje stanovení minimálního počtu znaků potřebného k určení shody porovnávaných otisků.

$$P = -\log \frac{1}{N} = \log N \quad (4)$$

P je součet identifikačních hodnot jednotlivých charakteristických znaků ve sledovaném otisku, N je počet otisků všech žijících osob. O definitivní shodě hovoříme při nalezení 10 totožných znaků.

Daktyloskopické znaky	Identifikační hodnota
Trojité vidlice	3,7
Křížení	3,1
Můstek	2,3
Zdvojení	2,6
Posunutí	2,4
Háček	2,1
Očko	2,4
Krátká linie	2,0
Tečka	1,7
Dvojitá vidlice	1,3
Začátek, ukončení	1,0

Tabulka 1: Tabulka zobrazující identifikační hodnoty jednotlivých daktyloskopických znaků.

3.2 Počítačové zpracování otisku prstu

Zahrnuje tři technologické fáze.

Předzpracování otisku prstu

Data získaná snímacím systémem jsou ovlivněna působením vnějších činitelů představujících faktory, které zhoršují získaný obraz. Rozhoduje kvalita biometrického zařízení, anatomicko-fyziologická podstata otisku i materiál, na němž byl zanechán vzorek. Okolní prostředí působí fyzikálními, chemickými a atmosférickými vlivy. Z hlediska fyziologického stavu přisuzujeme velkou váhu psychologickému působení na osobu. Ve stresové situaci je u dotyčného zvýšena sekrece potních žláz. Tyto faktory dávají otisku nové charakteristické rysy.

Smyslem počítačového předzpracování je zvýraznění kresby papilárních linií a odstranění šumu. Pod pojmem šum rozumíme nekvalitní, nečitelné oblasti, falešné markanty a jizvy. Cílem modifikace je zvýšit kontrast v plastické kresbě otisku.

Obraz otisku je rozdělen na několik malých pravidelných lokalit, v nichž požadujeme zvýraznění papilární linie. U linie určujeme směr. Aplikací na každý pixel provedeme prostorovou konvoluci. Adaptivní filtr zvýrazňuje body ležící ve směru přímky a potlačuje body s jinou orientací. Po odstranění šumu jsou linie binarizací konvertovány do jediného barevného odstínu. Primárních 256 variant šedi je převedeno do dvou binárních hodnot. Ty reprezentují jednotnou papilární linii a prázdné pozadí kresby.

Skeletizace je poslední fází předzpracování obrazu. Papilární linie, v detailu tvořeny dvěma čarami a výplní, jsou transformovány do tenkých linek o tloušťce právě jeden pixel. Fáze předzpracování obrazu klade vysoké nároky na výpočetní techniku.

Nalezení a extrakce značek (markantů)

Markanty (značky) představují stěžejní prvky v procesu porovnávání otisku. Jejich označení je realizováno na skeletizované kresbě papilárních linií. Jejich množina pak představuje biometrický vzor (šablonu) daktyloskopického otisku. Softwarové systémy analyzují převážně na základě diagnostiky nejjednodušších daktyloskopických markantů či znaků. Těmi jsou začátek a ukončení, představující krajní body papilární linie a jednoduchou bifurkaci (dvojitá vidlice, rozdvojení).

Výpočetní postupy musí eliminovat všechny znaky neodpovídající dvěma uvedeným. To je realizováno pomocí statisticky ověřených parametrů, které popisují daný typ. Pro každý nalezený daktyloskopický znak se deklaruje typ, pozice v souřadném systému os x , y a jeho orientace. Tyto znaky realizují šablonu následně importovanou do databáze. Šablona obsahuje 10 až 100 markantních bodů. Standardní šablona je realizována ve velikosti okolo 1024 bytů.

V procesu ztotožňování dochází k porovnávání šablony vstupního otisku se šablonami z databáze. Porovnávají se jednotlivé znaky a znaky nacházející se v bezprostředním okolí. Ty jsou popisovány pomocí souřadnice a vektoru. Komparace je ukončena po porovnání všech možných kombinací znaků nebo tehdy, je-li dosaženo počtu shodných znaků a je usouzena shoda, či neshoda. Tento limitní počet shodných prvků je charakteristický pro danou softwarovou aplikaci.

Při realizaci ztotožnění obrazu a vzoru je stěžejní anulovat rozdíl ve vzájemné pozici zapříčiněný rotací, posunutím či změnou měřítka způsobenou elasticitou kůže. Tento problém je řešen transformací pomocí lineární konformní matice.

$$\begin{bmatrix} \zeta_i \\ \eta_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \beta_3 & \beta_4 \\ -\beta_4 & \beta_3 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} \quad (5)$$

Transformujeme i -tý bod dané souřadnice systému x, y do souřadnice jiné. Výpočet probíhá v iteracích. V každé následné dojde k přidání dalšího bodu a při dosažení limitního počtu shodných bodů je provedena korelace. Korelační proces je realizován pomocí koeficientů β . Maximum je nalezeno posunutím v souřadném systému x, y .

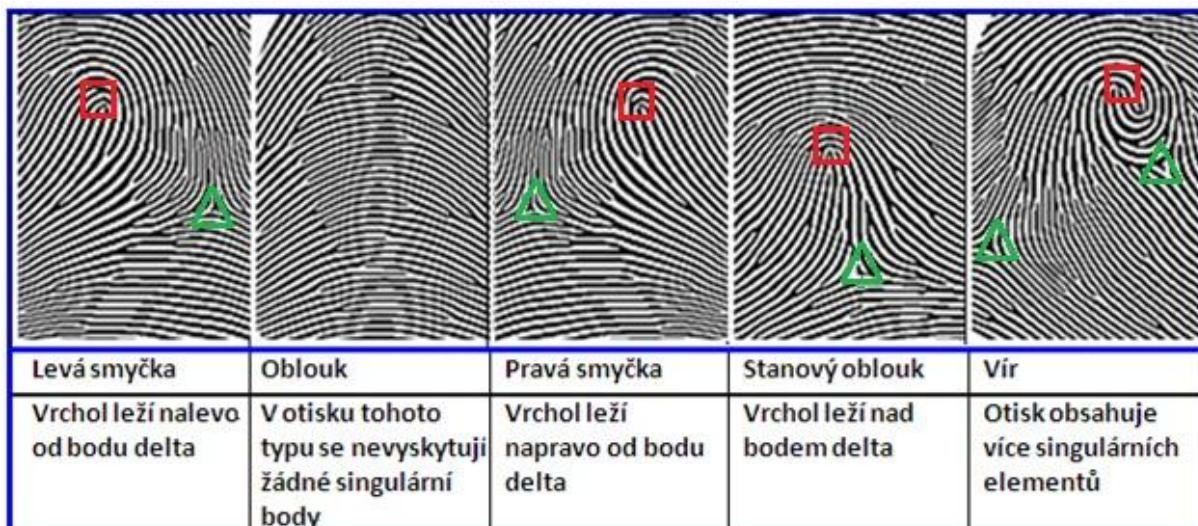
Některé systémy využívají k transformaci singulární body, vrchol otisku a identifikační znak delta. Otisk je orientován okolo těchto bodů. Ztotožňování je realizováno také pomocí transformačních matic. Cílem je dosažení identifikační shody co nejvíce markantů (značek).

Porovnáním dvou obrazů je dosaženo hodnoty skóre porovnání (match point). Standardně nabývá hodnoty od 0 do 1. Vyšší hodnota udává větší pravděpodobnost jistoty porovnání, je-li překročena předem stanovená prahová hodnota, hovoříme o shodě. Je-li hodnota skóre nižší, totožnost vylučujeme. Prahová hodnota je stanovena uživatelem předem – „front-end-adjustment“ či zpětně – „back-end-adjustment“.

3.3 Různé varianty a přístupy k počítačovému zpracování otisku prstů

Jednotlivé aplikace se liší v teoretických principech, které jsou prezentovány na softwarové úrovni.

V některých aplikacích není realizována binarizace a skeletizace z důvodu časové náročnosti. Markanty jsou vyhledávány v původním obraze o 256 odstínech šedi. Dále se konkrétní metody liší v počtu etap porovnávání bodů - iterací. Jestliže není první iterace sousedních bodů pozitivní, k následující iteraci již nedojde. V tomto případě hovoříme o dvouetapovém porovnávání. Aplikace bázované na lokalizaci dvou singulárních bodů, vrcholu a delty, nabízí odlišné možnosti.



Obrázek 3: Klasifikace otisků prstů horních končetin do pěti skupin založena na dělení dle Henryho Fauldse. Na základě tohoto dělení je možno rozdělit otisky na obloukové – typ oblouk a stanový oblouk a neobloukové – zbylé tři typy.

3.3.1 Metoda založena na detekci singulárních bodů

Detekce singulárních bodů je důležitým krokem v analýze otisků prstů. Presentované metody mají rozdílnou úspěšnost v závislosti na rozložení a počtu těchto singulárních bodů v otisku.

Lokace singulárních bodů není triviální úlohou. Závisí na kvalitě získaného obrazu, jeho stavu (vlhký, suchý) a třídě (oblouková, neoblouková). Oblouková třída je nejčastější a představuje otisky s liniemi tvořícími charakteristický oblouk (Obrázek 3). Je mnohem jednodušší lokalizovat singulární body na neobloukových otiscích. Linie prokazují větší zakřivení a nízkou spojitost okolo hledaných bodů. Naopak obloukový, speciálně rovný (Obrázek 3, druhý otisk zleva), obsahuje linie většinou přes celý obraz. Příčinou tohoto faktu mnoho algoritmů pracuje lépe na neobloukových.

Tyto systematické metody jsou zaměřeny na lokaci singulárních bodů ve všech typech otisků prstů. Metoda identifikuje singulární body z topologického profilu, který nejzásadněji charakterizuje strukturu vstupního obrazu. Pro neobloukové jsou body hledány mezi průsečíkovými body segmentů směrových map. Pro obloukové jsou nejprve nalezeny symetrické linie a podél linie následně lokalizovány singulární body. Singulární body se vyskytují v typu stanový oblouk, v typu oblouk se standardně nevyskytují.

3.3.2 Metoda Poincare index

Tato metoda je založena na sumaci diferencí směrů v okolí zkoumaného prvku o rozměru 3x3 a okolí je spočítáno v celém obrazu.

$$P(i, j) = \sum_{k=0..7} \Delta\Theta(\Theta_k, \Theta_{(k+1) \bmod 8}), \quad (6)$$

kde P je Poincare index mapa, (i, j) je pozice v obrazu, $\Theta_k, k=0..7$ jsou orientace bodů (i, j) 8 pixelového sousedství, $\Delta\Theta(\Theta_k, \Theta_{(k+1)})$ je spočítáno jako

$$\Delta\Theta(\Theta_k, \Theta_{k+1}) = \begin{cases} \Theta_k - \Theta_{k+1}, & \text{if } |\Theta_k - \Theta_{k+1}| \leq \pi/2 \\ \Theta_k - \Theta_{k+1} + \pi, & \text{if } |\Theta_k - \Theta_{k+1}| < \pi/2 \\ \Theta_k - \Theta_{k+1} - \pi, & \text{if } |\Theta_k - \Theta_{k+1}| > \pi/2 \end{cases} \quad (7)$$

Pokud je index 180° jedná se o vrchol, pokud je -180° pak o bod delta. Tato metoda detekuje velké množství singulárních bodů, ale taky body falešné v důsledku šumu.

3.3.3 Metoda oblastního rozdělení

Singulární body jsou detekovány v místech prudké změny gradientů. Mapy gradientů jsou dále rozděleny do menších oblastí a průnikové body, při vzájemném porovnávání těchto oblastí, jsou označeny za singulární.

$$X(i, j) = \frac{DY^2_{ij} - DX^2_{ij}}{DY^2_{ij} + DX^2_{ij}} \quad (8)$$

$$Y(i, j) = \frac{2DY^2_{ij} - DX^2_{ij}}{DY^2_{ij} + DX^2_{ij}} \quad (9)$$

Kde X a Y jsou přepisy linií ve směrech x a y podle příslušnosti. DX a DY jsou gradienty obrazu na pozici (i, j) v x a y směru. Tento algoritmus je velice úspěšný v obrazech obloukového typu, ale vlivem rozdílného prostředí v neobloukových obrazech nefunguje tento způsob uspokojivě.

3.3.4 Komplexní filtr

Algoritmus navržen jako komplex symetrických filtrů je použit k detekci singulárních bodů. Vrchol a bod delta mají konkrétní vzory a filtry tyto vzory porovnávají.

Pro vrchol:

$$h_1(x, y) = (x + iy)g(x, y) \quad (10)$$

Pro bod delta:

$$h_1(x, y) = (x - iy)g(x, y) \quad (11)$$

kde $g(x, y)$ je Gaussova funkce definována jako:

$$g(x, y) = \exp\left\{-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (12)$$

Výsledky

Pro metodu komplexního filtru bylo lokalizováno 80,84% singulárních bodů [2].

3.4 Popis metody založené na orientaci linií

Tato metoda apeluje na značky (markanty). Ty jsou forezními odborníky považovány za stabilní prvky a jsou ve velké míře užívány komerčními aplikacemi. Pro automatické aplikování extrakce a porovnání užívají algoritmy dvou typů značek, zakončení (terminace) a vidlice (bifurkace, rozdvojení). Stěžejní princip metody spočívá v přístupu k obrazu jako k celku s definovanou strukturou. Dále v určení směru vedení linie, kdy je obraz rozdělen na několik menších a každý z nich je následně nezávisle zpracován. Lokace papilárních linií je prováděna pomocí píku, dle úrovně šedi. Linie jsou ztenčeny a podstoupeny adaptivnímu morfologickému filtru. Následně je provedeno ztenčení a zvýraznění linií. Proces je rozdělen do několika etap.

3.4.1 Odstranění šumu

Odstranění šumu typu sůl a pepř je realizováno mediánovým filtrem. Ten nahradí výstupní hodnotu mediánovou hodnotou sousedních bodů z okolí. Tento filtr je méně šetrný k extrémním hodnotám, je však aplikován z důvodu zachování dostačující, relativně vysoké, ostrosti obrazu.

3.4.2 Segmentace popředí

Segmentace popředí spočívá v rozdělení obrazu na linii a pozadí. Zbytek je irelevantní, nenese informaci použitelnou k určení ztotožnění. Obraz je rozdělen na menší části a vypočítán stupeň šedi pro jednotlivé bloky. Pokud je rozdíl od daného standardu menší než globální práh, je blok považován za pozadí a ostatní jako důležité prvky.

$$VAR(I) = \frac{1}{N^2} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} (I(i, j) - M(I))^2 \quad (13)$$

3.4.3 Normalizace

Kvalita linií může být narušena jizvami, vlhkostí, špínou atd. Zlepšení rozdílu mezi pozadím a linií je uskutečněno následujícím postupem. Necht' je stupeň šedi I , matice $N \times N$, pro jednotlivé prvky $I(i, j)$, kde představuje konkrétní hodnoty pro i -tý řáde, j -tý sloupec.

Normalizace nastavuje pro jednotlivé prvky ležící v daném intervalu stupňů šedi normalizovanou hodnotu. Cílem je zamezit rozdílům úrovně stupně šedi podél linií.

Určení dominantního směru realizuje rozdělení normalizované matice do bloků o velikosti $w \times w$ (8x8), následně určení gradientu pro jednotlivé pixely a stanovení lokálního gradientu užitím následujícího vztahu:

$$M(I) = \frac{1}{N^2} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} I(i, j) \quad (14)$$

3.4.4 Kvantizace

Všechny směry jsou rozděleny a přiděleny do osmi standardizovaných orientací v rozsahu 90 až -67,5 stupňů.

3.4.5 Segmentace brázdy

Metoda je založena na souzení linie jako vrcholu v projekci. Užívá masky a procesu vytvoření binárního obrazu ze stupňů šedi otisku. Osm masek odpovídá osmi hlavním směrům. Algoritmus posuneme jeden pixel okolo osy X , množství pixelů posunutých podél Y odpovídá $x \cdot \tan\theta$, kde θ je příslušná orientace z osmi možných. Pro každý blok je stanoven dominantní směr. Velikost masky odpovídá velikosti bloku. Proces binarizace je realizován tak, že pixelu s minimální hodnotou je přiřazena hodnota 1, ostatní jsou konvertovány na nulu. Po binarizaci zůstanou pouze pixely odpovídající linii.

Po nalezení linií je aplikován vyhlazovací algoritmus. Jsou použity stejné masky jako při předchozím úkonu. Pokud počet pixelů s přiřazenou binární hodnotou jedna je v linii větší než 25 procent celkového počtu pixelů v brázdě, obdrží všechny pixely hodnotu jedna. Pokud je jejich procentuální podíl menší než 25 procent, je pro celou linii deklarována hodnota nula.

3.4.6 Ztenčení a vyhlazení

Ztenčení je morfologická operace zajišťující pixelům z popředí konstantní rozměr jeden pixel. Standardní ztenčovací algoritmus je založen na dvou iteracích. Tento proces způsobuje vznik špic v obraze, ty jsou odstraněny čistěním založeným na orientaci.

3.4.7 Získání znaků (markantů)

Nejpoužívanější je metoda tzv. CN crossing number. Užívá skeletizovaného obrazu, kde jsou linie orientovány do osmi definovaných směrů. Znaky jsou nalezeny skenováním okolí linie oknem o rozměru 3x3. Hodnota CN je kalkulována jako polovina hodnoty součtu

rozdílů v páru přilehlých pixelů v osmi sousedstvích. Dle hodnoty je pak klasifikován znak jako konec linie (terminace, ukončení), vidlička (rozdvojení, bifurkace), nebo prvek neodpovídající značce (drobnosti, markantu). Například CN o velikosti jedna přísluší konci brázdy, CN o velikosti 3 pak odpovídá vidličce.

3.4.8 Zpracování značek

Nepravé značky mohou být prezentovány v obraze z důvodu šumu či artefaktů v důsledku ztenčování. Zpracování pomocí hraničního efektu je realizováno tak, že pokud má znak větší vzdálenost od hranice popředí než je daný práh, je odstraněn.

Parametry algoritmizace

- Velikost bloku 8x8 pixelů pro obraz o velikosti 256x256 pixelů.
- Počet kvantifikovaných směrů v poli je 8.
- Masky pro segmentaci a vyhlazující proces mají rozměr 8x8 pixelů.
- Prahová hodnota rozdíl součtu při rozhodování o popředí a pozadí v obrazu o 256 stupních šedi je 200.
- Prahová hodnota při zpracování drobností je 5 pixelů.

3.4.9 Experimentální výsledky

Parametry výpočtu při tomto vyhodnocení byly nastaveny empiricky na testovací skupině obrazů. Výsledky byly získány na databázi 350 otisků od 88 subjektů (63 M, 25 F) ve věku 20-30 let. Užitím senzoru Hamster optical fingerprintig scanner.

Rezultáty posouzeny z hlediska GAR (míra správně rozpoznaných), FAR a FRR jsou zobrazeny v následujících tabulkách [4], [5].

Míra podobnosti [%]	Míra přijetí [%]	FRR [%]	FAR [%]
25	91,66	8,34	0
20	93,18	6,82	0
15	94,12	5,88	0

Tabulka 2: Tabulka experimentálních výsledků, míra podobnosti představuje procentuální shodnost, kdy 100% znamená absolutní shodu porovnávaných otisků

4 Algoritmy založené na globálním porovnávání obrazu

Moderní výpočetní algoritmy pracují na bázi globálního porovnávání obrazu. Tyto algoritmy se nezabývají jednotlivými základními markanty, přistupují k obrazu jako k celku. Uplatňují kalkulace s použitím technik neuronových sítí, fuzzy logiky, diskrétní matematiky a jiných.

Na systém získávající obraz o vysoké kvalitě je možné aplikovat metody báзованé na odlišných principech. Lze vynechat binarizaci, skeletizaci a další operace, v jejichž důsledku vzniká výrazné množství falešných prvků. Vysoká kvalita snímku pořízeného ultrazvukovou metodou umožňuje zpracování obrazu nepodstoupeného těmto procesům. Tradiční metody založené na korelaci počítají rotační úhel mezi templátem a snímaným otiskem. Templát a obraz jsou porovnávány a je získán stupeň similarity.

Problém je, pokud není známo vzájemné otočení obrazů, pak musí být spočítána korelace pro všechny možné rotace, což je výpočetně náročné.

4.1 Metoda užití fázové korelace a Fourier-Melinovy transformace

Tento výpočetní algoritmus zarovává dva obrazy pomocí Fourier-Mellinovy transformace, dále jen FMT, a následné porovnání obrazů užitím fázové korelace. Tato metoda je účinnější vůči šumu a zajišťuje ostřejší vrcholy.

Výhody jsou vysoká přesnost, robustnost vůči šumu a vysoká efektivita. Korelace zajišťuje vysokou popisnou hodnotu, efektivitu a účinné odstranění šumu. FMT pak potlačení rotace, zkreslení velikosti, a translaci.

4.1.1 Fázová korelace

Dva obrazy $M \times N$, $f(x,y)$ a $g(x,y)$. $F(u,v)$ a $G(u,v)$ jsou 2D diskrétní Fourierovy transformace těchto dvou obrazů, když

$$F(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi(ux/M + vy/N)} \quad (15)$$

$$G(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} g(x, y) e^{-j2\pi(ux/M + vy/N)} \quad (16)$$

$$\text{Corr}(f, g) = f(x, y) \circ g(x, y) = \frac{1}{M} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f^*(x, y) g(x+m, y+n) \quad (17)$$

kde \circ představuje korelaci a $*$ komplexní konjugaci.

4.1.2 Korelace s pásmovým omezením

Vysoká frekvence zdůrazňuje detailní informace, je však narušována elipsovitou frekvencí papilárních linií. K jejich eliminaci se užívá algoritmus pásmové zádrže, ta limituje oblast frekvenčního spektra. Oblasti frekvenčního pásma jsou dány $k_1 = -K_1 \dots K_1$ a $k_2 = -K_2 \dots K_2$, kde $0 \leq k_1 \leq M$ a $0 \leq k_2 \leq N$. Jejich hodnoty jsou detekovány automaticky.

Velikost frekvenčního spektra je dána jako $L_1 = 2K_1 + 1$ a $L_2 = 2K_2 + 1$. Pásmová korelace zajišťuje ostřejší korelaci vrcholů než čistě fázová a je také účinnější vůči šumu.

4.1.3 Fourier-Mellinova transformace

FMT uvažuje dva obrazy $f_1(x, y)$ a $f_2(x, y)$ s translačním přiřazením (x_0, y_0)

$$f_2(x, y) = f_1(x - x_0, y - y_0) \quad (18)$$

Fourierova transformace $f_1(x, y)$ a $f_2(x, y)$ je $F_1(u, v)$ a $F_2(u, v)$

$$F_2(u, v) = F_1(u, v) e^{-j(u x_0 + v y_0)} \quad (19)$$

Spočítáním korelace dvou obrazů $\text{Corr}(f_1, f_2)$ užitím inverzní Fourierovy transformace získáme impulsy (x_0, y_0) v prostoru (x, y) . Pozice maxim $\text{Corr}(f_1, f_2)$

korespondují s translací. Pokud pro dané obrazy neexistuje taková translace, obdržíme neregulérní obraz bez určujících vrcholů. Algoritmy porovnávají vstupní obraz s templátovým a vrací hodnotu stupně shodnosti a binární rozhodnutí o shodě či neshodě dvou otisků.

Cílem FMT je definovat rotační úhel a posunutí vstupního obrazu od templátového (registrovaného v databázi). Proces prezentuje dva úhly, a následně zpětně rozhodne, který je pravý. Porovnávací algoritmus zahrnuje tři kroky.

- Získání tří možných uhlů rotace pomocí FMT
- Zpětně vazebné porovnání vstupního obrazu s obrazem z databáze
- Porovnání stejné oblasti metodou fázové korelace

V posledním kroku je spočítána korelace dvou obrazů a získána hodnota maximální korelace. Pokud je vyšší než práh, jsou otisky považovány za totožné [6], [7].

5 Metody založené na určení vzájemné informace

Vzájemná informace je užívána pro zjištění míry nezávislosti. Pokud jsou dva jevy nezávislé, je jejich vzájemná informace nulová. V tomto případě je rozhodující opak, tedy jejich závislost. Tedy nalezení maxima vzájemné informace.

Sesouhlasení spočívá v hledání optimálních parametrů β vhodné geometrické transformace T_β mezi obrazem A a obrazem B . Deformace způsobeny elasticitou kůže jsou odstraněny pomocí sesouhlasení po částech. Užívá se vlastnosti afinních transformací. Zachování proporcionality pro korigování deformací v obrazu otisku prstu a paralelismu pro respektování směru papilárních linií.

5.1 Kritérium sesouhlasení

T_β je geometrická transformace z A do B a β představuje vektor transformačních parametrů. Oblast O_A je transformována transformací T_β do B a výpočet vzájemné informace $I=I(O_A, O_B)$ je realizován z hodnot šedotónového obrazu v těchto oblastech. Vzájemná informace je vyjádřena závislostí

$$I = I(O_A, T_\beta(O_A)) \quad (20)$$

Cílem je najít optimální transformační parametry β pro danou geometrickou transformaci T_β , kdy je hodnota vzájemné informace pro obraz a vzor maximální.

$$\beta_{opt} = \arg \max_{\beta} I(\beta) \quad (21)$$

Z této hodnoty lze usuzovat, na kolik jsou si podobné.

$$I_{max} = I(\beta_{opt}) \quad (22)$$

5.2 Popis metody

V první fázi se v obrazech s nižším rozlišením hledá přibližná pozice sesouhlasení. Jedná se především o nalezení hlavního maxima, aby při dalších iteracích nedošlo k zachycení

falešného lokálního maxima. Vzájemná informace je realizována pro $N_x \times N_y$ parametrů vzájemného posuvu Δ_x, Δ_y oblasti O_a, O_b a $N\varphi$, daných uhlů φ natočení. Následně je proveden odhad parametrů β .

Ve fázi druhé je určen konvexní obal ohraničující část výskytu vzoru A, a konvexní obal ohraničující část, kde se vyskytuje otisk v obrazu B. Společná oblast je dána jako průnik částí vzoru a obrazu ohraničeného těmito obaly, které jsou rozděleny na trojúhelníkové oblasti pro vzor O_a a obraz O_b k nalezení přibližných transformačních parametrů. Dále jsou pomocí iterací hledány optimální pozice. Oba trojúhelníky jsou adaptovány pomocí šesti vektorů. Po nalezení optimální polohy pro dva vrcholy trojúhelníku je optimalizace zjednodušena a stačí dohledat pouze třetí vrchol.

V případě, že se výsledná poloha nalezeného maxima liší od původní ve vyšší míře než je daná tolerance, je indikováno nalezení falešného maxima [8].

6 Porovnání algoritmů na rozpoznání osoby z hlediska úspěšnosti

Hodnocení algoritmů z hlediska úspěšnosti je problematické, vzhledem k tomu, že algoritmy jsou testovány na různých databázích o rozdílné kvalitě sejmutých otisků. Jejich následné zpracování závisí na mnoha faktorech, již samotné sejmutí otisku je značně ovlivněno typem snímacího zařízení. V jednotlivých publikacích je pak úspěšnost hodnocena dle rozlišných kritérií, které je problematické vzájemně porovnávat. Kapitola je zaměřena především na experimentálními výsledky hodnoceny parametry FAR a FRR. Tyto parametry byly blíže popsány v předešlých kapitolách.

6.1 FRR

Pravděpodobnost chybného přijetí. Jedná se o ztotožnění nesprávné osoby. Označení nesprávného jedince za zcela jinou osobu.

$$FRR = \frac{N_{FR}}{N_{EIA}} \quad (23)$$

N_{FR} – Number of False Rejection (počet chybných odmítnutí)

N_{EIA} – Number of Enrolle Identification Attempts (počet pokusů oprávněných osob o identifikaci)

6.2 FAR

Pravděpodobnost chybného odmítnutí. Jedná se o odmítnutí osoby, která je oprávněným uživatelem systému.

$$FAR = \frac{N_{FA}}{N_{IIA}} \quad (24)$$

N_{FA} – Number of False Acceptation (počet chybných přijetí)

N_{IIA} – Number of Impostor Identification Attempts (počet pokusů neoprávněných osob o identifikaci)

6.3 GAR

Míra správně rozpoznaných představuje počet správně identifikovaných jedinců z celkového počtu provedených identifikací [9].

$$GAR = 100 - FRR \quad (25)$$

6.4 Algoritmy založené na porovnávání markantů, značek a linií

Výsledky uvedeny v následující tabulce byly získány na databázi 350 otisků od 88 subjektů (63M, 25 F) ve věku 20-30 let. Užitím senzoru Hamster optical fingerprintig scanner. Jsou hodnoceny z hlediska parametrů GAR (míra správně rozpoznaných), FAR a FRR, hodnocení proběhlo ve třech testech [10].

	GAR [%]	FRR [%]	FAR [%]
Test č. 1	91,66	8,34	0
Test č. 2	93,18	6,82	0
Test č. 3	94,12	5,88	0

Tabulka 3: Experimentální výsledky metody založené na hledání značek ve ztenčeném binarizovaném obrazu. Tato metoda je blíže popsána v předchozích kapitolách.

	Míra přijetí GAR [%]	FRR [%]	FAR [%]
Test č. 1	95	5	0
Test č. 2	96,75	3,25	0,001
Test č. 3	98,3	1,7	0,0001

Tabulka 4: Experimentální výsledků metody porovnávání linií podle Úz a spol. Testování na databázi FCV Maltoni, DB1 a DB3 [11].

Velikost obrazu [%]	Míra přijetí [%]	FRR [%]	FAR [%]
90	99,01	1,09	1,8448
60	97,637	2,363	2,675
10	54,364	45,636	15,239

Tabulka 5: Experimentální výsledky metody založené na extrakci markantů podle E. Y. Yea na databázi FVC 2002 Maltoni a spol. v závislosti na velikosti obrazu identifikovaného vzorku [12].

Toto zhodnocení poukazuje na rozlišnost úspěšnosti porovnání v závislosti na velikosti obrazu otisku. Je zřejmé, že při zmenšení velikosti obrazu úspěšnost klesá. Při zmenšení na 10% původní velikosti je rozdíl oproti porovnávání při původní velikosti z hlediska chybného zamítnutí (FRR) větší než 40%. Z toho vyplývá značná závislost na velikosti zkoumaného obrazu.

6.5 Globální porovnávání obrazu

Principy těchto metod byly blíže popsány v předchozích kapitolách, obecně jsou zaměřeny na práci s obrazem jako celkem. Následující tabulky představují hodnocení z hlediska uvedených parametrů a několika další variabilit.

Databáze FCV 2002	Míra přijetí [%]	FRR [%]	FAR [%]
DB1 optický senzor	94,067	5,933	5,380
DB2 optický senzor	94,6	5,40	5,219
DB3 kapacitní senzor	91,2	8,8	7,874

Tabulka 6: Metoda A. T. B. Jin, experimentální výsledky hodnotící úspěšnost metody porovnání otisků založené na globálním porovnávání užitím Fourier-Mellinovy transformace obrazu [13].

Zde vychází nejlépe hodnoty obou koeficientů pro obrazy nasnímané optickými senzory.

Rotace úhlu testovaného obrazu [%]	Míra přijetí [%]	FRR [%]	FAR [%]
90	75,29	24,710	24,953
0	94,07	5,933	5,380
-70	82,258	17,742	26,3

Tabulka 7: Experimentální výsledky metody A. T. B. Jin, založené na globálním porovnávání užitím Fourier Mellinovy transformace v závislosti na rotaci identifikovaného vzoru vůči obrazu z databáze.

Z výsledku je zřejmé, že natočení negativně ovlivňuje úspěšnost porovnání. Hodnota FRR pro natočení 90 stupňů 24.71% je oproti hodnotě při totožném natočení obrazů značně velká.

	Míra přijetí GAR [%]	FRR [%]	FAR [%]
Test č. 1	99	1	0,001
Test č. 2	99,995	0,005	0,005
Test č. 3	99,999	0,001	1

Tabulka 8: Experimentální výsledky algoritmu porovnávání, založeném na fázové korelaci a Fourier-Mellinově transformaci podle J. Zhang.

Tato metoda se jeví jako velice úspěšná. Autor však uvádí, že výsledky jsou testovány na kvalitní databázi a při zhoršené kvalitě snímků algoritmus selhává [14].

Informace k posouzení úspěšnosti metody založené na vzájemné informaci nebyla dostupná, jelikož, jak je uvedeno v předešlých kapitolách, jedná se o neobvyklou metodu, která není hojně realizována.

6.6 Zhodnocení

K posuzování úspěšnosti je nutno konstatovat, že v jednotlivých člancích a publikacích se neuvádí jednotné ohodnocení podle parametrů FAR a FRR. Hodnocení

obvykle závisí na autorovi a je uvedeno dle rozlišných parametrů. Často je uveden pouze bod shody parametrů FAR a FRR, popřípadě jiné parametry a k nim specifické výsledky. Algoritmy založené na hledání markantů jsou také často posuzovány pouze dle procentuální úspěšnosti nalezení markantů v obraze vůči všem markantům. Z toho vyplývá, že nelze stanovit, který algoritmus je nejlepší, jelikož každý má svá pozitiva i negativa a porovnávání vždy závisí také na vedlejších okolnostech a to hlavně na kvalitě otisku a typu senzoru. O čem také vypovídá fakt, že komerčními firmami není využíván jeden tentýž algoritmus. Nejúspěšnější algoritmy komerčních aplikací nejsou veřejně dostupné z marketingových důvodů, proto nebylo možné je osobně testovat. Pro tvorbu programu byl zvolen algoritmus založený na nalezení singulárních bodů pomocí metody Poincare index a extrakci markantů ve ztenčeném obraze, jelikož ve všech publikacích byla metoda Poincare index hodnocena jako úspěšná a nejelegantnější.

7 Databáze otisků prstu

Databází jsou míněny archivy, dnes již počítačově vedené evidence, shromažďující jednotlivé otisky prstů či jejich šablony. Rozlišujeme databáze komerční a databáze soudně-policejní.

7.1 Databáze FCS 2000 Maltoni

Databáze je složena ze čtyř jednotlivých složek, z nichž každá byla pořízena odlišnými senzory. V případě prvního a druhého senzoru se jedná o cenově dostupný, běžný senzor (optický a kapacitní). Třetím je kvalitní optický senzor. Čtvrtá část je odlišná, nejedná se o otisky snímané, nýbrž generované [15].

Každá ze čtyř databází obsahuje 880 otisků ze 110 různých prstů. První dvě databáze byly sejmuty od skupiny ve věku 20-30 let, studentů, z nichž 50 % tvořili muži. Otisky byly získány ve dvou rozdílných fázích a byla zaručena minimální kvalita sběru dat pro opravdovost. Senzory nebyly systematicky čištěny.

Databáze třetí obsahuje otisky 19 dobrovolníků ve věku 5 až 73 let (55 % mužů). Jedna třetina ve věku přes 55 let, druhá ve věku pod 18 let a třetí ve věku pod 7 let. Otisky byly sejmuty při čtyřech příležitostech, kde maximálně dva byly pořízeny v časovém intervalu jednoho dne a doba mezi dvěma jednotlivými skeny otisku prstu byla minimálně tři dny a maximálně tři měsíce. Senzory byly systematicky čištěny před každým sběrem. DB4 je generovaná databáze.

	Typ senzoru	Velikost obrazu	Rozlišení
Databáze 1	Optický senzor	300 x 300	500 dpi
Databáze 2	Kapacitní senzor	256 x 364	500 dpi
Databáze 3	Optický senzor	448 x 478	500 dpi
Databáze 4	Syntetický generátor	240 x 320	zhruba 400 dpi

Tabulka 9: Tabulka složek databáze FCS Maltoni 2000, s parametry velikosti a rozlišení obrazu otisku.

Tyto menší databáze jsou dále členěny do několika podskupin. Na otiscích ze všech těchto složek byl při vyvíjení testován realizovaný algoritmus.



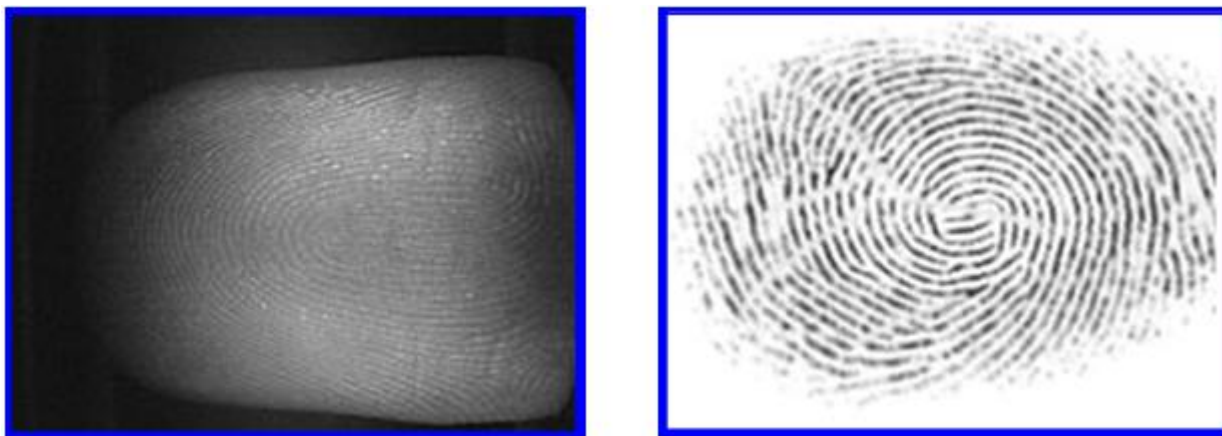
Obr. 3: **A**, otisk z databáze FCS 2000 Maltoni, kapacitní senzor; **B**, otisk z databáze FCS 2000 Maltoni, kapacitní senzor; **C**, otisk z databáze FCS 2000 Maltoni, optický senzor.

7.1.1 Bližší popis jednotlivých částí databáze

Jako první je popsána složka databáze obsahující otisky sejmuty kapacitním senzorem (vzorek na obrázku č. 3. A). Tyto obrazy otisků mají rozměr 300 x 300 pixelů a rozlišení 96 dpi. Jsou uchovány ve formátu TIFF. Jeví se jako značně nekvalitní a po podstoupení jednotlivým úpravám je v podstatě nemožné tyto otisky použít k hledání význačných prvků, jelikož mnoho linií v obraze chybí. Proto je nelze úpravami vyčistit či ztenčit, jelikož při podrobnějším zkoumání linie na obraze vůbec nejsou a chybí mnoho pixelů.

Otisky dalšího bloku databáze jsou opět pořízeny kapacitním senzorem (obrázek č. 3. B). Původní velikost snímaného obrazu je 256 x 256 pixelů. Obrazy v této databázi stejně jako v předešlé nedosahují požadované kvality pro realizaci účelového zpracování. Po zpracování, převedení na binární obraz a vytvoření skeletu užitím morfologických operací, se opět vyskytují místa o rozměrech několika pixelů, kde linie potřebné pro zkoumání chybí. Na tyto nedostatky byla aplikována eliminace pomocí eroze a dilatace. Což ovšem nevedlo k požadovanému výsledku vzhledem k přílišné velikosti mezer (chybějících úseků v linii).

Obraz z databáze nasnímané optickým senzorem o rozměrech 448 x 447 pixelů je zobrazen na obrázku č. 3 C. Zde uvedený vzor má velice nízkou kvalitu, tato databáze opět neobsahuje otisky odpovídající úspěšnému porovnávání.



Obrázek 4: A, obraz otisku snímáný optickým senzorem; B, obraz otisku vytvořeného generátorem SFIGNE Maltoni.

Další databáze, na které byl testován vyvíjený algoritmus, byla tvořena snímky získanými na ústavu užitím optického skeneru, obrázek č. 4 A. Práce s těmito otisky, byla naprosto odlišná. Podstoupení obrazu algoritmům navrženým pro otisky sejmuty kapacitním senzorem, bylo zcela bezúčelné. Velikost sejmutého otisku je 800 x 600 pixelů. Obraz je ovlivněn osvětlením, jehož příčinou se v obraze vyskytují velice rozličné frekvence. Po filtraci dochází k úbytku důležitých informací. Na obraze také opět některé části linií úplně chybí. Ani tyto otisky nejsou vhodné k dalším vyhledávání.

Databáze FVC Maltoni DB4 obsahuje otisky vytvořené generátorem o rozměrech 240 x 320 pixelů. Kvalita těchto otisků zcela závisí na nastavení požadovaných parametrů generátoru. Databáze tvořena těmito otisky je opět nekvalitní, z důvodu nastavení velkého počtu jizev, vysoké hodnoty šumu a dalších rušivých faktorů. Tyto hodnoty byly použity zřejmě k napodobení co nejreálnějšího vzoru otisku.



Obrázek č. 5: Generátor otisku prstů horních končetin SFIGNE, Maltoni, nastavení parametrů generovaného otisku.

7.2 Generátor otisků prstů SFIGNE, Maltoni

Generátor otisků prstu je součástí vydání publikace Maltoniho a spol. Užitím této aplikace lze vytvořit otisky se zvolenými parametry odpovídajícími otiskům reálným. Aplikace nabízí otisky ve třech velikostech pro jednotlivé prsty lidské ruky. Je možno zvolit počet linií, počet markantů a značek, dále poškození představující jizvy nebo nastavit šum zhoršující celkovou kvalitu otisku.

7.3 Databáze IBM

Tato databáze obsahuje obrazy otisků o velikosti 132 x 196 pixelů a rozlišení 96 dpi. Obrazy jsou uloženy v souboru typu PNG [16]. Složka obsahuje otisky pěti prstů jedné ruky patnácti osob. Otisk každého prstu je snímán třikrát. Databáze tedy obsahuje 425 obrazů otisků. V názvu každého otisku je uvedena indexovaná pozice osoby, označení ruky (L jako levá nebo R jako pravá), index prstu 1-5 a číslo sejmutí. Dále označení jedná-li se o muže M nebo ženu F. Tyto otisky se jeví jako nekvalitnější dostupná databáze. Při porovnání

s ostatními byl v této databázi menší výskyt mezer v liniích a po zpracování se vyskytovalo menší množství falešných markantů. Je však nutno uvést, že při obvyklém zpracování v praxi je v obraze až 50% nalezených značek falešných. Proto se ani zde zdaleka nejedná o ideální obraz.



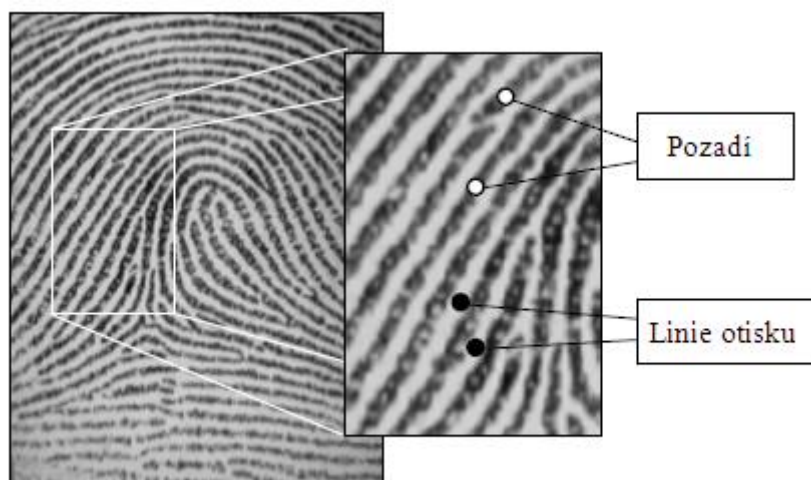
Obrázek 6: Obrazy tří verzí sejmutého otisku stejného prstu jedné osoby z databáze IBM.

8 Návrh programu

Tvorba programu byla nejprve zaměřena na co nejkvalitnější úpravu získaného otisku prstu horní končetiny. Což se neukázalo jako ideální řešení, jelikož otisky z dostupných databází nedosahují požadované kvality. Zlepšení bylo mnohdy nemožné, jelikož části linií zcela chyběly a nebylo proto v některých oblastech co zlepšovat. Celý proces porovnání zahrnuje mnoho kroků a při každém z nich může dojít, a ve většině případů dochází, k nepatrným odchylkám, které se celkově sčítají. Při špatném snímku by pak ve výsledku celý algoritmus nemusel mít žádný význam. Po tomto zjištění byl program vyvíjen na základě ideálních otisků získaných z již uvedeného generátoru otisků prstů horních končetin.

Nahraný šedotónový obraz otisku prstu je postupně zpracován do výsledné podoby, kterou je šablona s význačnými prvky.

První fází úprav je binarizace nahraného otisku. Slouží k převodu šedotónového obrazu do obrazu binárního, kde prvkům linie přísluší hodnota 1 a pozadí hodnota 0. To je realizováno pomocí morfologické funkce *im2bw*, kde je práh nastaven na hodnotu 0.8, což znamená, že všem prvkům dosahujícím stupně šedi rovné nebo větší než 0.8 je přiřazena hodnota 1, ostatním 0.



Obrázek 7: Popis charakteristického vzhledu otisku prstu horní končetiny.

Linie je následně ztenčena, aby v každém bodě dosahovala jednotné šířky jednoho pixelu. To je realizováno operací *thin* z morfologického toolboxu, počet iterací je stanoven na nekonečno, čímž je zaručeno postupné ztenčování na šířku právě jednoho pixelu.

Po těchto úpravách byla použita metoda *Poincaré Index*. Ta předpokládá vytvoření vektorového pole, s jehož prvky jsou výpočty prováděny. Ztenčený obraz otisku prstu je tedy pro další operace nutno převést na obraz orientací směru. Tedy rozdělit matici obrazu na matice menší charakterizující dominantní směr v daném regionu.

8.1 Vytvoření vektorového pole

Lokální orientace pixelu $[i, j]$ je dána úhlem θ_{xy} , který svírá linie otisku procházející libovolně malým okolím s vodorovnou osou. Výsledkem je obraz orientací, uložen v matici D , představující lokální směr ztenčených papilárních linií. Každý element θ matice D odpovídá uzlu (i, j) ve čtvercovém okně síť lokalizované okolo pixelu $[x_i, y_i]$, a popisuje průměrnou orientaci linií v okolí $[x_i, y_i]$.

Nejběžnější způsob výpočtu orientací je založen na výpočtu gradientů v obrazu. Gradient $\nabla(x,y)$ v bodě $[x, y]$ obrazu I je dvojdimenzionální vektor $[\nabla_x(x, y), \nabla_y(x, y)]$, kde ∇_x a ∇_y jsou komponenty derivace v obraze I dle x a y . Výpočet lokální orientace linií je realizován dle následujících rovnic:

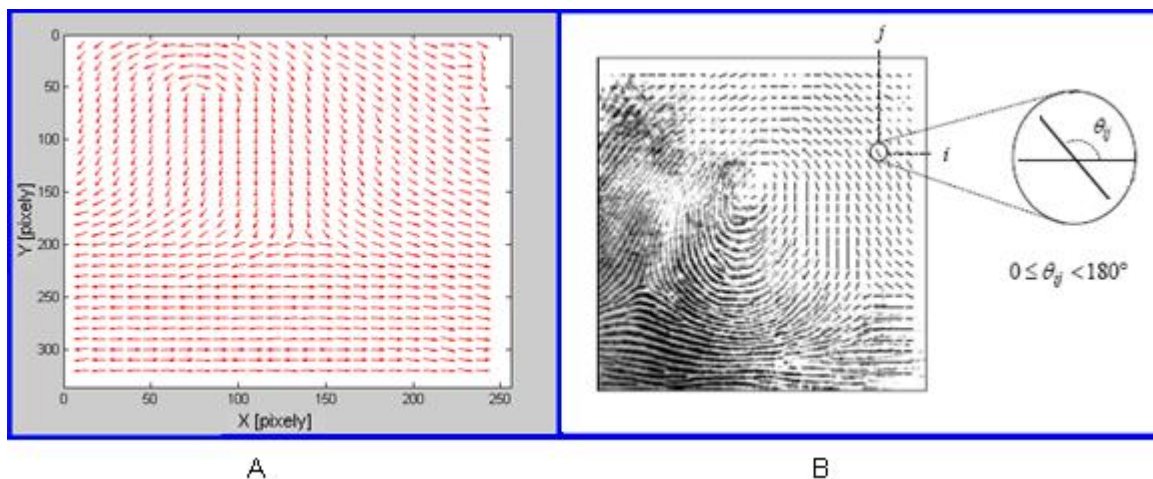
$$G_{xy} = \sum_{h=-8}^8 \sum_{k=-8}^8 \nabla_x(x_i + h, y_j + k) \times \nabla_y(x_i + h, y_j + k) \quad (27)$$

$$G_{xx} = \sum_{h=-8}^8 \sum_{k=-8}^8 \nabla_x(x_i + h, y_j + k)^2 \quad (28)$$

$$G_{yy} = \sum_{h=-8}^8 \sum_{k=-8}^8 \nabla_y(x_i + h, y_j + k)^2 \quad (29)$$

$$\theta_{i,j} = \frac{\pi}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{atan2}(2G_{xy}, G_{xx} - G_{yy}) \quad (26)$$

kde ∇_x a ∇_y jsou gradienty obrazu, h a k proměnné popisující velikost okna.



Obrázek 8: **A**, znázornění vektorového pole v Matlabu; **B**, tvorba vektorového pole, ilustrační obrázek.

8.2 Poincaré Index

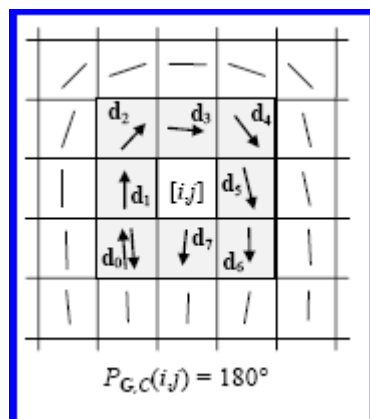
Pokud je G vektorové pole a C je křivka nacházející se v tomto poli, potom je Poincaré index definován jako součet rotací vektorů pole G okolo křivky C .

Pokud je G diskrétní vektorové pole prezentující obraz orientací, necht' $[i, j]$ je pozice elementu θ_{ij} v orientovaném obrazu, potom Poincaré index $P_{C,G}(i, j)$ pro $[i, j]$ se vypočítá za splnění následující podmínky:

Křivka C je uzavřená a skládá se z několika elementů matice orientací D , kde $[i, j]$ je vnitřní bod. Poincaré index $P_{GC}(i, j)$ je vypočítán jako sumace rozdílů orientací elementů, kterými prochází křivka C . Sumace rozdílů orientací vyžaduje znalost směru orientace příslušného elementu (nahoru a dolů).

Tento problém je řešen tak, že první orientace je zvolena náhodně. A orientace následujících

elementů jsou voleny tak, aby se nejvíce blížily směru předešlého elementu.



Obrázek 9: Pomyslná křivka C se nachází ve vektorovém poli G , je tvořena elementy d_0 - d_7 , bod $[i, j]$ je vnitřním bodem oblasti uzavřené křivkou C . V tomto případě je součet diferencí roven 180 , jedná se tedy o singulární bod typu vrchol.

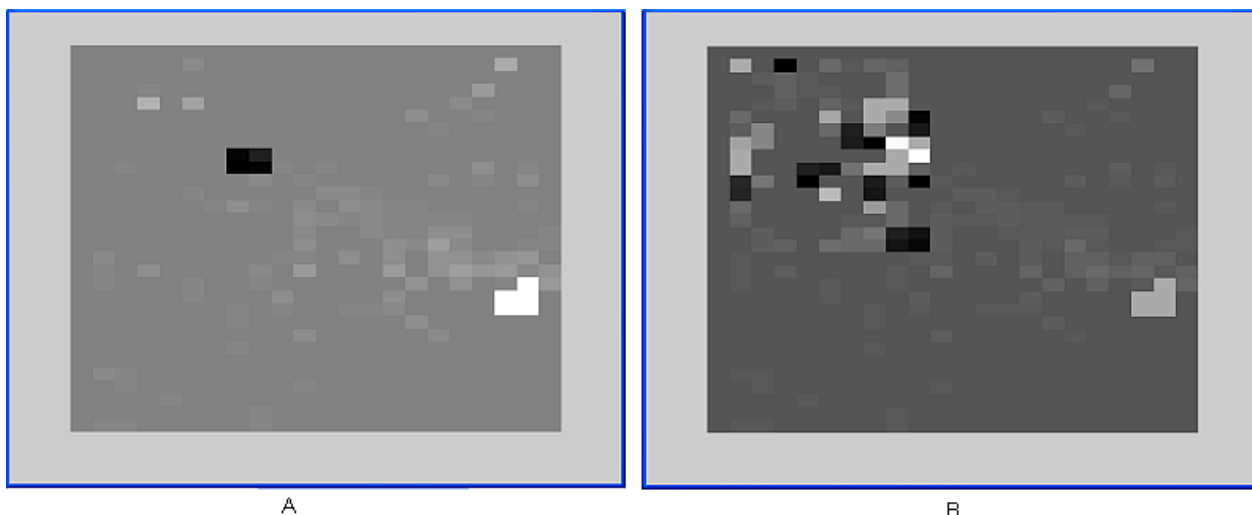
Zkoumaná křivka C na obrázku je tvořena sekvencemi osmi elementů d_k obklopujících bod $[i, j]$. Směr prvního elementu je stanoven nahoru, směr dalších $d_k(1-7)$ je pak volen tak, aby absolutní hodnota rozdílu d_k a d_{k-1} byla menší nebo rovna 90° . Index je pak vypočítán následovně:

$$P_{G,C}(i, j) = \sum_{k=0 \dots 7} \text{úhel}(d_k, d_{k+1, \text{mod} 8}) \quad (27)$$

Poincaré index nabývá diskrétních hodnot:

$$P_{G,C}(i, j) = \begin{cases} 0^\circ & \text{pokud } [i, j] \text{ nenáleží žádnému singulárnímu bodu} \\ 180^\circ & \text{pokud } [i, j] \text{ náleží singulárnímu bodu typu vrchol} \\ -180^\circ & \text{pokud } [i, j] \text{ náleží singulárnímu bodu typu delta} \end{cases}$$

Elementy nabývající hodnot pro určitý singulární bod se obvykle nacházejí v blocích, obvykle ve větším počtu než 1. Za singulární bod lze označit čtyři sousedící elementy s příslušnou hodnotou Poncarého indexu. Při nízké kvalitě sejmutého otisku mohou vznikat falešné singularity vyskytující se různě v obraze osamoceně, nikoliv v blocích po čtyřech elementech.



Obrázek 10: Matice diferencí orientací po provedení výpočtu Poincaré indexu. **A**, kvalitní snímek, čtyři elementy o hodnotě $-\pi$ jsou znázorněny černou barvou, představují vrchol, 4 elementy o hodnotě $+\pi$ jsou znázorněny bílou barvou, představují singulární bod delta. Zbylé elementy nabývající hodnoty okolo 0, jsou znázorněny světle šedou barvou. **B**, reálný snímek, v matici se nevyskytují pouze elementy v seskupení čtveřic jako v ideálním otisku, ale také v menších seskupeních, které nepředstavují žádný singulární bod.

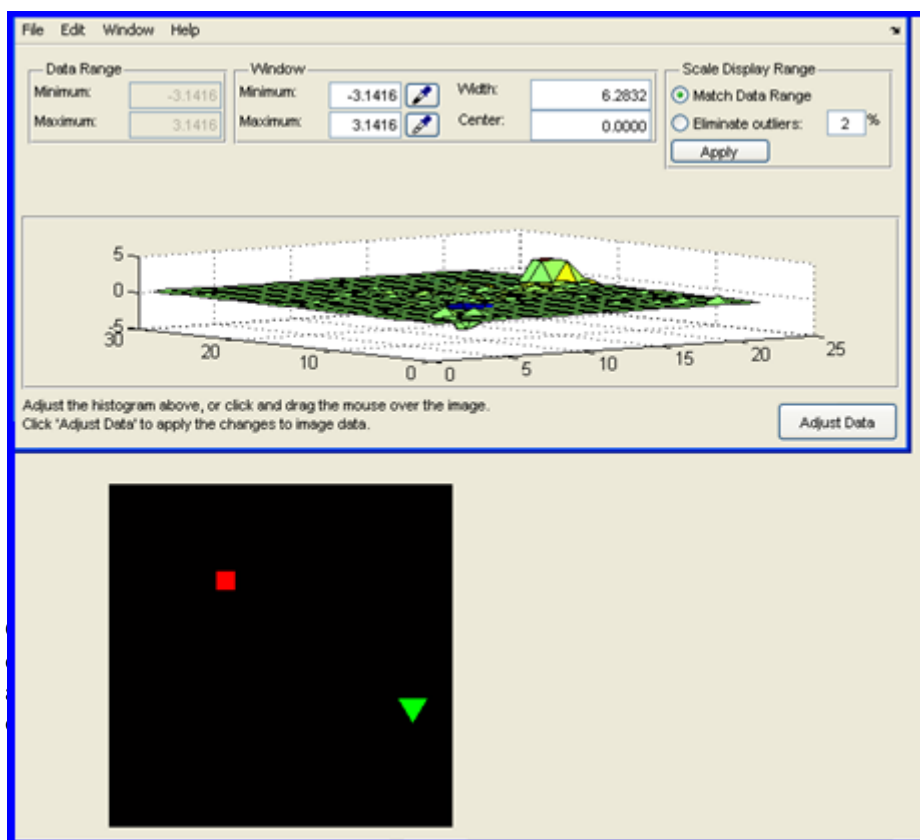
V programu byl orientovaný obraz procházen pomocí cyklu a od jednotlivých elementů d_k obklopujících bod $[i, j]$ byly odečítány elementy následující d_{k+1} ve třech různých pozicích: v pozici původní, dále při otočení o π a při otočení o $-\pi$, jelikož první směr je stanoven a směry dalších elementů je třeba určit tak, aby se co nejvíce blížily směru elementu předešlého. Za správnou orientaci byla považována ta, při níž byla diference nejmenší. Zároveň musí být splněna podmínka, že absolutní hodnota úhlu mezi dvěma elementy je menší nebo rovna $\pi / 2$.

Diference nabývající nejmenší hodnoty je uložena do proměnné d , ke které se v každém následujícím kroku přičítá nově získaný rozdíl. Tato operace probíhá pro každý prvek vektorového pole osmkrát, jelikož každý prvek obklopuje osm elementů.

Ačkoliv by hodnoty měly vycházet diskrétně, jelikož v ideálním případě nemůže nastat jiná situace, nabývají elementy rozličných hodnot. Po testování byly stanoveny prahy pro příslušnost k jednotlivým diskrétním hodnotám a výsledné diference byly následně při překročení prahu zaokrouhleny k hodnotám deklarujícím singulární bod.

Za danou singularitu nebyl označen každý element s příslušnou hodnotou, ale právě čtyři sousedící elementy této hodnoty. V obraze se totiž vyskytuje několik dalších prvků s hodnotami odpovídajícími singularitám, jsou však rozptýleny a tvoří blok o čtyřech elementech ve čtvercovém sousedství. Počet nalezených falešných prvků s hodnotou odpovídající singularitě závisí na kvalitě obrazu otisku.

Pozice shluku čtyř prvků diskrétní hodnoty příslušné dané singularitě o hodnotě π , tedy typu delta, byly uloženy do struktury a následně vykresleny a označeny zeleným trojúhelníkem. Shluk čtyř elementů o hodnotě $-\pi$, byl uložen do struktury vrcholů a prvky vykresleny značkou červený čtverec.

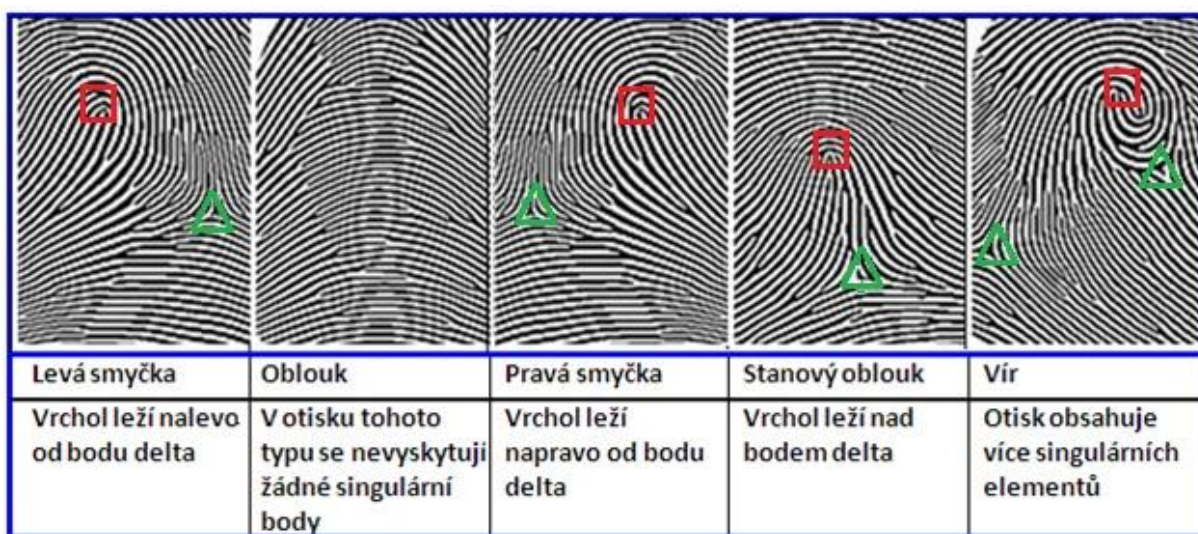


Obrázek 11: V horní části obrázku je zobrazeno prostorové rozložení hodnot Poincarého indexu, je čitelné minimum $-\pi$ a maximum π . Vykreslení singularních bodů, zelený trojúhelník představuje bod delta, červený čtverec vrchol.

8.3 Rozdělení otisků na základě singularitních bodů

Na základě nalezených singularit (body delta a vrchol) byly rozděleny otisky do pěti skupin, dle jejich počtu a umístění. Bod delta se může v otisku vyskytnout jednou nebo v méně časté verzi dvakrát, či se v obraze nemusí objevit vůbec. Bod vrchol se v otisku také nemusí vůbec vyskytnout, většinou se však objevuje jednou, a výjimečně dvakrát.

Skupiny jsou následující:



Obrázek 12: Klasifikace otisků prstů horních končetin do pěti skupin založena na dělení dle Henryho Fauldse.

Po dokončení algoritmů vyhledávání význačných bodů sloužících k porovnání byla vytvořena struktura, do které jsou ukládány informace o jednotlivých otiscích. Tato struktura představuje databázi otisků. Informace o uložených otiscích jsou následující: název otisku, typ otisku, počet bodů delta, počet bodů vrchol, počet rozdvojení, počet ukončení linií, pozice bodu delta, pozice bodu vrchol, pozice ukončení, pozice rozdvojení, vzdálenost bodů delta a vrchol, pozice těžiště bifurkací, pozice těžiště terminací a vzdálenost těžišť těchto markantů.

8.4 Hledání markantů, značek ukončení a rozdvojení

Vyhledávání se provádí ve ztenčeném binárním obrazu otisku, jehož všechny linie po ztenčení dosahují konstantní šířky jeden pixel.

$$\text{Filtr } B = \text{nlfilter}(A, [m \ n], \text{fun})$$

aplikuje funkci *fun* na matici *A*, která představuje skeletizovaný obraz obsahující pouze ztenčené linie o šířce jednoho pixelu. Okno o rozměru $m \times n$ pixelů prochází maticí *A* daného obrazu a provádí výpočet pro jednotlivé pozice okna. Výstupem je skalární veličina *c*

$$c = \text{fun}(x) \quad (28)$$

kde *c* je výstupní hodnota pro pixel umístěný ve středu okna o velikosti $m \times n$ pixelů. Funkce *fun* počítá součet hodnot pixelů v okně. Výpočet má smysl pouze pro linie, tudíž pixel o hodnotě 1, pokud má pixel hodnotu 0, výpočet není realizován. V případě, že součet v okně nabývá hodnoty 3, středový pixel ve svém okolí obsahuje 2 pixely o hodnotě 1, jedná se o bod náležící linii.

0	0	1
1	1	0
0	0	0

Obrázek 13: Výpočet pozice středového pixelu okna 3×3 . Středový pixel sousedí se dvěma pixely o hodnotě 1. Jedná se tedy o pixel ležící uvnitř ztenčené linie o šířce jeden pixel. Linie pokračuje na obě strany.

Pro značku (markant) ukončení linie platí, že se v okolí 3×3 středového pixelu vyskytuje pouze jeden pixel nabývající jednotkovou hodnotu. V případě, že se v daném okolí vykytují 3 pixely s nenulovou hodnotou, jedná se o markant typu rozdvojení.

0	0	0
0	1	1
0	0	0

Obrázek 14: Výpočtu pozice středového pixelu okna 3×3 . Středový pixel sousedí s jedním pixelem o hodnotě 1. Jedná se tedy o pixel ležící na konci ztenčení linie. Linie už nepokračuje, je tímto pixelem ukončena.

1	0	1
0	1	0
0	0	1

Obrázek 15: Výpočet pozice středového pixelu okna 3 x 3. Středový pixel sousedí s třemi pixely o hodnotě 1. Jedná se tedy o pixel značící typ markantu bifurkace neboli rozdvojení ztenčené linie. Linie pokračuje do tří směrů. Jedním směrem tedy přichází a dochází k jejímu rozdvojení.

Příklad výpočtu pro markant typu rozdvojení:

$$c(2,2) = (1 + 0 + 1 + 0 + 1 + 0 + 0 + 0 + 1) - 1 \quad (29)$$

$$c(2,2) = 3$$

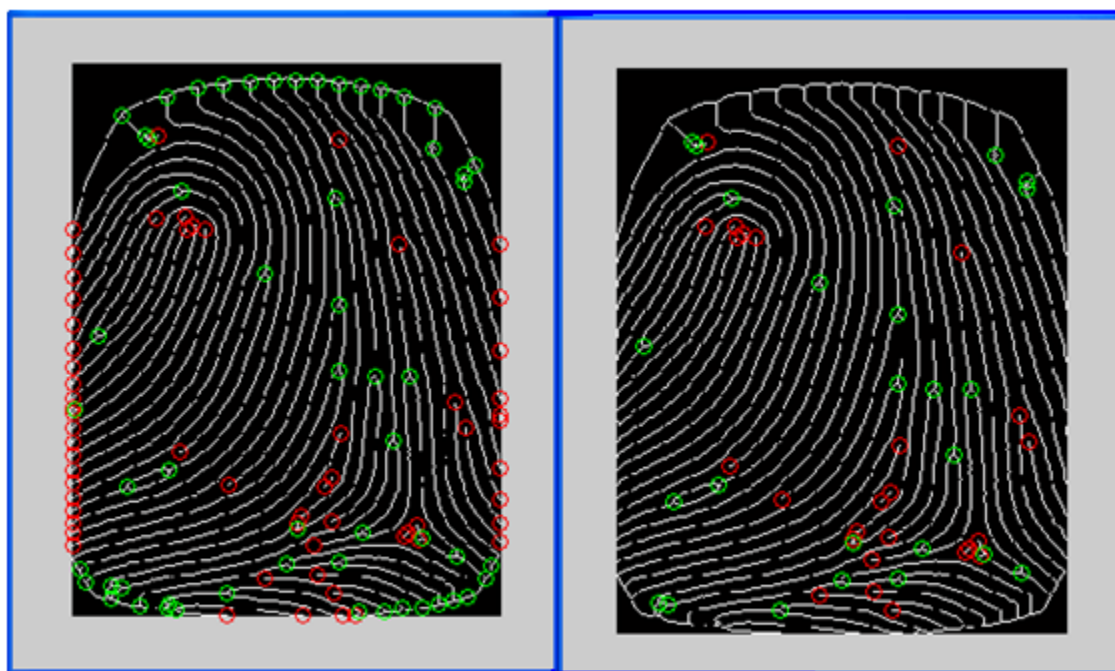
8.5 Funkce *bwlabel*

Funkce vytvoří matici o velikosti původního binárního obrazu otisku. Pozadí přiřadí nulovou hodnotu, nalezeným bodům pak hodnotu vzestupnou od 1 až po počet předešlých nalezených bodů. Lze tedy konstatovat, že funkce vzestupně čísluje dané prvky.

```
propTerm=regionprops(LTermLab, 'Centroid')
```

funkce *regionprops centroid* analyzuje a nalézá těžiště shluku bodů, v tomto konkrétním případě shluků pixelů nabývajících hodnotu 1, které jsou očíslovány funkcí *bwlabel*. Jejím výstupem je struktura, jejíž velikost odpovídá počtu nalezených bodů. Struktura obsahuje informaci o poloze [17] [18].

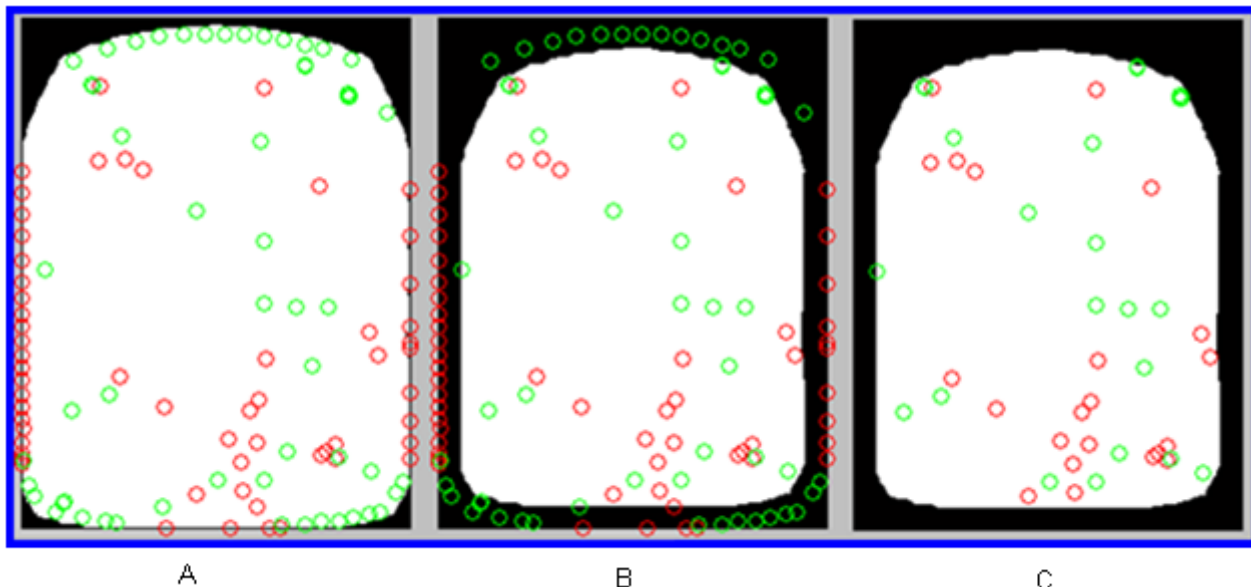
Na základě informací o bodech z předešlé struktury, je provedeno vykreslení.



A **B**
Obrázek 16: **A**, znázorňující ztenčený binarizovaný otisk prstu obsahující nalezené značky, ukončení (červeně) a bifurkace (zeleně), včetně falešných na kraji; **B**, obrázek znázorňující ztenčený binarizovaný otisk prstu po odstranění falešných značek.

8.6 Odstranění falešných markantů

Z obrázku č. 16 A je patrné, že se na okraji otisku vyskytuje velké množství značek, které nepodávají relevantní informaci a pouze zkreslují další porovnávání. Tyto značky označujeme jako falešné. Při práci s kvalitním otiskem se tyto falešné značky vyskytují téměř výhradně na okraji. Jejich odstranění je realizováno algoritmem, který zahrnuje vytvoření obálky okolo otisku užitím morfologické funkce *dilate*, dále pak vyplnění obálky a tím rozdělení obrazu na dvě kompaktní části, čas oblastí zájmu, tedy otisku prstu, nabývající hodnoty 1 a zbytku obrazu, nabývající hodnotu 0.

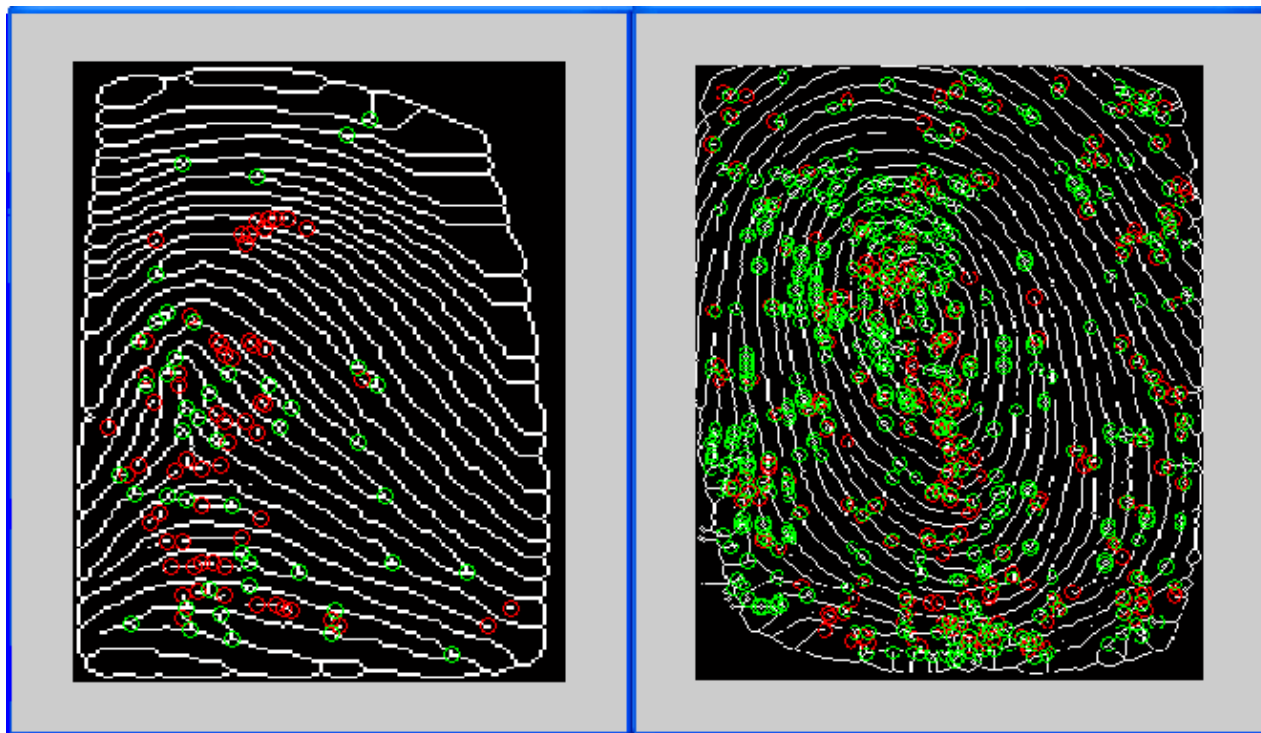


Obrázek 17: Znázorňující tři kroky algoritmu odstranění falešných značek; **A**, obálka otisku se znázorněnými značkami, včetně falešných na okraji; **B**, obálka po osmi iteracích erodování, falešně značky se vyskytují mimo bílou oblast zájmu; **C**, bílá oblast zájmu obsahující pouze užitečné značky, po odstranění falešných značek v černém poli;

Užitím morfologické funkce *erode* byla oblast zájmu následně zmenšena o nastavitelný krok (Obrázek 17 B). Poté bylo analyzováno, zdali se pozice značky nachází v nově vzniklé oblasti zájmu, či nikoliv. Pokud se značka vyskytuje mimo bílou oblast zájmu, přísluší jí hodnota 0 a je smazána.

Tento algoritmus je postačující pro odstranění falešných značek v kvalitně sejmutém otisku, v případě otisku nekvalitního se tyto mylné značky vyskytují i uvnitř oblasti zájmu a tvoří velké shluky. K jejich odstranění se využívá euklidovská vzdálenost. Ta je určena mezi markanty stejného typu i mezi rozdílnými navzájem. Pokud je tato vzdálenost menší než nastavený práh, znamená to, že jsou markanty nahromaděny v určité oblasti v přílišném počtu. Což představuje chybu a tyto falešné markanty jsou také odstraněny.

O obrazu otisku prstu, z něhož jsou uvedenými metodami extrahovány singulární body a markanty, hovoříme jako o šabloně otisku prstu.



A

B

Obrázek 18: **A**, Reálný otisk z databáze IBM, pořízen kapacitním senzorem. Na obrázku jsou vykresleny markanty, ukončení červeně, rozdvojení zeleně. **B**, reálný otisk obsahující velké množství falešných značek, (při provádění extrakce markantů v praxi je v obraze obvykle až 50% nalezených markantů falešných).

8.7 Klasifikace

Po zpracování nalezení singulárních bodů (delta a vrchol) a markantů v obrazu otisku jsou stanoveny další hodnoty:

- Název souboru
- ID číslo, které edituje uživatel, není povinné
- Typ prstu, jeli znám, edituje uživatel
- Pohlaví osoby, jejíž otisk je registrován, edituje uživatel, není povinné
- Pozice a počet bodů delta
- Pozice a počet vrcholů
- Vzdálenost bodu delta a vrcholu
- Těžiště bifurkací
- Těžiště ukončení
- Vzdálenost těžiště bifurkací a terminací
- Počet terminací

- Počet bifurkací
- Typ otisku
- Formát obrázku

8.8 Porovnávání

Otisk, určený k identifikaci, je podroben stejným procesům extrakce markantů jako otisky při editaci do databáze a je vytvořena šablona. Ta obsahuje, mimo jiné, informaci o typu otisku (např. levá smyčka). Shoda typu otisku představuje první kritérium porovnání. Počátečním krokem samotného porovnání je procházení databáze registrovaných šablon a nalezení šablony stejného typu (např. levá smyčka vs. levá smyčka). Pokud identifikovaný otisk svým typem neodpovídá otisku databáze, neprovádějí se mezi těmito otisky žádné další algoritmy srovnání a program realizuje první krok znovu s šablonou jiného otisku. Výjimkou je typ otisku stanový oblouk (Obrázek 12), který má obdobnou strukturu jako typy levá a pravá smyčka, je tedy možná jejich záměna a proto se typ stanový oblouk porovnává i s těmito dvěma typy.

V případě, že si typy otisků odpovídají, následuje druhá podmínka - diference vzdálenosti bodu delta a vrchol. Tato vzdálenost šablony identifikovaného vzorku a šablony registrovaného otisku databáze se nesmí lišit o více než deset procent. V případě, že se vzdálenost liší, nepředpokládá se, že by se mohly shodovat a další porovnávání se neprovádí. Pokud šablony i tuto podmínku splní, jsou podstoupeny transformaci, jelikož mohou být vůči sobě natočeny, či posunuty.

8.9 Transformace

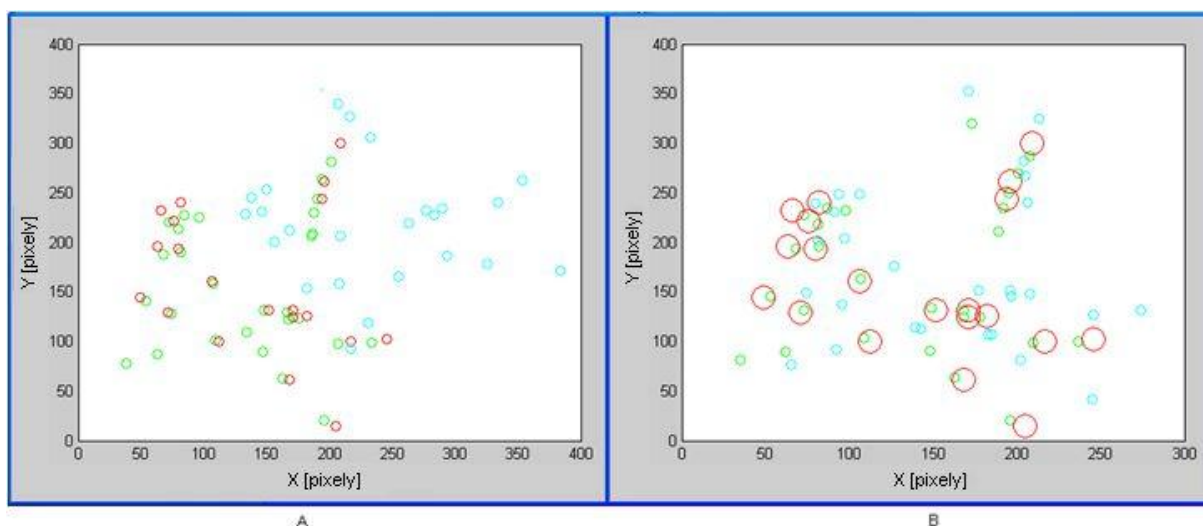
Na šablonách otisků prstu, které jsou vzájemně porovnávány, existuje množina identických bodů (markantů), které si navzájem odpovídají. Nastává problém jak co nejpřesněji transformovat jeden obrazový prostor do druhého, když je obraz vůči vzoru otočen, posunut či se projevuje elasticita kůže. Transformaci obou obrazů je realizována funkcí *cp2tform*. Tato funkce transformuje obrazy na sebe užitím dvou pevných bodů identifikované šablony a dvou pevných bodů registrované šablony. Jako tyto body jsou primárně užity bod delta a vrchol. Pokud se jedná o typ otisku, ve kterém se jeden z těchto bodů nevyskytuje, je jako druhý srovnávací bod použito těžiště bifurkací. Pokud se v otisku nevyskytuje ani bod delta ani vrchol, je použito těžiště bifurkací a těžiště ukončení.

Výstupem transformační funkce je transformační matice, dle ní je následně transformován identifikovaný otisk tak, aby svým natočením co nejvíce korespondoval s obrazem z databáze se kterým je porovnáván, byl-li vůči němu otočen [19], [20].

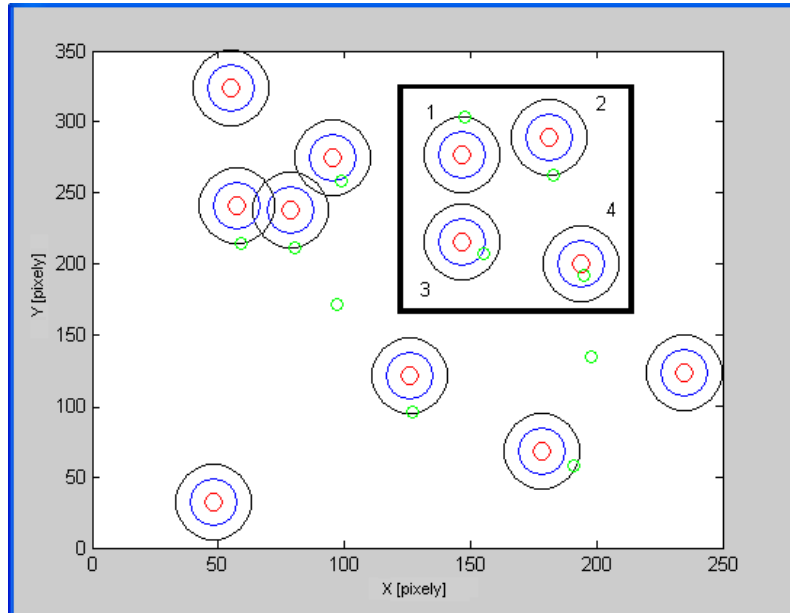
8.10 Finální porovnání

Oba otisky již jsou souhlasně natočeny a hledá se počet markantů, které mají odpovídající pozici jak v obraze, tak ve vzoru.

Je posuzováno, zda se značka o dané pozici v registrované šabloně nachází na stejné pozici také v šabloně identifikovaném otisku nebo v jejím blízkém okolí. Velikost okolí je nastavitelným parametrem. Takto je určen počet identických značek.



Obrázek 19: Transformovaný obraz ukončení. Červené kružnice představují ukončení nalezená v obraze z databáze, světlé modré kružnice představují ukončení nalezená v identifikovaném otisku, který je vůči vzoru z databáze rotován určitý počet stupňů. Zelené kružnice představují ukončení identifikovaného otisku po provedení transformace. **A**, identifikovaný otisk je vůči vzoru z databáze natočen o 45 stupňů (světlé modrá kružnice); **B**, identifikovaný otisk je natočen o 4 stupně. Okolí porovnávání (červená kružnice) je zvětšeno o dvě iterace.



Obrázek 20: Demonstrace důležitosti nastavení velikosti okolí. Černý čtverec představuje oblast zájmu obsahující čtyři dvojice označeny čísly 1 až 4. Zelená kružnice představuje marant identifikované šablony. Další kružnice pak okolí registrované šablony o různých velikostech.

8.11 Důležitost nastavení okolí porovnávaných markantů

Nechť oblast zájmu představuje černý čtverec a v něm čtyři dvojice, které označíme číslicemi 1 až 4. Červená kružnice představuje okolí markantů registrované šablony o poloměru 3 pixely (jedna iterace), modrá kružnice okolí o poloměru 6 pixelů (dvě iterace), černá kružnice okolí o poloměru 9 pixelů (tři iterace). Zelená kružnice představuje markant identifikované šablony.

Pokud je nastaveno okolí jedna iterace, je za shodnou dvojici markantů označena pouze dvojice číslo 4, jelikož zelený markant se částečně nachází v okolí tvořeném červenou kružnicí. Pokud je nastaveno okolí dvě iterace, jsou za shodné označeny dvojice 4 a také 3. Jelikož zelený markant se nachází v okolí tvořeném modrou kružnicí. Pokud je nastaveno okolí 4 iterace jsou za shodné označeny všechny čtyři dvojice jelikož všechny markanty se nachází v okolí o tvořeném černou kružnicí.

8.12 Porovnání šablon otisků

Konečným výstupem porovnání je skóre shodnosti, vypočítané jako poměr identických značek obrazu a vzoru ku celkovému počtu značek. Pokud se počet značek v obrazu a vzoru liší, uvažujeme jako celkový menší z nich.

$$skore = \frac{a+b}{(dBif+dTerm)} \quad (30)$$

Kde a je počet identických bifurkací, b je počet identických terminací, $dBif$ je celkový počet bifurkací v šabloně a $dTerm$ představuje celkový počet terminací v šabloně.

Identifikací otisků tedy vzniká matice skóre podobnosti, ta dosahuje hodnot od 0 do 1. Nula znamená absolutní neshodu a 1 absolutní shodu šablon.

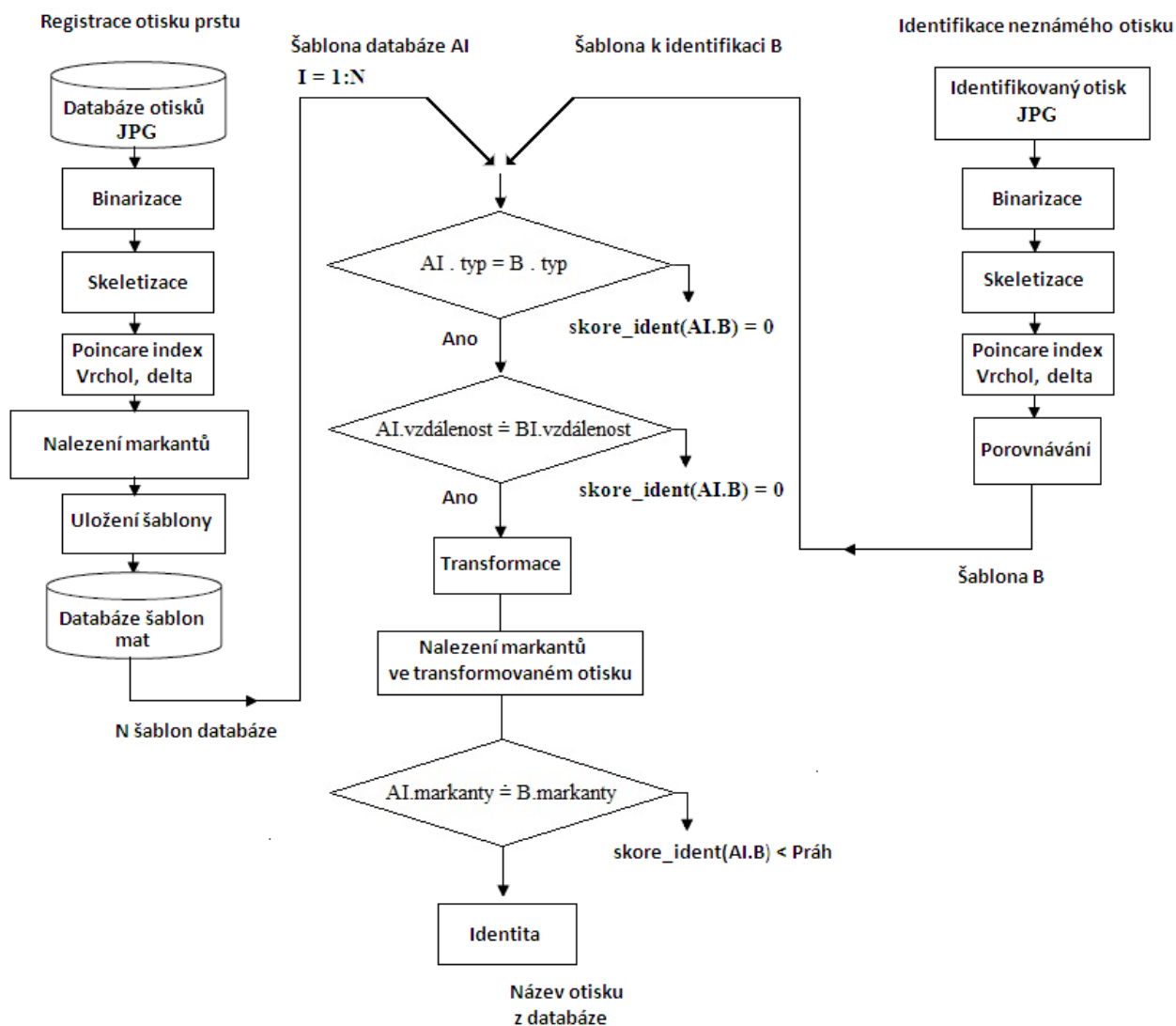
0	0	0,0263	0,275	0	0	0	0,0208	0	0
0,0714	0,0345	0	0	0	0	0,1013	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0,0426	0	0	0	0	0	0	0	0,0682

Obrázek 21: Matice skóre podobnosti, 0 představuje absolutní neshodu, další hodnoty pak stupeň shody, v této matici představuje nejvyšší stupeň shody hodnota 0,275.

Z obrázku 21 je patrné nejvyšší procentuální zastoupení hodnoty shodnosti 0. Prakticky se tyto otisky shodují v minimální míře, která ovšem nemusí být nulová, ale je irelevantní. Nulová hodnota je těmto šablonám přisouzena proto, že nesplnily příslušná kritéria a k samotnému porovnání tedy ani nedošlo.

Z této matice shodnosti je vybrána maximální hodnota, je-li větší než stanovený práh, jsou šablony nabývající této hodnoty, vzájemně korespondence, označeny za identické [21].

9 Blokové schéma programu



Obrázek 22: Blokové schéma algoritmu extrakce markantů otisku prstu a identifikace

Levá část diagramu představuje proces registrace šablony. Obrázek otisku ve formátu JPG je nahrán a zpracován. Po binarizaci je vytvořen skelet otisku, následně jsou nalezeny singulární body vrchol (jádro) a delta. Poté jsou nalezena markanty (značky), bifurkace (rozdvojení) a terminace (ukončení). Tato zpracovaný otisk je označen za šablonu. Databáze obsahuje N šablon A ve formátu JPG.

Pravá část představuje proces identifikace. Otisk, známý či neznámý, je zpracován stejnými algoritmy jako obrázek registrovaný a je vytvořena šablona B.

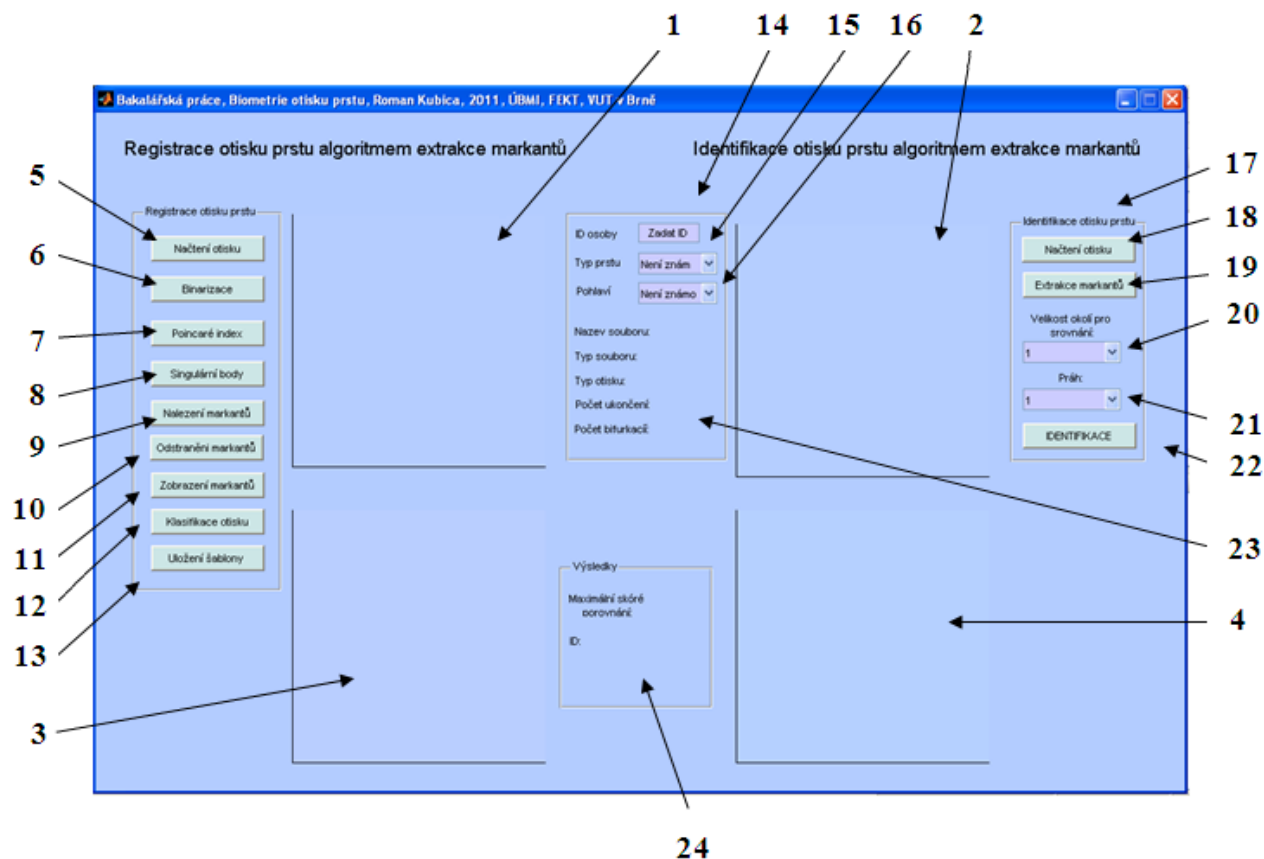
Prostřední část představuje samotné porovnání identifikované šablony B s šablonou AI, kde I představuje jednotlivé šablony z N celkových registrovaných šablon.

Prvním krokem je porovnání typu šablony B a šablony AI. V případě, že se typy neshodují je skóre identity mezi A a BI stanoveno jako nula. Pokud se typy shodují je zkoumána přibližná rovnost B.vzdálenosti a AI.vzdálenosti bodu delta a vrcholu, šablony A a BI, kde přibližná rovnost představuje toleranci 10%. V případě, že se v otisku tyto singulární body nevyskytují, je posuzována vzdálenost těžiště markantů, ukončení a rozdvojení. Pokud není tato podmínka splněna je skóre identity mezi A a BI stanoveno jako nula. Pokud je podmínka splněna, je provedena transformace šablony BI a opětovné vyhledání markantů v transformované šabloně. Je realizováno finální porovnání markantů. Pokud je přibližná rovnost pozic markantů v šabloně AI a transformované šabloně B splněna, jsou šablony označeny za identické. Přibližná rovnost závisí na nastavení minimálního prahu, pokud je tento práh shody přesažen, jsou šablony označeny za totožné.

10 Realizace programu

Program je realizován v programovém prostředí MATLAB. Uživateli je k dispozici grafického rozhraní. To obsahuje jednotlivá tlačítka a čtyři okna pro zobrazení obrazu otisku v různých fázích zpracování.

10.1 Vzhled hlavního okna programu



Obrázek 23: Čelní panel programu, na obrázku jsou číslovány jednotlivé prvky aplikace.

Okna určená k zobrazení zobrazení obrazu otisku při extrakci markantů

1. Okno *Načtení registrovaného otisku*

V tomto okně je zobrazen načtený obraz otisku.

2. Okno *Extrakce registrovaného otisku*

Obsah okna se mění v průběhu zpracování:

- Obsahuje obraz otisku po binarizaci a ztenčení
- Obraz matice Poincaré indexu
- Obraz nalezených značek ukončení a bifurkace
- Obraz značek po odstranění falešných

3. Okno *Načtení identifikovaného otisku*

Obsahuje obraz načteného otisku k identifikaci.

4. Okno *Extrakce identifikovaného obrazu*

Obsahuje obraz identifikovaného otisku po provedení extrakce markantů.

Panel Registrace otisku prstu

5. Tlačítko *Načtení otisku*

Po stisknutí tlačítka vybírá uživatel z adresáře databáze obsahující obrazy otisku ve formátu JPG.

6. Tlačítko *Binarizace*

Tlačítko slouží k převodu načteného obrazu otisku na binární obraz užitím prahové hodnoty.

7. Tlačítko *Poincaré index*

Vytvoření matice orientací, výpočet Poincaré indexu, součtu rozdílů diferencí orientací okolo prvku $[i, j]$ pro jednotlivé elementy matice a následné zobrazení jeho hodnot v šedotonovém obraze.

8. Tlačítko *Singulární body*

Znázornění singulárních bodů vrchol a delta.

9. Tlačítko *Nalezení markantů*

Nalezení markantů ukončení a bifurkace, založeno na hledání specifického rozložení pixelů okolo těchto bodů. Nalezené markanty jsou vykresleny - bifurkace zeleně, ukončení červeně.

10. Tlačítko *Odstranění markantů*

Odstranění falešně nalezených ukončení a bifurkací na okraji obrazu, vzniklých v průběhu vytváření šablony, které nenesou relevantní informaci.

11. Tlačítko *Zobrazení markantů*

Vykreslení singulárních bodů vrchol (zeleně) a delta (červeně), které byly nalezeny metodou Poincaré index a také markantů bifurkace a ukončení, spolu s těžištěm bifurkací a ukončení.

12. Tlačítko *Klasifikace*

Rozdělení otisků, na základě typografie do pěti skupin, dle Hedryho Fauldse. A následné stanovení parametrů sejmutého otisku a šablony markantů.

13. Tlačítko *Uložení*

Uložení informace o otisku registrované osoby a parametrů získaných na základě extrakce markantů.

Panel informace o registrovaném otisku

Zde jsou nastaveny parametry obrazu otisku při registraci šablony, které může zadat uživatel, jsou-li známy.

14. Pole pro editaci textu *ID*

Zde uživatel zadává identifikační číslo jako libovolný soubor znaků, tato položka není povinná.

15. Rolovací nabídka *Pohlaví*

Zde uživatel vybírá pohlaví osoby jejíž otisk je registrován, na výběr je hodnota F – žena, M – muž. Tato položka není povinná.

16. Rolovací nabídka *Typ*

Uživatel volí typ prstu, z možností pěti prstů na každé ruce. Tato položka není povinná.

Panel Identifikace otisku prstu

Obsahuje následující tlačítka, pomocí nichž je realizován proces identifikace.

17. Tlačítko *Načtení otisku*

Po stisknutí tlačítka vybírá uživatel z adresáře otisků k identifikace obraz otisku ve formátu JPG, který bude identifikován.

18. Tlačítko *Zpracování otisku*

Stiskem tohoto tlačítka je provedeno zpracování obrazu a extrakce markantů otisku určeného k identifikaci.

19. Rolovací nabídka *Velikost okolí pro srovnání*

Zde je možnost výběru velikosti okolí markantu obrazu z databáze, ve kterém bude nalezený markant v obrazu identifikovaného otisku považován za totožný. Uživatel má k dispozici možnost zvolit hodnotu v rozmezí 1-5 iterací, kde každá iterace představuje okolí o velikosti 3 pixely.

20. Rolovací nabídka *Praha*

Nastavení velikosti prahu, představuje nastavení minimálního stupně podobnosti, při jehož dosažení jsou otisky označeny za totožné. Uživatel má na výběr hodnoty 0 až 1, kdy 1 představuje absolutní shodu.

21. Tlačítko *Identifikace*

Tlačítko provádí porovnání šablony identifikovaného otisku s otisky databáze odpovídajícího typu, obraz identifikovaného otisku je transformován a následně je v něm porovnáváno rozložení markantů a jeho shodnost s rozložením v příslušném obrazu z databáze.

Panel Informace o registrovaném otisku

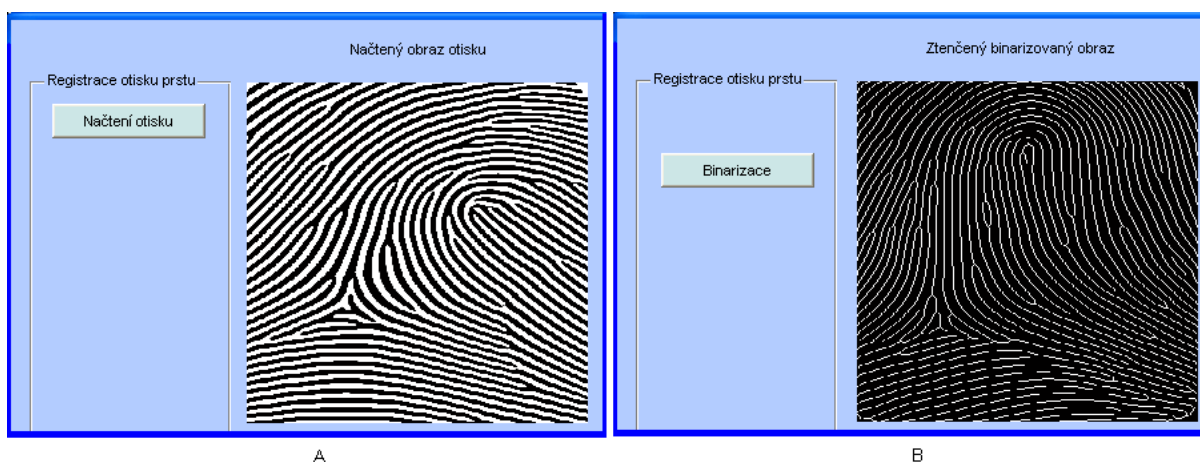
V tomto panelu jsou zobrazeny informace o šabloně, která je registrována do databáze.

Panel Výsledky

V tomto panelu je zobrazeno maximální skóre shody, které bylo nalezeno. Dále název souboru, popřípadě identifikační číslo registrovaného otisku, s jehož šablonou se shoduje šablona otisku identifikovaného.

11 Modelový příklad

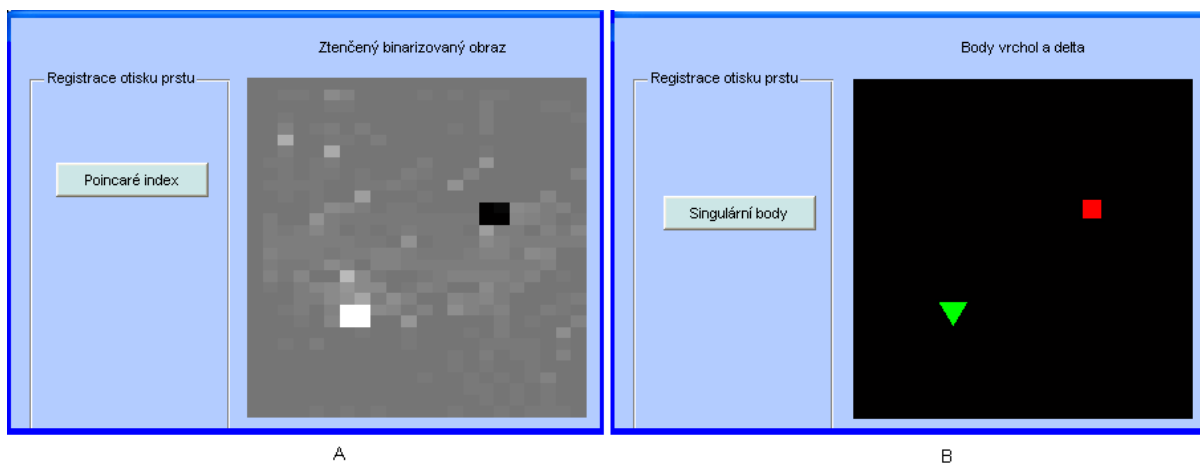
Stručný popis obsluhy programu.



Obrázek 24: A, Nahraný obraz otisk při registraci, zobrazen v okně hlavního panelu; B, skelet otisku vytvořen po binarizaci. Linie dosahují šířky jednoho pixelu a na obrázku jsou vykresleny bílou barvou, černá představuje pozadí.

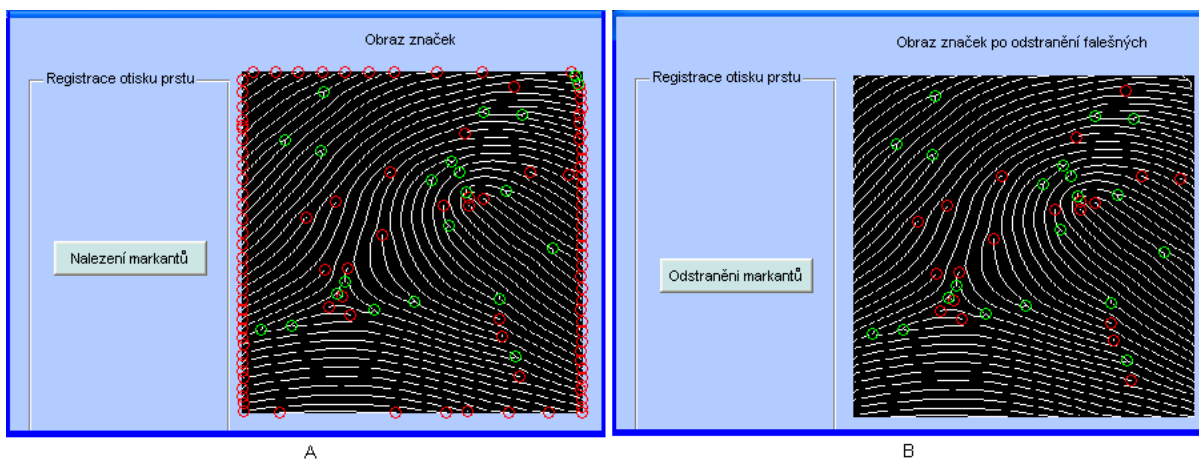
11.1 Registrace

1. Po stisknutí tlačítka *Načtení souboru* vybírá uživatel ze složky soubor formátu JPG, který se následně zobrazí v okně *Načtení registrovaného otisku*.
2. Tlačítkem *Binarizace* je nahraný obraz otisku převeden na binární a morfologickými úpravami jsou jeho linie ztenčeny na jednotnou šířku jeden pixel.



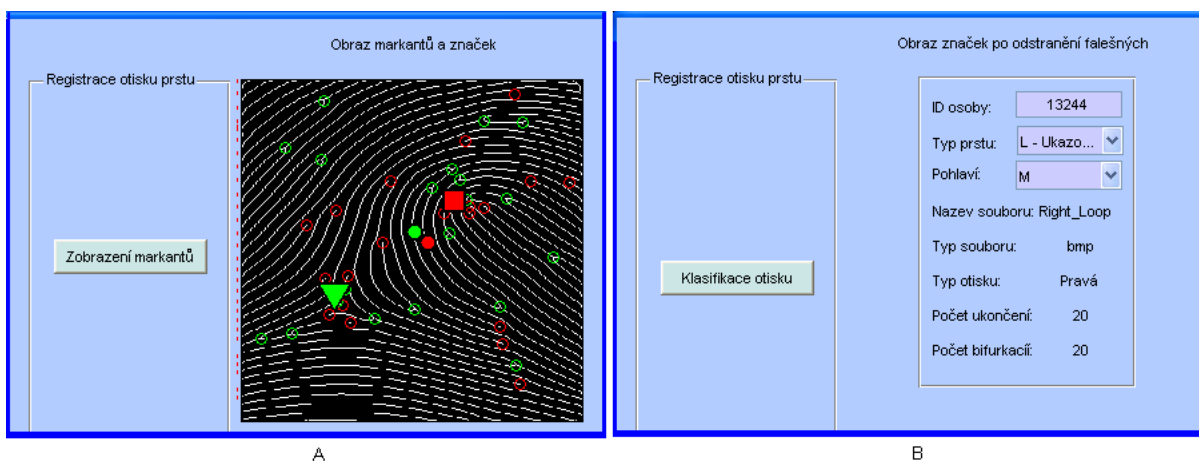
Obrázek 25: A, Poincarého mapa, pro jednotlivé elementy, šedá barva představuje elementy s hodnotou okolo nuly, bílá představuje kladnou hodnotu, černá zápornou. B, vykreslení odpovídajících singulárních bodů, zeleně bod delta, červeně vrchol.

3. Stiskem tlačítka *Poincaré index* jsou vypočítány rozdíly diferencí a jejich hodnoty vykresleny. Je vytvořena mapa Poincaré indexu.
4. Tlačítko *Singulární body* nalezne v Poincarého mapě singulární body a označí je specifickými symboly. Bod delta (zeleně), vrchol (červeně), (bifurkace) zeleně.



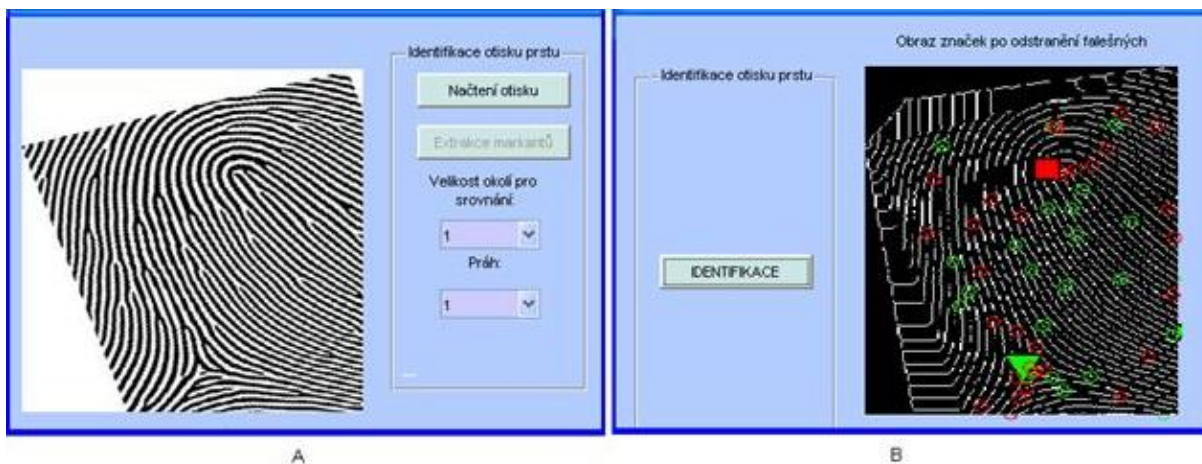
Obrázek 26: A, obraz nalezených značek, zelené kružnice představují bifurkace neboli rozdvojení, červená terminace neboli ukončení, na kraji jsou viditelné falešné ukončení; B, obrázek značek po odstranění falešných.

6. Tlačítko *Odstranění markantů* smaže krajní markanty nenesoucí relevantní informaci, která by se měla podílet na tvorbě šablony.



Obrázek 27: Vykreslení všech markantů, zelená kolečka bifurkace (rozdvojení), červená terminace (ukončení), zelený trojúhelník – bod delta, červený čtverec – vrchol, červené plné kolečko – těžiště terminací, zelené plné kolečko – těžiště bifurkací.

7. Tlačítko *Zobrazení markantů* vykreslí všechny specifické prvky otisku, které byly nalezeny, nyní již hovoříme o šabloně otisku. Jsou jimi singulární body vrchol a delta, značky (markanty) ukončení a terminace. Dále těžiště ukončení a rozdvojení.



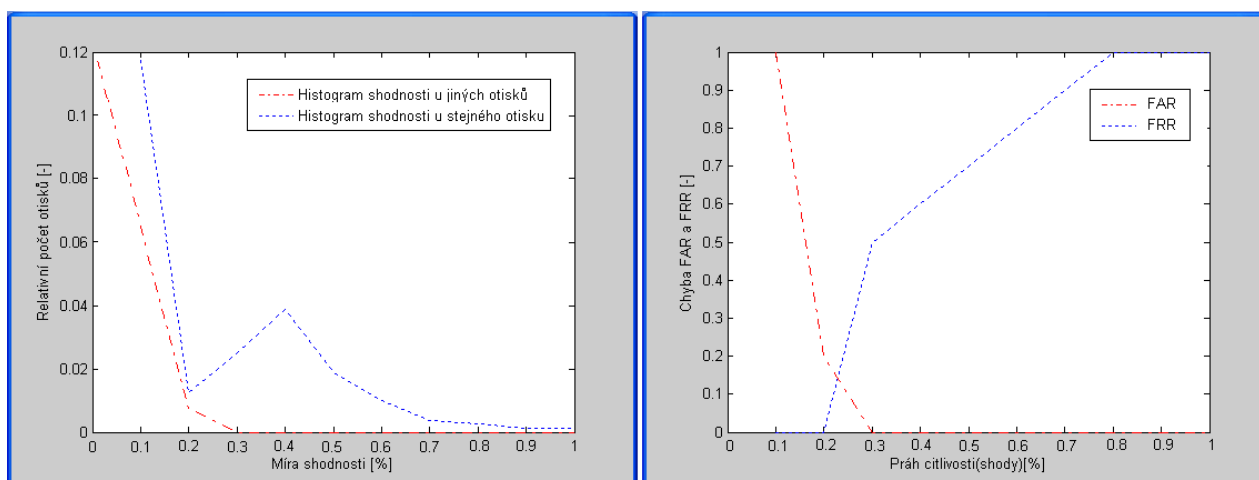
Obrázek 28: A, Nahraný otisk, který bude identifikován; B, šablona identifikovaného otisku.

11.2 Identifikace

8. Tlačítkem *Načtení otisku*, je obraz určený k identifikaci načten a následně tlačítkem *Extrakce markantů* podroben stejným algoritmům jako obraz při registraci. Výsledkem je opět šablona. V rolovací nabídce je možno nastavit velikost okolí pro srovnání, nebo je ponecháno na hodnotě 1, představující jednu iteraci, což znamená 6 pixelů.
9. Tlačítko *Identifikace* realizuje samotnou 1:N identifikaci, kdy je šablona identifikovaného otisku porovnávána s šablonami registrovaných otisků. Pokud maximální hodnota shody identifikované a registrované šablony přesáhne stanovený práh, je na čelním panelu zobrazena hodnota skóre a název, popřípadě identifikační číslo, šablony databáze, se kterou se shoduje.

12 Vyhodnocení programu dle parametrů FAR a FRR

Aplikace je vyhodnocena na základě histogramu rozložení totožných osob, představující procentuální příslušnost k dané míře shodnosti (0 až 1.) Dále dle indexů výkonnosti FAR a FRR. Parametr FAR reprezentuje pravděpodobnost chybného přijetí (jedná se o ztotožnění nesprávné osoby, tedy označení nesprávného jedince za zcela jinou osobu) a FRR pravděpodobnost chybného odmítnutí (jedná se o odmítnutí osoby, která je oprávněným uživatelem systému). Je třeba upřesnit, že při skóre podobnosti 0, hovoříme o absolutní neshodě dvou šablon otisků a při skóre shodnosti 1 o absolutní totožnosti.



Obrázek 29: A, Histogram rozložení ztotožnění oprávněných a neoprávněných uživatelů, testováno na generované databázi o 80 ti otiscích. B, Distribuce rozdělení parametrů FAR a FRR [22].

Histogram procentuálního rozložení při testování programu byl tvořen na základě testování deseti známých (registrovaných v databázi) a deseti neznámých otisků, které byly testovány na databázi o velikosti 80 otisků. Na grafu je patné nejvyšší četnostní zastoupení pro hodnotu shodnosti nula. A také to, jak nízké hodnoty se na ose y vyskytují. To vše je zapříčiněno přísným filtrem, který neporovnává otisky různých typů (například levá smyčka vs. oblouk). Otiskům různých typů je tedy přisouzena hodnota shody 0, ačkoliv by mezi těmito otisky byla zřejmě větší, pravděpodobně v rozmezí 0-0.1, ovšem za žádných okolností se nemůže jednat o otisky totožné. Tento přísný filtr může za jistých okolností způsobit chybu, ovšem výrazně zrychluje průběh porovnání.

Příklad:

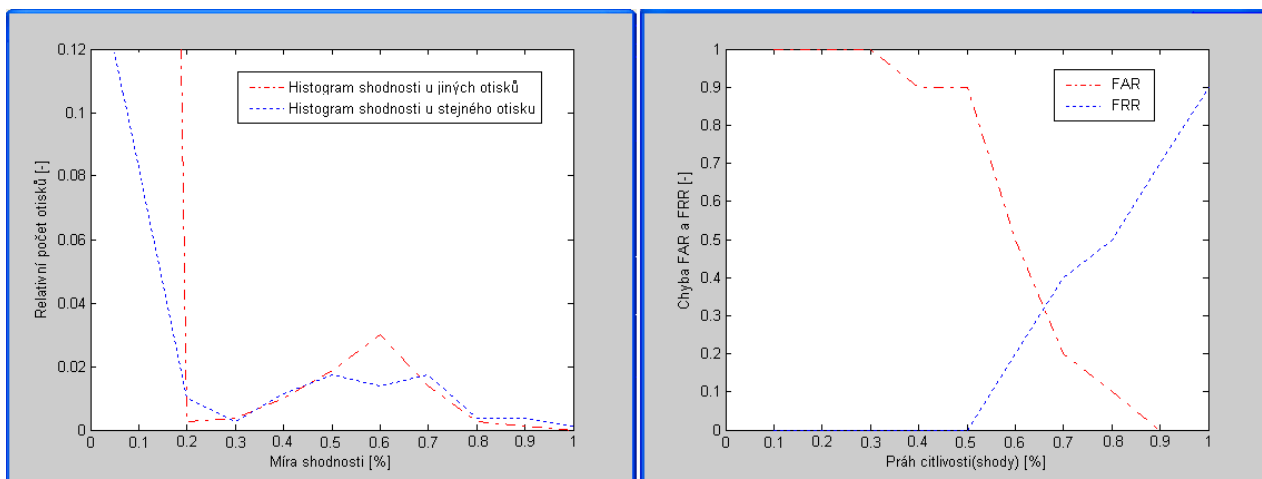
Pokud by byl otisk typu vír porovnáván s otisky všech typů databáze o velikosti 100 otisků, muselo by proběhnout všech 100 algoritmů zahrnujících také transformaci.

Pokud je otisk typu vír porovnáván pouze s otisky databáze totožného typu, tedy jen s otisky typu vír, předpokládá se, že celý algoritmus proběhne zhruba 30 krát.

Z grafu je patrné, že pouze minimální množství otisků se shoduje v míře větší než 0.9 respektive 0.7. To je zapříčiněno transformací. Ačkoliv jsou porovnávány dva totožné otisky, a jsou vůči sobě pouze otočeny o libovolný počet stupňů a následně transformovány zpět tak, aby si odpovídaly, transformace, která je založena na dvou bodech není nikdy naprosto dokonalá a proto není shoda jednotková. Největší relevantní četnost se vyskytuje pro otisky, které jsou zastoupeny v databázi, okolo 0.4 stupni podobnosti. Na základě tohoto měření je zjištěno, že dva totožné otisky (identifikovaný otisk je obsažen v databázi) mají vzájemné skóre podobnosti 0.3 až 0.5. Toto skóre se může jevit jako velmi nízká hodnota, ovšem z grafu pro otisky, které se v databázi nenacházejí, je patrné, že žádný otisk, který není registrován, nemá s otiskem v databázi větší shodu než 0.1. Závěrem tedy je, že algoritmus je úspěšný, ovšem velice přísný. Jeho striktnost je zapříčiněna nastavením malého okolí pro porovnávání, které je v tomto případě 9 pixelů.

Z grafu distribucí indexů FAR a FRR je patrné, že chyba falešného přijetí FAR, je již při prahu shody 0.3 nulová. To svědčí o faktu, že žádný otisk, který není obsažen v databázi, větší shody s registrovanými otisky nedosáhne. Z průběhu parametru FRR je plyne, že míra falešně odmítnutých otisků strmě stoupá již od 0.2 shodnosti a při nastavení prahu shody 0.3 až 0.4 je již vysoká míra chyby falešného odmítnutí, jsou tedy odmítány otisky, které mají být označeny za totožné.

Na základě tohoto vyhodnocení je pro identifikaci s velikostí srovnávacího okolí 1 iterace (6 pixelů) vhodné nastavit práh na 0.24. Pokud se bude šablona identifikovaného otisku shodovat s registrovaným otiskem ve větší míře, než je 0.24, budou obě šablony označeny za totožné.



Obrázek 30: A, Histogram rozložení ztotožnění oprávněných a neoprávněných uživatelů, testováno na generované databázi o 80 ti otiscích. B, Distribuce rozdělení parametrů FAR a FRR.

V následujícím grafu je provedeno vyhodnocení při nastavení většího okolí srovnání 6 iterací, jako identické se považují značky, jejichž vzájemná pozice se liší o více pixelů, v tomto případě 21). Tento fakt se projevil zvětšením četnosti identifikovaných otisků, které mají vyšší podobnost. Zvětšila se oblast pod křivkou zejména mezi 0.4 až 0.6 stupni podobnosti. Z toho plyne, že při nastavení většího okolí srovnání jsou si otisky více podobné. To se v grafu indexů FAR a FRR projeví posunutím průsečíku vpravo. Chyba falešného přijetí FAR dosahuje nulové hodnoty až při nastavení prahu 0.9, to je dáno faktem, že při takto velkém okolí se můžou rozličné šablony shodovat i v míře větší než 0.8. Míra falešného odmítnutí stoupá od hodnoty shody 0.5, to znamená, že při takto velkém okolí se každá identifikovaná šablona otisku, který je obsažena v databázi, shoduje s šablonou jí příslušnou v databázi registrovaných šablon. Pokud je práh nastaven na hodnotu 0.5, není žádný identifikovaný otisk falešně odmítnut, jelikož totožné otisky (lišící se rotací, poškozením atd.) se vždy shodují ve větší míře než je 0.5. Dále hodnota FRR stoupá a při prahu 0.8 je již odmítnuto velké množství identifikovaných šablon, které jsou obsaženy v registrované databázi. Jsou tedy odmítnuty chybně.

Na základě těchto poznatků byl stanoven práh shodnosti pro takto velké okolí na 0.64.

Pro standardní užití programu je doporučeno nastavení okolí srovnání na 21 pixelů, větší hodnota, a prahu na hodnotu 0.6, relativně nižší hodnota pro takto velké okolí. Jelikož je při identifikace podstatnější rozpoznat otisk je-li v databázi obsažen, nežli odmítnout otisk, který v databázi není obsažen.

13 Závěr

Seznámil jsem se s metodami analýzy a porovnávání otisků prstu, které jsou založeny na odlišných výpočetních algoritmech, lišících se v jednotlivých faktorech, postupech a zaměřením na konkrétní prvky zkoumaného otisku. Na základě těchto poznatků jsem jako vhodné řešení navrhovaného programu zvolil elegantní metodu nalezení singulárních bodů (vrchol, delta) Poincaré index a nalezení markantů (ukončení, bifurkace). Dále jsem prostudoval dostupné databáze, popsal jejich kvalitu, rozdíly a konstatoval problematiku vzájemného porovnávání na základě úspěšnosti. Na všech dostupných databázích jsem v průběhu realizace testoval tvořený program a došel ke zjištění, že kvalita reálných otisků je velice nízká a rozhodl se program finálně zaměřit na otisky téměř ideální, generované. Z toho důvodu jsem ručně generoval databázi obsahující 80 otisků.

Program realizující algoritmus na identifikaci osoby je vytvořen v programovém prostředí MATLAB a uživateli je k dispozici grafickým rozhraní. Program je založen na postupném zpracování obrazu, extrakci markantů a vytvoření šablony otisku. Zahrnuje možnosti registrace otisku, tedy tvorby databáze a možnost identifikace neznámého či známého otisku a následné stanovení míry identity. Na základě tohoto zpracování byla vytvořena databáze šablon registrovaných otisků, se kterou program pracuje. Aplikaci jsem testoval užitím známých a neznámých otisků a na základě takto stanovených výsledků jsem ohodnotil a popsal jeho úspěšnost, která byla vyhodnocena dle parametrů FAR a FRR.

Program by dále bylo možno rozšířit o porovnávání reálných otisků užitím čtečky otisků prstu s kapacitním senzorem, kterou jsem sestavil. Tato čtečka by mohla posloužit k získání otisků, popřípadě by bylo možno do procesoru čtečky nahrát vytvořený program. Dále se nabízí perspektivní možnost užití webkamery jakožto zdroje obrazu otisku a následné zpracování pomocí grafických toolboxů MATLABU.

14 Seznam literatury

- [1] RAK, R, et al. *Biometrie a identita člověka ve forenzních a komerčních aplikacích*. Praha : Grada Publishing, a.s., 2008. 624 s. ISBN 978-80-247-2365-5.
- [2] DRAHANSKÝ, M. *Biometrie*. 1. Brno: M. Dražanský, 2011. 294 s. ISBN 978-80-254-8979-6
- [3] STRAUS, J.; PORADA, V. *Kriminalistická daktyloskopie*. 1. Praha: Vydavatelství PA ČR, 2005. 285 s. ISBN 80-7251-192-0
- [4] LAM, H.K., et al. *A systematic Topological Method for Fingerprint Singular Point Detection. 10th Intl. Conf. on Control, Automation, Robotics and Vision. 2008, Hanoi, Vietman, 17-20 December 2008*, Computer Vision and Image Understanding Department Institute for Infocomm Research, Fusionopolis, Singapore s. 967-972.
- [5] JAYADEVAN, R, et al. A New Ridge Orientation based Method of Computation for Feature Extraction from Fingerprint Images. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 2006, 19, s. 149-154.
- [6] ZHANG, Jianxin, OU, Zongying; WEI, Honglei. Fingerprint Matching Using Phase-Only Correlation and Fourier-Mellin Transforms. Computer Society, proceeding on the Sixth International Conference of Intellignet, 2006, s. 1-4.
- [7] K. JAIN, A. *Handbook of biometrics*. New York: Springer, 2008. 556 s. ISBN 9780387710419

- [8] DOBEŠ, M. Rozpoznávání obrazu se zaměřením na identifikaci osob dle otisku prstu. Olomouc, 2000. 29 s. Dizertační práce. FEI VUT Brno
- [9] HARTMANN, J.. *Biometrické metody a modely v současné vědě a výzkumu: Sborník referátů*. Brno: ÚKZÚZ, 1998. 225 s. ISBN 8086051307
- [10] MAIO, D., et al. FVC2000: Fingerprint Verification Competition. In MAIO, D., et al. FVC2000: Fingerprint Verification Competition. 2000. University of Bologna, via Sacchi 3, 47023 Cesena - ITALY. : [s.n.], 2000. 9.
- [11] UZ, T. Minutiae-based template synthesis and matching for fingerprint authentication. *Computer Vision and Image Understanding*. 2009, 113, s. 979–992.
- [12] JEA, T.; GOVINDARAJU, V. G. Aminutia-based partial fingerprint recognition system. *Pattern Recognition*. 2005, 38, s. 1672-1684
- [13] YUN, E.; CHO, S. Adaptive fingerprint image enhancement with fingerprint image quality analysis. *Image and Vision Computing*. 2006, 24, s. 101-110 .
- [14] WANG, R.; BHANU, B. Predicting fingerprint biometrics performance from a small gallery. *Pattern Recognition Letters*. 2007, 28, s. 40-48.
- [15] MALTONI, D, et al. Handbook of Fingerprint Recognition. Second Edition. London: Springer, 2009. 483 s. ISBN 978-1-84882-253-5
- [16] MURRAY, J. D.; VANRYPPER, W. Encyklopedie grafických formátů. Druhé vydání. Praha 4 : Computer Press, 1997. 916 s. ISBN 80-7226-033-2.

- [17] ZAPLATÍLEK, K.; DOŇAR, Bohuslav. *MATLAB : tvorba uživatelských aplikací*. 1. Praha: BEN - technická literatura, 2004. 215 s. ISBN 80-7300-133-0
- [18] SEDLÁČEK, M.; ŠMÍD, R. *MATLAB v měření*. 2. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. 210 s. ISBN 978-80-01-03781-2
- [19] BALUCH, M . Volně dostupný SW pre spracovávanie otláčkov prstov. Brno, 2005. 36 s. Bakalářská práce. Masarykova Univerzita v Brně.
- [20] POLÁČKOVÁ, Z. Rešerše algoritmů pro snímání a zpracování otisku prstů. Brno, 2008. 54 s. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze.
- [21] KARBAN, P. *Výpočty a simulace v programech Matlab a Simulink*. 1. Brno: Computer Press, 2006. 220 s. ISBN 80-251-1301-9
- [22] KUBIŠ, M. Snímání otisku prstu. Brno, 2010. 75 s. Diplomová práce. FEKT VUT v Brně.

15 Seznam zkratek

CN	Crossing number (Metoda získání znaků)
EER bod	Equal Error Rate (Bod křivky ROC)
F	Female (Pohlaví Žena)
FAR	False Rejection Rate (Pravděpodobnost chybného odmítnutí)
FMT	Fourier-Mellinova transformace
FRR	False Acceptation Rate (Pravděpodobnost chybného přijetí)
GAR	Genuine Acceptance Ratio (Míra správně rozpoznaných)
ID	Identification number (Identifikační číslo)
M	Male (Pohlaví Muž)
ROC křivka	Receiver Operating Characteristic curve (Vztah mezi správnou pozitivitou a falešnou pozitivitou)

16 Přílohy

16.1 Obsah přiloženého CD

Jednotlivé adresáře na CD – ROM obsahují:

Data – databáze generovaných otisků prstu

Bakalářská práce – text bakalářské práce v PDF

Program - Program na registraci a identifikaci otisků prstu