

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

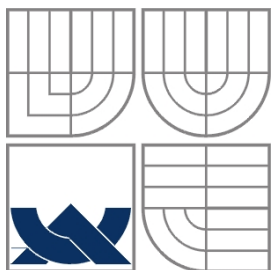
AUTOMATICKÉ ZLEPŠOVÁNÍ KVALITY OBRAZU
OTISKU PRSTU

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

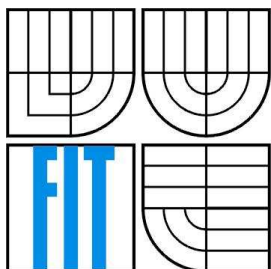
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

VOJTĚCH BLAHO

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÝCH SYSTÉMŮ
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER SYSTEMS

AUTOMATICKÉ ZLEPŠOVÁNÍ KVALITY OBRAZU OTISKU PRSTU

AUTOMATIC QUALITY IMPROVEMENT OF A FINGERPRINT IMAGE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

VOJTĚCH BLAHO

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ONDŘEJ DLUHOŠ

BRNO 2011

Abstrakt

Mnoho pořizovaných snímků otisků prstů je nekvalitních a obsahují nežádoucí šum. Pokud má být identifikace osoby pomocí otisku prstu efektivní, je nezbytné tento vstupní obraz vylepšit. V této práci budou implementovány metody na zlepšení kvality otisku podle Hong [4], avšak některé funkce budou implementovány podle novějších výzkumů. Jako závěrečný filtr bude použit Gaborův filtr. Aby se zjistilo, zda se obraz zlepšil, bude se k ohodnocení otisku využívat IDKit PC SDK od Innovatrics.

Abstract

Many of the acquired fingerprint image have poor quality and contain unwanted noise. In order to achieve efficient identification of a person by using its fingerprints, it is necessary enhance an input image. In this thesis we implement methods to enhance quality of the fingerprint according by Hong [4], but some functions will be implemented according to recent pieces of research. The Gabor filter will be used as a final filter. In order to evaluate a degree of enhancement, we will use IDKit PC SDK from Innovatrics.

Klíčová slova

Otisk prstu, zlepšení obrazu, kvalita, Gaborův filtr, markanty

Keywords

Fingerprint, image improvement, quality, Gabor filter, minutiae

Citace

BLAHO, Vojtěch: Automatické zlepšování kvality obrazu otisku prstu, bakalářská práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2011

Automatické zlepšování kvality obrazu otisku prstu

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením:

Ing. Ondřeje Dluhoše

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....
Vojtěch Blaho
30.3.2011 Datum

Poděkování

Děkuji svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Ondřeji Dluhošovi za důležité rady a odborné vedení této práce.

© Vojtěch Blaho, 2011

Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.

Obsah

| | |
|---|----|
| Obsah..... | 1 |
| 1 Úvod..... | 2 |
| 2 Analýza otisků a jejich reprezentace..... | 3 |
| 2.1 Obraz otisku prstu..... | 3 |
| 2.2 Analýza otisku..... | 4 |
| 2.3 Získání otisku..... | 7 |
| 2.3.1 Off-line získávání otisků..... | 7 |
| 2.3.2 Live-scan snímání otisků..... | 7 |
| 2.4 Proces porovnávání otisků..... | 8 |
| 3 Určení kvality obrazu..... | 9 |
| 3.1 Použitá metoda..... | 9 |
| 4 Vylepšení obrazu..... | 11 |
| 4.1 Algoritmus..... | 11 |
| 4.2 Normalizace..... | 12 |
| 4.3 Segmentace..... | 13 |
| 4.4 Odhad orientace obrazu..... | 14 |
| 4.5 Odhad hřebenové frekvence..... | 15 |
| 4.6 Výpočet masky..... | 16 |
| 4.7 Gaborův filtr..... | 17 |
| 4.8 Binarizace..... | 18 |
| 4.9 Vyhlazení binarizace..... | 19 |
| 5 Implementace..... | 20 |
| 5.1 Funkčnost programu..... | 20 |
| 5.2 Součásti programu..... | 20 |
| 5.3 Implementované rozšíření..... | 20 |
| 6 Experimentální výsledky..... | 22 |
| 6.1 Metoda určující kvalitu..... | 22 |
| 6.2 Normalizace..... | 23 |
| 6.3 Segmentace..... | 23 |
| 6.4 Odhad orientace..... | 24 |
| 6.4.1 Testy na generovaných obrazech..... | 25 |
| 6.4.2 Testy na reálných otiscích..... | 26 |
| 6.5 Odhad frekvence..... | 26 |
| 6.6 Výpočet masky..... | 28 |
| 6.7 Gaborův filtr..... | 28 |
| 6.8 Binarizace a vyhlazení binarizace..... | 29 |
| 6.9 Celkové zlepšení kvality..... | 30 |
| 7 Závěr..... | 32 |
| Literatura..... | 33 |
| Seznam příloh..... | 35 |
| Příloha A. Výstupy filtračních metod..... | 36 |
| Příloha B. Obsah CD..... | 38 |

1 Úvod

Biometrické rozpoznávání se týká použití charakteristických fyziologických a behaviorálních charakteristik (např. otisků prstů, vzhledu obličeje, struktury duhovky, stylu chůze, podpisu,...). Tyto tzv. biometrické identifikátory slouží pro automatické identifikování osoby. Vzhledem k tomu, že biometrické identifikátory nelze jednoduše ztratit, zapomenout, či sdílet s jinou osobou, jsou považovány za spolehlivější než tradiční metody založené na používání předmětů (např. klíče), nebo znalostí (např. heslo). Biometrické rozpoznávání může poskytovat lepší zabezpečení, vyšší účinnost a vyšší uživatelský komfort. Kvůli těmto důvodům jsou biometrické systémy stále nasazovány ve velkém množství vládních i civilních aplikacích. [9]

V této práci bude podrobněji rozebrána metoda týkající se určení kvality a zlepšení otisků prstů. Ovšem ne každý pořízený otisk je v takové kvalitě, se kterou by se dalo pracovat a hlavně, aby se tento špatný otisk dal porovnávat s ostatními. Bohužel někdy již není jiná možnost, než pracovat s tímto nekvalitním otiskem. Proto je třeba otisk vylepšit různými metodami, tak aby se dal později porovnávat a aby byly výsledky tohoto porovnání spolehlivé. V této práci bude prezentován právě jeden algoritmus na vylepšení otisků.

Mimo samotné vylepšení obrazu otisku prstu je třeba tento otisk ohodnotit. Nestačí pouze vizuální pohled na otisk, jelikož každý člověk má na věc vlastní náhled a hlavně, ne vždy je tento pohled správný. Je tedy třeba najít metodu, která přesně určí, zda je daný otisk kvalitní, popřípadě přesně určí jeho kvalitu.

Ve druhé kapitole se popíše teoretická část ohledně otisků. Tato kapitola zahrnuje popis prvků, které udávají vlastnosti obrazu otisku, informuje o základních vlastnostech otisku a podává informace o metodách snímání otisků prstů. V následující třetí části bude podrobněji rozebrán způsob určování kvality obrazu, zejména zde bude popsán algoritmus od společnosti Innovatrics. Čtvrtá kapitola bude popisovat jednu z metod na vylepšení obrazu otisku prstu, kde hlavní funkcí pro vylepšení je Gaborův filtr. V další kapitole se poté rozebere způsob implementace programu a jeho základní vlastnosti. Předposlední část bude prezentovat experimentální výsledky a vliv jednotlivých výpočetních metod na celkový výsledný obraz. Nakonec, v poslední sedmé části, se shrnou nejdůležitější závěry.

2 Analýza otisků a jejich reprezentace

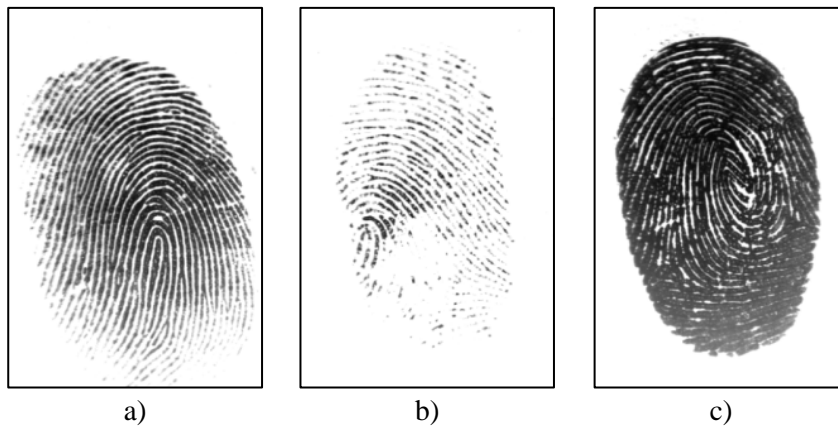
Kvalita hřebenové struktury ve snímku otisku prstu je důležitá vlastnost, protože hřebeny nesou informace o charakteristických znacích potřebných pro extrakci markantů. V ideálním případě, v dobře definovaném otisku, by měly mít střídající hřebeny a údolí v lokálním místě konstantní směr. Tato pravidelnost usnadňuje detekci hřebenů a následně umožňuje přesně extrahovat markanty ze ztenčeného obrazu. V praxi však nemusí být otisk vždy dobře definovaný kvůli existujícímu šumu, který znesnadní srozumitelnost hřebenových struktur. Toto poškození může být zapříčiněno v důsledku změn v kůži, jako jsou jizvy, vlhkost, špína, a nejednotný kontakt se zařízením, které otisky prstů zachycuje. Technik pro vylepšení obrazu zaměřené ke snížení hluku a zvýšení definice hřebenů proti údolím existuje v současné době mnoho. Tato kapitola obsahuje základní informace o otiscích, o jejich zaznamenávání a o metodice vylepšení snímku otisku prstu [14].

2.1 Obraz otisku prstu

Hlavní parametry charakterizující digitální otisk jsou podle [9] následující:

- *Rozlišení*: Označuje počet bodů nebo pixelů na palec (dpi). 500dpi je minimální rozlišení pro skenery, které používá FBI, a toto rozlišení je splňováno řadou komerčních přístrojů; 250 až 300dpi je pravděpodobně minimální rozlišení, které umožňuje výpočet algoritmů pro nalezení markantů v otisku prstu. Pozice markantů hraje hlavní úlohu v porovnávání otisků prstů, protože většina algoritmů je založená právě na porovnávání markantů v otiscích.
- *Plocha*: Velikost obdélníkové oblasti snímána pomocí čtečky otisků prstů, je dalším základním parametrem. Čím větší plocha, tím více hřebenů a údolí může být zachyceno a otisk se stává zřetelnějším. Plocha větší, nebo rovna jednomu inch^2 (jak to vyžaduje specifikace FBI), umožňuje získat plně ostrý otisk prstu. Ve většině nedávno získaných otisků prstů, je velikost oblasti obětována na úkor menší velikosti zařízení. Malá snímaná oblast u scannerů neumožňují, aby byl zachycen celý otisk a uživatelé se tak setkávají s potížemi opakovaného předkládání stejné části prstu ke scanneru. To může vést k malým přesahům mezi různými pořízenými stejného prstu, což vede k falešnému porovnávání otisků.
- *Počet obrazových bodů*: Počet pixelů v obrazu otisku prstu lze jednoduše odvodit z rozlišení a plochy otisku prstu: scanner pracující s rozlišením (r) dpi na ploše o výšce (h) a šířce (w) inch^2 má $rh \times rw$ pixelů. Je-li plocha vyjádřena v mm^2 , musí existovat převod na počet pixelů, který je daný: $r \cdot (h/25,4) \times r \cdot (w/25,4)$. Například, scanner pracující v rozlišení 500dpi na ploše 20,32 x 15,24 mm vytváří obraz $500 \cdot (20,32/25,4) \times 500 \cdot (15,24/25,4) = 400 \times 300$ pixelů. Je jasné, že každá hodnota (rozlišení, plocha, počet pixelů) může být jednoznačně vypočítána na základě dalších dvou proměnných.
- *Bitová hloubka* (dynamický rozsah): Označuje počet bitů použitých k zakódování hodnoty intenzity každého pixelu. Barevná informace není při zpracovávání otisků prstů považována za užitečnou, a proto jsou téměř všechny dostupné otisky prstů snímány v odstínech šedi. FBI standart pro barevnou hloubku pixelu je 8bitů, což dává 256 úrovní šedi. Některé senzory ale zachytí ve skutečnosti jen 2 nebo 3 bity a postupně pomocí softwaru roztáhnou rozsah dynamicky až na 8 bitů.

- *Geometrická přesnost:* Tato vlastnost je obvykle specifikována podle maximálního geometrického zkreslení, které zavádí zařízení, pořízením snímku. Je vyjádřena jako procentní podíl ve vztahu na x a y orientaci. Většina optických snímačů otisků prstů zavádí geometrické zkreslení, které pokud není kompenzováno, změní vzor otisku prstu v závislosti na relativní pozici prstu vůči povrchu snímače.
- *Kvalita obrazu:* Není jednoduché přesně definovat kvalitu snímku otisku prstu. Daleko obtížnější je ale definovat kvalitu nebo stav samotného prstu. Ve skutečnosti, když je velmi nízké zvýraznění hřebene (zejména u dělníků a starších osob), když jsou prsty příliš suché nebo mastné, nebo pokud jsou nesprávně přiloženy na scanner, tak většina scannerů produkuje nekvalitní obrázky (viz. *Obrázek 2.1*).

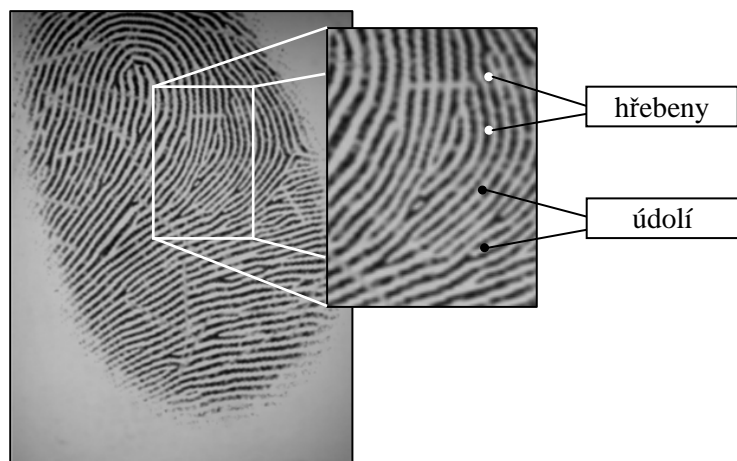


Obrázek 2.1: Příklady otisků prstů: a) kvalitní otisk; b) otisk zanechaný suchým prstem; c) otisk zanechaný mastným prstem;

Všechny výše uvedené vlastnosti mají vliv na přesnost rozpoznávání systému a nemají samostatný vliv na výkonu. Například předpokládejme, že je 1% pokles přesnosti, kdy rozlišení kleslo z 500 na 400 dpi, a je 1% pokles v přesnosti, kdy se bitová hloubka změnila z 8bitů na 4bity. Pokud se současně sníží rozlišení na 400dpi a bitová hloubka na 4bity, může se snížit přesnost o více než 2%.

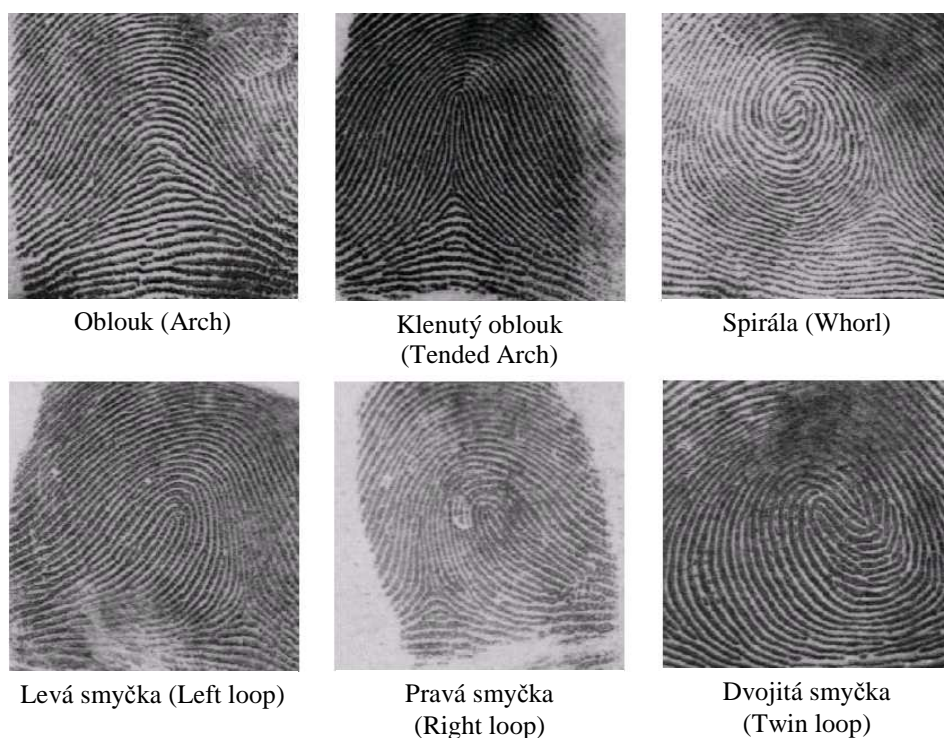
2.2 Analýza otisku

„Otisk prstu je vytvořený pokožkou tehdy, když se prstem přitlačí na hladký povrch.“ [11] Nejvýraznější strukturální charakteristika otisku prstu je vzor prokládaný hřebeny a údolími. Hřebeny (také nazývány papilární linie) jsou většinou tmavé, údolí jsou poté naopak většinou světlé (viz. *Obrázek 2.2*). Hřebeny se liší v šířce od $100\mu\text{m}$, pro velmi tenké hřebeny, do $300\mu\text{m}$ pro silné hřebeny. Obecně platí, že perioda šířky hřebenu/údolí je asi $500\mu\text{m}$. Povrchové zranění jako jsou popáleniny, odřeniny nebo řezy nemají vliv na základní strukturu hřebene a původní vzor je duplicitní v každé nově narostlé kůži [9].



Obrázek 2.2: Hřebeny a údolí v obrazu otisku prstu [11]

Hřebeny a údolí často běží souběžně, někdy se rozdvojí a někdy skončí. Při analýze na globální úrovni, vykazuje vzor otisku prstu jednu nebo více oblastí, kde hřebeny předpokládají výrazné tvary (vyznačují vysokou úroveň zakřivení, časté ukončení, atd.). Tyto regiony (tzv. singularity nebo singulární body) mohou být zařazeny do tří kategorií: smyčka, delta a spirála. Singulární body označované smyčka, delta a spirála jsou typicky charakterizovány tvary \cap , Δ a O [9]. Někdy jsou tyto základní kategorie rozšířeny o další typy (viz. Obrázek 2.3).

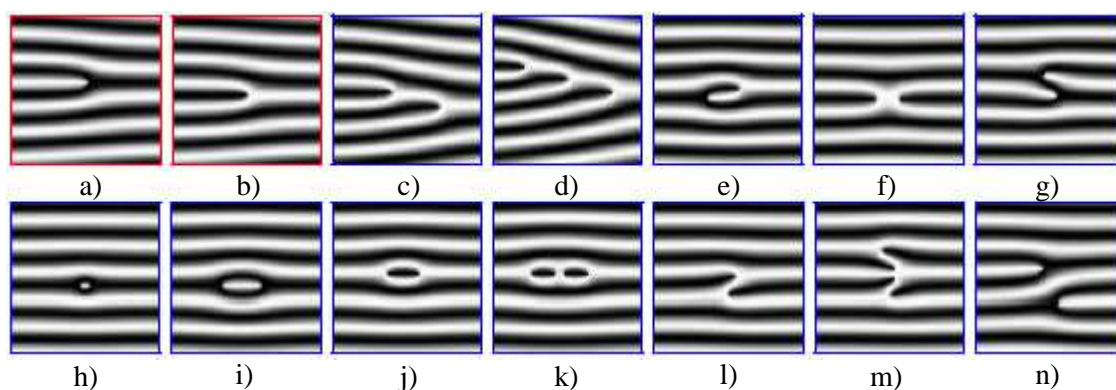


Obrázek 2.3: Třídy otisků prstů [3]

Mnoho algoritmů předzpracovává otisky prstů podle orientačního bodu nebo středu, tzv. jádra. Jádro odpovídá střed singularity. Pro otisky prstů, které neobsahují singularity typu smyčky nebo víru (např. ty, které patří do třídy Arch na Obrázku 2.3), je obtížné definovat jádro. V těchto případech je obvykle jádro definováno v bodě maximální křivosti hřebene. Bohužel, vzhledem k vysoké variabilitě vzorů otisků prstů, je obtížné spolehlivě lokalizovat jádro ve všech otiscích prstů.

Singulární oblasti jsou běžně používány pro klasifikaci otisků prstů (viz. *Obrázek 2.3*) do třídy, s cílem zjednodušit vyhledávání otisků v databázích [9].

Na lokální úrovni otisku jsou další důležité rysy tzv. markanty. Markant je malý detail, v otisku prstu, který ukazuje různé nesouvislosti v průběhu papilárních linií. Například, hřeben může náhle skončit (*ukončení*), nebo se rozdělit na dva hřebeny (*bifurkace*). Sir Francis Galton (1822-1911) byl první, kdo kategorizoval markanty a konstatoval, že zůstanou beze změny po celý život jedince (Galton, 1892). Markanty jsou někdy na jeho počest nazývány "Galton detaily". Přesné dělení markantů není dané (nejběžnější typy jsou znázorněny na *Obrázku 2.4*) [9]. Základní prvky jsou ale pouze první dva typy markantů (ukončení a bifurkace), ostatní jdou z těchto dvou typů složit (např. dvojitá vidlička lze složit z dvou po sobě následujících bifurkací).



Obrázek 2.4: Typy markantů: a) ukončení; b) bifurkace; c) dvojitá bifurkace; d) trojitá bifurkace; e) hák; f) křížení; g) boční kontakt; h) bod; i) interval; j) jednoduchá smyčka; k) dvojitá smyčka; l) jednoduchý most; m) dvojitý most; n) průsečná linie [3]

Pokud se otisk získá ve vysokém rozlišení (např. 1000dpi), je možné jednoznačně identifikovat v otisku póry, které se mohou pohybovat ve velikosti od 60 do 250 μ m (viz. *Obrázek 2.5*). Ve skutečnosti je každý hřeben pokožky (vnější kůže) posetý póry po celé své délce a ukotven do dermis (vnitřního pláště). Přestože informace o pórech (počet, umístění, tvar, atd.), mají vysokou rozlišovací způsobilost, jen velmi málo automatických přiřazovacích technik používá póry, protože jejich spolehlivá detekce vyžaduje velmi vysoké rozlišení a kvalitní otisky prstů [9].



Obrázek 2.5: Část otisku prstu, kde jsou vidět póry

2.3 Získání otisku

Proces získávání otisku lze rozdělit na přímý (live-scan) nebo nepřímý (off-line). Rozdíl v těchto metodách je ve způsobu sejmutí otisku. Buď může být získán přímo do digitální podoby, pak se jedná o live-scan, nebo se prvně sejme na nějaký předmět a až poté se přenesou do digitální podoby některou další metodou. V tomto případě se jedná o off-line metodu [10].

2.3.1 Off-line získávání otisků

Přestože první otisky prstů byly získávány před více než 30 lety, v dnešní době se v aplikacích na získání otisků stále používá inkoustová technika. V inkoustové technice je prst pokožky nejprve natřen černým inkoustem a poté se přitlačí na papírovou kartu. Tato karta je pak převedena do digitální podoby pomocí scannerů papíru, nebo pomocí CCD kamery. Výchozí rozlišení je 500dpi. Pokud není tato technika provedena pečlivě, produkuje snímky s chybějícími informacemi díky nadbytku nebo nedostatku inkoustu. Na druhou stranu, výhodou této metody je možnost získání váleného (též rolovaného) otisku, který obsahuje více informací. Na rozdíl od otisku získaného pouze přitlačení prstu na povrch snímače (tzv. otisk píchaný). Byly tedy zavedeny nové hardwarové a softwarové technologie s cílem umožnit live-scan výrobu válených otisků [9].

V kriminalistice se získává zvláštní druh otisků prstů, tzv. latentní otisky. Stálé pocení z pórů otisků prstu, zanechává na povrchu bříška prstu vlhký a mastný film. Při dotyku s předmětem (např. sklem), je vlhký a mastný film přenesen na předmět a zanechává na něm dojem hřebenu a údolí. Právě takto zanechaný otisk se nazývá latentní. Tento druh otisků prstů je obvykle špatně viditelný a jejich detekce často vyžaduje jiný způsob získání a zlepšování. V minulosti byly nejpoužívanější metody na získání latentního otisku tyto: posypání práškem, postříkání ninhydrinem, aplikací jódu nebo namáčení do dusičnanu stříbrného. Tyto techniky jsou za normálních okolností velmi účinné, ale nejsou zcela vhodné, když jsou otisky prstů otisknuty na zvláštních objektech nebo površích (např. mokré povrchy, neošetřené dřevo, lidská kůže). Proto byly zavedeny nové postupy na základě chemických činidel, či na metodách kombinujících více metod [9].

2.3.2 Live-scan snímání otisků

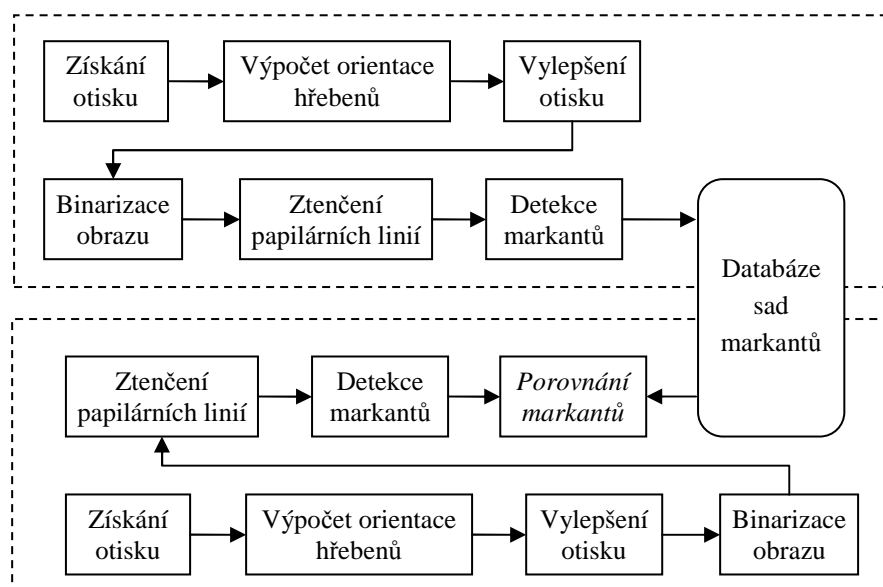
Live-scan metoda je termín, který označuje získání obrazu otisku prstu bez použití mezikroku v podobě přenesení otisku na jiné medium (např. papír). Existuje několik snímacích metod využívajících vlastnosti struktury prstu. Nejdůležitější část ze scannerů otisků prstů je snímač (neboli snímací prvek), což je složka, kde se získává otisk. Stávající senzory využívají některou z těchto technologií: optické, kapacitní, průtahové, termické, e-field, ultrazvukové,... Tyto snímače, které pracují přímo s otiskovaným prstem, umožňují nasazení v on-line systémech. Kvalita otisku pak záleží na čistotě a jasu určení hřebene na povrchu prstu a také na rozlišení senzoru. Většina snímačů pracuje na způsobu přiložení prstu, nikoliv na válení nebo rolování. Prst se přiloží na snímací plochu zařízení a následovně se zpracuje struktura prstu. Dochází zde tedy k menší deformaci otisku a tím i ke zvýšené kvalitě oproti off-line metodám. [11] Ovšem toto pravidlo neplatí vždy. Například průtahové scannery nepodávají kvalitní snímky a použití inkoustu by bylo v tomto případě kvalitnější.

2.4 Proces porovnávání otisků

V literatuře lze nalézt mnoho přístupů k ověření otisků prstů. Většina stávajících přístupů vezme jako rozlišovací prvek otisku prstu markant. Markanty lze obvykle velmi těžko odhalit přímo ze snímku otisku prstu kvůli existenci šumu. Metody na porovnávání otisků jsou účinné, pokud dojde právě ke snižování šumu. Také je obvykle velmi důležité, zjistit správnou pozici markantu, aby se později provedlo platné ověření otisku [15].

Nejoblíbenější metodou je odhalení markantů ze ztenčeného snímku otisku prstu. Šum v šedo-úrovňovém obraze může způsobovat nalezení falešných markantů v odpovídajícím ztenčeném obraze. Proto je vylepšování obrazu obvykle zaměřené na degradování šumu. *Obrázek 2.6* ukazuje obecné schéma systému ověřování otisku prstu [15]. V podstatě se vždy musí nějak získat vstupní obraz otisku. Metody jakými lze tento otisk získat byly popsány výše. Poté je třeba pomocí mnoha kroků, včetně výpočtu směru hřebenů, prahování obrazu, ztenčování obrazu, atd. dojít až k detekci markantů. Následně jsou pouze markanty a jejich umístění uloženy do databáze odkud se budou později porovnávat s dalšími otisky.

Mezi těmito kroky, je nejvíce časově náročné vylepšení obrazu. V minulosti již bylo navrženo k vylepšení obrazu otisku prstu mnoho přístupů. Většinou se jedná o přístupy založené na Fourierově transformaci, Gaborovém filtru, waveletové transformaci, přístupy založené na orientaci, binarizaci, konvolučních šablonách atd. Vylepšení Gaborovým filtrem je klasická metoda pro vylepšení snímku otisku prstu a dává poměrně dobrou kvalitu zlepšení. Ovšem je poměrně těžké postavit rychlý program na vylepšení otisku založený na této metodě, což je její hlavní nevýhoda.



Obrázek 2.6: Obecný algoritmus na identifikaci pomocí otisků prstů [15]

3 Určení kvality obrazu

K tomu abychom mohli vstupní obraz správně ohodnotit, nestačí pouze vizuální pohled a subjektivní určení kvality obrazu, ale musíme využít některou ze speciálních metod zabývajících se touto problematikou.

Jednou z možností, jak určit kvalitu obrazu, je využít normu ISO/IEC TR 29794-4 z roku 2010, která slouží právě k určování kvality [7]. Bohužel, v prvotním studování jsem na tuto normu nenarazil. Jelikož je poměrně nová, upozornil mě na ni až můj vedoucí, avšak až ke konci práce, kdy již nebyl čas tuto metodu implementovat. Navíc normu lze v současné době (březen 2011) zakoupit za 86 CHF (švýcarských franků), což není zrovna malá suma.

Druhým způsobem je možno implementovat některou z veřejně dostupných metod. Zde ale narážíme na problém, že veřejně dostupné metody nejsou orientovány na výše psanou normu. Proto každá metoda používá svůj vlastní algoritmus a každá dává zcela jiné výsledky. Dále zde narážíme na problém se složitostí implementace, kdy je poměrně těžké získat rozumný postup na implementaci a hlavně těchto metod není mnoho. Pokud už si vyhledáme nějaký slušný článek na implementaci funkce určující kvalitu obrazu, je většinou dostupný za velkou částku peněz.

Poslední možností je využívat SDK některého z výrobců zabývajících se touto oblastí. Bohužel ani v tomto směru není mnoho způsobů, protože výrobců, zabývajících se tímto problémem je ve světě málo. Zde jsme se dívali po SDK, které jsou dostupné zdarma. V této kategorii jsme narazili na dvě společnosti. První z nich byl Národní Institut Standardů a Technologií (NIST). Ten sice nabízí volně šiřitelné SDK, kde je i implementovaná metoda na určení kvality, avšak tato metoda vrací kvalitu v rozsahu 1 (nejlepší) až 5 (nejhorší). Toto ohodnocení ale pro naši práci postrádá větší smysl, jelikož potřebujeme větší rozsah stupnice pro hodnotu kvality obrazu. Větší rozsah stupnice nám pomůže lépe určit, jak byl náš proces vylepšování kvality úspěšný.

Druhou společností nabízející zdarma dostupné SDK je Innovatrics. Toto SDK si podrobněji popíšeme v následující kapitole.

3.1 Použitá metoda

Jak již bylo popsáno výše, k určení kvality obrazu využíváme v naší práci IDKit PC SDK (dále jen SDK) od Innovatrics. Předností tohoto SDK je, že dokáže určit kvalitu obrazu v rozsahu 0 (nejhorší) až 100 (nejlepší). Dále je pro nás také důležité, že se jedná o shareware licenci časově omezenou na 6 měsíců. Bohužel postup, jak získat tuto licenci není zcela jednoduchý. Proto je návod na pořízení licence tohoto SDK popsán v *dokumentaci* přiložené na CD.

Jak je popisováno na stránkách Innovatrics [6], v obraze se bere v úvahu využitelná oblast otisku, tedy místa, kde lze rozeznat popředí od pozadí snímku. Hlavní metoda na určení kvality v tomto SDK je `IEngine_AddFingerprintFromFile()`. Důvodem toho, že téměř každý scanner pracuje s jinými rozměry obrazu, provádí tato funkce úpravu rozměrů obrazu tak, aby se získaly srovnatelné výsledky při použití různých senzorů otisků. Tato funkce nejprve vypočítá celkovou plochu otisku prstu, která je klasifikována jako „využitelná“. Následně poté se provede normalizace obrazu, transformace z celkové využitelné plochy na kvalitu obrazu (celková plocha / využitelná plocha). Normalizace je provedena podle následujícího pseudokódu:

```
if (šířka > 350) šířka = 350;  
if (výška > 450) výška = 450;  
if (šířka < 260) šířka = 260;  
if (výška < 300) výška = 300;  
kvalita /= šířka / výška;  
if (kvalita > 100) kvalita = 100;
```

Šířka a výška je velikost obrazu (velikost plátna).

Dále je na výše zmíněných stránkách napsáno, že postačující kvalita pro pozdější identifikaci osoby je 40 [6]. V pozdějších kapitolách ale bude ukázáno, že mnohokrát není kvalita určována zcela přesně a obraz se bude muset hodnotit podle subjektivních pocitů.

Knihovna SDK akceptuje jako vstupní obrazy otisků prstů uložené v různých formátech. Podporuje BMP, PNG, JPEG, GIF, TIFF a WSQ obrázky, kde WSQ je formát navržený speciálně pro efektivní kompresi snímku otisku prstu.

4 Vylepšení obrazu

Metod na vylepšení obrazu otisku existuje v současné době již celkem mnoho. Kupříkladu metody založené na binarizaci, Fourierově transformaci, Gaborovém filtru, či konvolučních šablonách. Tyto metody jsou poměrně pěkně porovnány v [11], kde jsou uvedeny jejich hlavní výhody i nevýhody. Právě metody založené na Gaborových filtrech jsou v současné době nejvíce rozšířeny v nejrůznějších modifikacích. V této kapitole budou popsány hlavní kroky algoritmu na vylepšení otisku právě touto metodou.

4.1 Algoritmus

Tato část popisuje metody na výstavbu technik pro vylepšení obrazu. Zde navržený a implementovaný algoritmus je postaven na technikách vyvinutých podle [4], které jsou založeny na Gaborových filtrech naladěných na místní orientaci hřebenu a hřebenovou frekvenci. Tento algoritmus se skládá z pěti základních etap:

- normalizace
- odhad hřebenové orientace
- odhad hřebenové frekvence
- výpočet masky
- Gaborův filtr

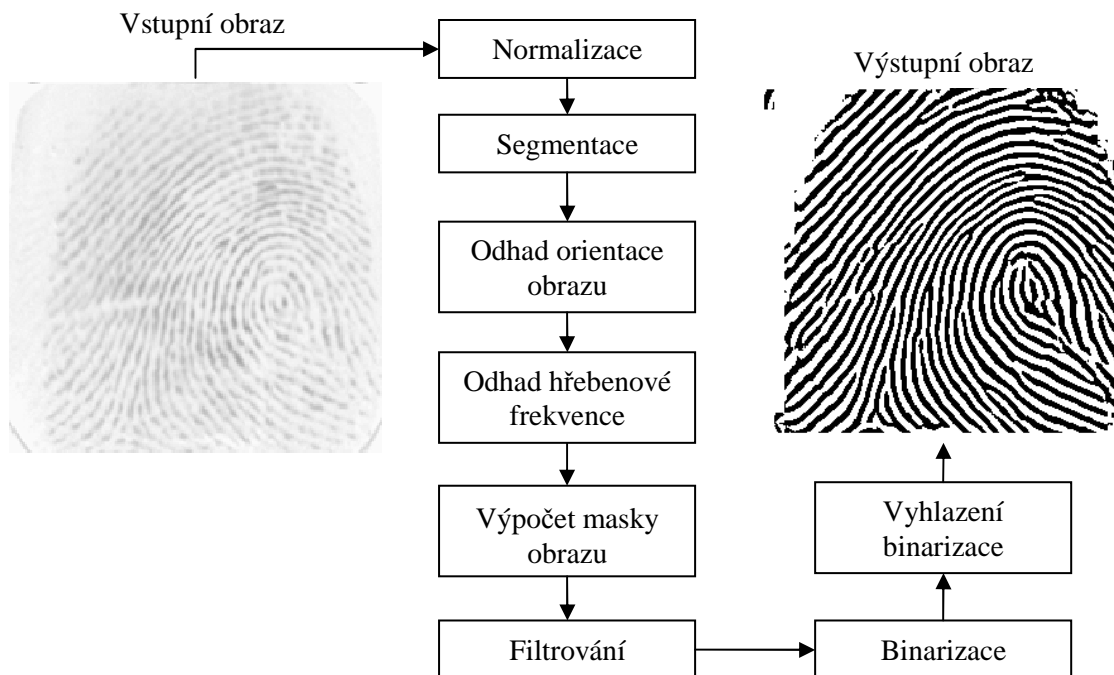
Mimo těchto pět základních etap budou implementovány další tři etapy. Jedna z nich slouží k rychlejšímu procesu vylepšení (segmentace) a další dvě upravují výsledný obraz:

- segmentace
- binarizace
- vyhlazení binarizace

Zde navrhovaný přístup je zakreslen níže (viz. *Obrázek 4.1*) a získává podobu následujícího algoritmu:

- *Normalizace*: vstupní obraz otisku prstu je normalizován tak, že známe minimální a maximální šedo-úrovňovou hodnotu obrazu a upravíme jeho barevnost pro pozdější snazší práci s tímto obrazem
- *Segmentace*: využívá normalizovaný obraz a odděluje na něm využitelné a nevyužitelné části pro následné získávání informací
- *Odhad orientace obrazu*: orientace hřebenu v obraze se odhaduje z normalizovaného a segmentovaného vstupního obrazu otisku prstu
- *Odhad hřebenové frekvence*: frekvence hřebenu obrazu se odhaduje z normalizovaného a segmentovaného vstupního obrazu otisku prstu a z odhadu orientace hřebenu v obraze
- *Výpočet masky*: maska je získána pouze z odhadnuté hřebenové frekvence obrazu a určí, které bloky obrazu se dají vylepšit následným Gaborovým filtrem a které ne
- *Filtrování*: výstupní obraz vznikne z normalizovaného a segmentovaného vstupního obrazu otisku prstu, odhadu orientace, hřebenové frekvence obrazu, masky a vylepšení Gaborovým filtrem [4]

- *Binarizace*: binarizace převede filtrovaný obraz ve stupních šedi, na černobílý obraz
- *Vyhlazení binarizace*: proces vyhlazení vezme černobílý obraz a pomocí úprav odstraní některé nadbytečné informace z obrazu



Obrázek 4.1: Námí navrhovaný vývojový diagram algoritmu na vylepšení obrazu [4]

V následujících podkapitolách se zaměříme na jednotlivé části tohoto algoritmu a podrobně si popíšeme jejich vlastnosti.

4.2 Normalizace

V první části, u většiny navrhovaných přístupů, bývá fáze segmentace. V této práci však bude implementována metoda segmentace založená na orientaci hřebenů, proto bude efektivnější provést fázi segmentace až před krokem odhadu orientace a některé z dílčích výpočtů využít ihned u zmiňované fáze odhadu orientace.

V tomto programu bude prvním krokem při zlepšování obrazu otisku prstu metoda normalizace. Vzhledem k nedokonalosti snímání otisku prstu se stává, že barevné hodnoty neobsadí celou škálu 255 odstínů šedi, ale pouze její část. Normalizace se proto používá ke standardizaci hodnot intenzity obrazu tím, že nastaví rozsah šedo-úrovňových hladin do celého rozsahu. Nechť tedy $I(x, y)$ představuje původní šedo-úrovňovou hodnotu na pixel (x, y) a $N(x, y)$ představuje normalizovanou hodnotu odstínu šedi na pixel (x, y) . Normalizovaný obraz se rozdělí na nepřekrývající se bloky o velikost $w \times w$ (16×16) a normalizace je poté definována rovnicí (1):

$$N(x, y) = \left(N_{\max} * \frac{I(x, y) - I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} \right) + N_{\min} \quad (1)$$

kde I_{min} je minimální šedo-úrovňová hodnota původního obrazu a I_{max} je maximální šedo-úrovňová hodnota původního obrazu. Hodnoty N_{min} a N_{max} znamenají totéž co I_{min} a I_{max} , pouze pro normalizovaný obraz. V našem případě N_{min} nabývá hodnoty 0 a N_{max} hodnoty 255.

Hlavním účelem normalizace je zvýšit rozdíly hodnot odstínů šedi podél hřebenů a údolí, což následně usnadňuje další kroky zpracování obrazu.

4.3 Segmentace

Pojem segmentace je převážně užíván s označením oddělování částí otisku prstu (popředí) od pozadí. Oddělování oblastí otisku prstu je užitečné, aby se zabránilo zpracovávání obrazu v zašuměných oblastech otisku, nebo v pozadí, kde stejně nemáme nikdy šanci získat informace o otisku. Někteří autoři užívají pojem segmentace k indikování změny obrazu otisku prstu z šedo-úrovňového na černo-bílý. Avšak my tento proces budeme označovat jako binarizace [9].

Návrhů na proces segmentace je mnoho a každý má některé své výhody či nevýhody. Mezi nejznámější patří metody založené na hodnotách lokálního histogramu, lokální hřebenové orientaci, fuzzy logice, neuronových sítích, atd. V této práci bude implementovaná metoda založená na modifikaci lokální hřebenové orientace, kterou popisuje Akram [1]. Popisovaná metoda má tyto hlavní kroky:

1. Rozdělení normalizovaného obrazu $N(i, j)$ na nepřekrývající se obloky o velikosti $w \times w$ (16×16).
2. Spočítání gradientu $\partial_x(i, j)$ a $\partial_y(i, j)$ pro každý pixel $N(x, y)$ uprostřed masky. K výpočtu gradientu se využívají Sobelovy vertikální a horizontální masky, které jsou definovány v rovnicích (2) a (3):

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

$$sobelHorizontal = \begin{pmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

3. Spočítání průměrné hodnoty M_x a M_y pro x a y složky gradientu pomocí rovnic (4) a (5):

$$M_x = \frac{1}{w^2} \sum_{i=-w/2}^{w/2} \sum_{j=-w/2}^{w/2} \partial_x(i, j) \quad (4)$$

$$M_y = \frac{1}{w^2} \sum_{i=-w/2}^{w/2} \sum_{j=-w/2}^{w/2} \partial_y(i, j) \quad (5)$$

4. Výpočet směrodatných odchylek std_x a std_y pro oba průměry M_x a M_y bude získán z rovnic (6) a (7):

$$std_x = \sqrt{\frac{1}{\varpi^2} \sum_{i=-\varpi/2}^{\varpi/2} \sum_{j=-\varpi/2}^{\varpi/2} (\partial_x(i, j) - M_x(I))^2} \quad (6)$$

$$std_y = \sqrt{\frac{1}{\varpi^2} \sum_{i=-\varpi/2}^{\varpi/2} \sum_{j=-\varpi/2}^{\varpi/2} (\partial_y(i, j) - M_y(I))^2} \quad (7)$$

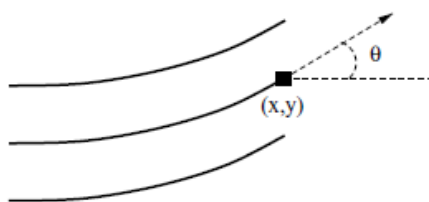
5. Výpočet odchylky gradientu spočítáním rovnice (8):

$$grddev = std_x + std_y \quad (8)$$

6. Na závěr se provede binarizace (prahování), kde hodnota prahu je $grddev$. Hodnoty vyšší než $grddev$ jsou považovány za využitelné části otisku, hodnoty menší jsou považovány za pozadí [1]. Tím získáváme segmentovaný obraz S .

4.4 Odhad orientace obrazu

Odhad hřebenové orientace je zásadním krokem při procesu vylepšování obrazu otisku prstu. Orientace obrazu definuje lokální orientaci hřebenů obsažených v otisku (viz. *Obrázek 4.2*). Metod na výpočet orientace obrazu je opět mnoho. V této části odbočíme od algoritmu, který navrhnul Hong et al. [4]. Tento algoritmus je totiž poněkud výpočetně náročný a v některých případech nepodává kvalitní výsledky. Zde bude popsán výpočet orientace obrazu pomocí algoritmu, který navrhnul Khalil [8], kde kombinuje výpočet několika gradientů x , y v jednom okně $w \times w$ (16×16).



Obrázek 4.2: Orientace pixelu hřebene v obraze [14]

Když je již spočítán normalizovaný a segmentovaný obraz S , tak hlavní kroky algoritmu jsou následující [14]:

1. Rozdělení segmentovaného obrazu S na bloky o velikosti $w \times w$ (16×16).
2. Spočítání gradientu $\partial_x(i, j)$ a $\partial_y(i, j)$ pro každý pixel $N(i, j)$ podle již dříve definovaných rovnic (2), (3). Tyto hodnoty jsou již spočítány z procesu segmentace, proto bude v této části algoritmu ušetřen nějaký výpočetní čas.
3. Následně jsou spočítány parametry z rovnic (9), (10) a (11), které budou vyžadovány při pozdějším výpočtu [9]:

$$G_{xy} = \sum_{h=-\varpi/2}^{\varpi/2} \sum_{k=-\varpi/2}^{\varpi/2} \partial_x(x_i + h, y_j + k) * \partial_y(x_i + h, y_j + k) \quad (9)$$

$$G_{xx} = \sum_{h=-\varpi/2}^{\varpi/2} \sum_{k=-\varpi/2}^{\varpi/2} \partial_x(x_i + h, y_j + k)^2 \quad (10)$$

$$G_{yy} = \sum_{h=-\bar{w}/2}^{\bar{w}/2} \sum_{k=-\bar{w}/2}^{\bar{w}/2} \partial_y (x_i + h, y_j + k)^2 \quad (11)$$

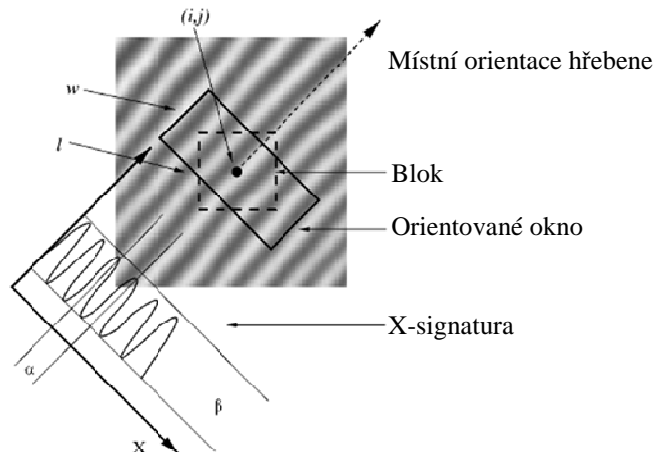
4. A podle rovnice (14) je třeba spočítat hřeben orientace každého pixelu $S(x, y)$. Je počítán z průměru čtverců gradientů v okně $w \times w$ (16×16), jak navrhuje Xinsheng [18]:

$$O(i, j) = \begin{cases} \frac{\pi}{2} + \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{2G_{xy}}{G_{xx} - G_{yy}}\right) & G_{yy} > G_{xx} \\ \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{2G_{xy}}{G_{xx} - G_{yy}}\right) & \text{jinak} \end{cases} \quad (14)$$

Jak bude ukázáno později, lze s tímto algoritmem získat poměrně hladkou orientaci hřebenů otisku.

4.5 Odhad hřebenové frekvence

V místním okolí, kde nejsou žádné markanty a singulární body nebo v místech, kde jsou hřebeny špatně definovány, můžou být šedo-úrovňové hodnoty hřebenů a údolí modelovány jako sinusové vlny ve směru kolmém na hřeben místní orientace (viz. *Obrázek 4.3*). Proto je výpočet odhadu hřebenové frekvence obrazu otisku prstu dalším nezbytným krokem při vylepšování kvality otisku.



Obrázek 4.3: Orientované okno a X-signatura

Nechť je tedy S normalizovaný a segmentovaný vstupní obraz otisku a O je odhad orientace obrazu. Pak hlavní kroky výpočtu odhadu frekvence, které uvádí Hong [4], jsou následující:

1. Rozdělení obrazu S na bloky o velikosti $w \times w$ (16×16).
2. Pro každý pixel (i, j) uprostřed bloku spočítání orientovaného okna o velikosti $l \times w$ (32×16), které je definováno v hřebeni souřadnicového systému (viz. *Obrázek 4.3*).
3. Pro každý pixel (i, j) uprostřed bloku výpočet *X-signatury*, $X[0], X[1], \dots, X[l-1]$ z hřebenů a údolí v orientovaném okně, kde:

$$X[k] = \frac{1}{W} \sum_{d=0}^{w-1} N(u, v) \quad k = 0, 1, \dots, l-1 \quad (10)$$

$$u = i + \left(d - \frac{w}{2}\right) \cos O(i, j) + \left(k - \frac{1}{2}\right) \sin O(i, j) \quad (11)$$

$$u = i + \left(d - \frac{w}{2}\right) \cos O(i, j) + \left(k - \frac{1}{2}\right) \sin O(i, j) \quad (12)$$

Pokud se v orientovaném okně nezobrazí žádný markant, ani žádný singulární bod, X-signatura vytvoří diskrétní sinusový tvar vlny, která má stejnou frekvenci jako hřebeny a údolí v orientovaném okně. Z toho důvodu může být četnost hřebenů a údolí odhadnuta z X-signatury. Nechť $T(i, j)$ je průměrný počet pixelů mezi dvěma po sobě následujícími vrcholy v X-signatuře. Pak frekvence $\Omega(i, j)$ je vypočítána jako: $\Omega(i, j) = 1/T(i, j)$. Jestliže není možné detekovat správně vrcholy, pak je frekvenci bodu přiřazena hodnota 0. Tím lze odlišit platné hodnoty frekvence od neplatných.

4. Pro naskenovaný obraz otisku prstu s pevným rozlišením, leží hodnota frekvence hřebenu a údolí v místním bloku v určitém rozsahu. Pro rozlišení 500dpi je tento rozsah (1/3;1/25). Proto pokud je odhadovaná frekvence mimo tento rozsah, pak je frekvenci bodu opět přiřazena hodnota 0, čímž lze ukázat, že platnou frekvenci nelze získat.
5. Bloky, ve kterých se markanty a/nebo singulární body objeví a/nebo údolí a hřebeny jsou poškozeny, tak v těchto blocích nejsou ani dobře definované sinusové vlny. Frekvence hodnot pro tyto bloky musí být interpolována z frekvence sousedních bloků, které mají dobře definované hodnoty frekvence. Interpolace je provedena následovně pro každý pixel (i, j) dosavadní odhadované frekvence, který není roven 0:

$$\Omega'(i, j) = \begin{cases} \Omega(i, j-1) & \text{když } \Omega(i, j-1) > 0 \\ \Omega(i-1, j) & \text{když } \Omega(i-1, j) > 0 \\ \Omega(i, j) & \text{jinak} \end{cases} \quad (13)$$

6. Vnitřní vzdálenost hřebenů se mění v místním okolí pomalu. K odstranění odlehlých frekvencí může být tedy použit Low-pass filtr [4]:

$$F(i, j) = \sum_{u=-w_l/2}^{w_l/2} \sum_{v=-w_l/2}^{w_l/2} W_l(u, v) \Omega'(i-uw, j-vw) \quad (14)$$

kde W_l je dvourozměrný low-pass filtr s velikostí $w_l = 3$.

4.6 Výpočet masky

Pixel nebo blok ze vstupního obrazu otisku prstu může být pro pozdější zpracování buď použitelný nebo nepoužitelný. Klasifikace bodů na využitelné a nevyužitelné může být provedena na základě posouzení tvaru vlny, kterou tvoří místní hřebeny a údolí. Díky tomuto rozhodování vzniká maska

$M(x, y)$. Opět se vychází z toho, že hodnoty frekvence $F(x, y)$ hřebenů a údolí musí být v určitém rozsahu, a to:

$$M(i, j) = \begin{cases} 255 & \text{if } F(x, y) \in \langle 1/25; 1/3 \rangle \\ 0 & \text{jinak} \end{cases} \quad (15)$$

Proto tedy pokud je bodu přiřazena hodnota 0, je tento bod při pozdějším vyhodnocování zamítnut. V opačném případě je bodu přiřazena hodnota 255 a později bude identifikován jako použitelný.

Pokud by byl proveden výpočet masky jen tímto jednoduchým postupem, vznikly by v masce místa označovaná jako díry a okraje. Jako díry jsou označovány oblasti s nízkou frekvencí bodu $F(x, y)$, které by byly omylem zamítnuty a okraje jsou naopak místa, která jsou nadbytečná a s obrazem otisku již nesouvisí. Následný výpočet Gaborova filtru by tedy byl neefektivní a nekompletní. Proto je ještě nutné provést následující dva kroky:

1. *Odstranění děr*: jestliže $M(x, y) == 255$, tak se nad všemi sousedními body $M(x-1, y)$, $M(x+1, y)$, $M(x, y-1)$ a $M(x, y+1)$ provede logický součet OR s číslem 0x80. V dalším cyklu probíhá kontrola *if* $M(x, y) \neq 0$, tak $M(x, y) == 255$
2. *Odstranění okrajů*: jestliže $M(x, y) == 0$, tak se nad všemi sousedními body $M(x-1, y)$, $M(x+1, y)$, $M(x, y-1)$ a $M(x, y+1)$ provede logický součin AND s číslem 0x80. V dalším cyklu probíhá kontrola *if* $M(x, y) \neq 255$, tak $M(x, y) == 0$

Tato maska je později využívána ve fázi filtrování a podstatně urychluje jeho výpočet.

4.7 Gaborův filtr

Konfigurace paralelních hřebenů a údolí s dobře definovanou frekvencí a orientací v otisku poskytnou užitečné informace, které pomáhají při odstraňování nežádoucího šumu. Tvar sinusové vlny hřebenů a údolí se pomalu liší v místní orientaci. Proto pásmovým filtrem, který je naladěný na odpovídající frekvence a orientace může být účinně odstraněn nežádoucí šum a zachována struktura skutečných hřebenů a údolí. Gaborův filtr má vlastnost jak orientační, tak frekvenční selekce a také má optimálně skloubené rozlišení oblastí frekvence a prostoru. Díky tomu může odstraňovat nežádoucí šum ze vstupního obrazu a zachovat tak skutečné struktury hřebenů a údolí [17].

Obecný tvar Gaborova filtru je následující:

$$h(x, y, \theta_k, f, \sigma_x, \sigma_y) = \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x_{\theta_k}^2}{\sigma_x^2} + \frac{y_{\theta_k}^2}{\sigma_y^2}\right)\right] * \exp(2\pi f x_{\theta_k}) \quad k = 1, \dots, m \quad (16)$$

$$x_{\theta_k} = x \cos \theta_k + y \sin \theta_k, \quad (17)$$

$$y_{\theta_k} = -x \sin \theta_k + y \cos \theta_k \quad (18)$$

kde f je orientace Gaborova filtru, m označuje počet orientací θ_k , k je k -tá orientace Gaborova filtru a σ_x, σ_y jsou směrodatné odchylky Gausovského obalu. Jelikož většina místních struktur hřebenů otisku

prstu mají dobře definované lokální orientace a frekvence, lze použít Gaborův filtr k vylepšení obrazu [12].

Před tím je však ještě nutné definovat směrodatné odchylky Gausovského obalu σ_x a σ_y .

Je zřejmé, že charakteristická frekvence filtru f je kompletně určena v místní frekvenci a orientaci a určuje místní hřebenovou orientaci. Výběr hodnot σ_x a σ_y vyžaduje kompromis. Větší hodnoty zvyšují odolnost při šumu, ale zvyšuje se pravděpodobnost vytvoření falešného hřebene a údolí. Na druhou stranu, čím budou menší hodnoty σ_x a σ_y , bude méně pravděpodobné, že filtr vytvoří falešné údolí a hřebeny. Filtr ale zase bude méně efektivní při odstraňování šumu. Hodnoty σ_x a σ_y byly stanoveny na 4.0 a 4.0 na základě dřívějších výpočtů, které provedl [4]. Necht' N je normalizovaný obraz, O je orientovaný obraz, F je frekvence obrazu a M je vytvořená maska, tak výsledný vylepšený obraz G se získá podle následujícího vzorce [4]:

$$G(x, y) = \begin{cases} 255 & \text{if } M(i, j) = 0 \\ \sum_{u=-w_g/2}^{w_g/2} \sum_{v=-w_g/2}^{w_g/2} (u, v : O(i, j), F(i, j))N(i-u, j-v) & \text{jinak} \end{cases} \quad (19)$$

kde w_g určuje velikost Gaborova filtru [4].

4.8 Binarizace

Binarizace je proces, kdy se z obrazu obsahující body z celé škály 256 odstínů šedi má vytvořit obraz, který obsahuje jen dvě barvy a to černou a bílou. Takový výsledný obraz může být poté dalšími metodami jednoduše upravován, až na závěr dojde k porovnávání otisků prstů. Obecně i zde platí, že pro celý obraz nemůže být použit globální práh, jelikož různé části obrazu mohou být charakterizovány různým kontrastem a jasnem. Proto zvolení globálního prahu není dostatečné pro správnou binarizaci. Z tohoto důvodu je dobré přizpůsobovat hodnotu prahu podle místní intenzity jasu. I v této oblasti existuje spousta metod zabývajících se binarizací. Ať se již jedná o metody založené na jasu, orientaci hřebenů, spojování hřebenů, iterativní aplikaci Laplasova operátoru, fuzzy logice,... V této práci bude implementovaná metoda založená právě na hodnotách jasu a to podle [5], která je popsána rovnicí (20):

$$B(x, y) = \begin{cases} 255 & \text{if } G(x, y) > T, \\ 0 & \text{jinak} \end{cases} \quad (20)$$

kde $G(x, y)$ je obraz vylepšený Gaborovým filtrem a T je lokální práh definovaný rovnicí (21):

$$T = \frac{1}{w^2} \sum_{x=0}^w \sum_{y=0}^w G(x, y) \quad (21)$$

zde opět platí, že $G(x, y)$ je obraz upravený Gaborovým filtrem a $w \times w$ (16x16) je velikost okna.

4.9 Vyhlazení binarizace

Samotná binarizace může ale zanést do obrazu místa tzv. díry (viz. *Obrázek 4.4*), které narušují průběh hřebenů nebo vytvářejí nové hřebeny. Takto vzniklá místa je nutné odstranit, jelikož by při pozdějším vylepšování obrazu mohla způsobit detekci nesprávných markantů. Pro tuto práci byl pro vylepšení binárního obrazu $B(x, y)$ vybrán algoritmus zakládající se na [2], kde Coetzee a Botha navrhuje odstranění nežádoucích míst pomocí metody blob-coloring. Zde však bude použita upravená metoda flood-fill [13], která se zdála být pro daný problém efektivnější.



Obrázek 4.4: a) díra v hřebenu otisku prstu; b) chybně definovaný hřeben

Vyhlazení je tedy provedeno podle následujícího algoritmu:

1. Procházení binarizovaného obrazu $B(x, y)$ bod po bodu
2. Uložení si barvy současného bodu
3. Rekurzivní volání funkce, která bude hledat uzavřenou oblast pomocí funkce flood-fill
4. Pokud je nalezená oblast menší než práh \rightarrow opět se pomocí metody flood-fill oblast vybarví, jinak se jde na další bod obrazu

Po provedení výše uvedeného algoritmu by měly být odstraněny nechtěně vytvořené díry předchozími metodami.

5 Implementace

Program pro Automatické zlepšení kvality obrazu otisku prstu je napsán v programovacím jazyce C. Aplikace využívá pro zpracování obrazu knihovnu OpenCV. Tato knihovna zde slouží především k jednoduchému a pohodlnému zobrazení výstupních informací. Návod na instalaci této knihovny je popsán v *dokumentaci* přiložené na CD. Jako vývojové prostředí je využito Visual Studio 2008 s pluginem Visual assist X.

5.1 Funkčnost programu

Funkcí programu je načíst vstupní obraz ve stupních šedi a provést jeho zlepšení pomocí implementovaných metod. Důležité je, aby byl obraz právě ve stupních šedi (nebo černobílý). Pokud bude v jiném barevném formátu, bude programem zamítnut. Proto je nutné si vždy obraz převést do požadovaného formátu. Dalším důležitým prvkem je, že obraz může být pouze ve formátu BMP, JPG, PNG a TIF. Poslední podmínkou je, že obraz by díky používaným metodám neměl přesáhnout rozměr 400px na jedné ze stran (viz. *Kapitola 6*). Tyto podmínky musí být bezpodmínečně dodrženy, jinak hrozí, že program nepůjde spustit, nebo nebude fungovat správně.

Jakmile bude obraz načten do programu, provede se jeho kvalitativní ohodnocení pomocí SDK od Innovatrics. Následně je provedena normalizace obrazu, na kterou navazuje segmentace. Dalším krokem je výpočet orientace hřebenů a výpočet frekvenčního odhadu hřebenů. Tyto kroky jsou bezpodmínečně nutné pro použití Gaborova filtru. Následuje výpočet masky a provedení Gaborova filtru. Již v celku upravený obraz je ještě třeba vylepšit pomocí binarizace a jejího vyhlazení. Posledním výpočetním krokem je opět provedení kvalitativního ohodnocení podle již zmiňovaného SDK.

Program byl vyvíjen pod operačním systémem Windows 7. Na ostatních systémech nebyl testován, proto v jiných systémech nemůžeme zaručit jeho funkčnost.

5.2 Součásti programu

Součástí programu jsou všechny zdrojové kódy a databáze testovacích obrázků otisků prstů. Tato databáze otisků je převzatá z [16]. Otisky jsou v horší kvalitě, aby mohla být demonstrativně ukázána jasná funkčnost programu. Součástí zdrojových kódů jsou i části z freeware programu „Fingerprint verification system“. Tyto převzaté části kódů jsou vždy vhodně a přehledně okomentované.

Dále je zde knihovna *IDKit.lib*, která je vyjmuta z IDKit PC SDK od Innovatrics. Tato knihovna zajišťuje určení kvality obrazu před samotným procesem vylepšování a pak také vykoná tuto činnost na závěr běhu programu.

5.3 Implementované rozšíření

Mimo základní metody popsané v kapitole 5.1. Je možno v programu používat další rozšiřující funkce. Jedná se spíše o metody dokreslující průběh výpočtu. Tyto funkce mohou být volány při spuštění programu zadáním příslušných přepínačů:

- [-h] → Tisk nápovědy
- [-n] → Vykreslení normalizovaného obrazu
- [-hist] → Zobrazení histogramu normalizovaného obrazu
- [-s] → Zobrazení segmentovaného obrazu
- [-o] → Odhad orientace hřebenů
- [-m] → Vykreslení masky
- [-g] → Obraz po použití Gaborova filtru
- [-b] → Znázornění binarizace
- [-i] → Inverze barev u výsledného obrazu
- [-t] → Vypsání časových statistik běhu programu

Základní spuštění programu obsahuje jeden povinný parametr a to *název_programu* dále zde může být připojen jeden z výše jmenovaných parametrů. Pokud si uživatel nebude vědět rady se spuštěním programu, může ho spustit se samotným parametrem *-h*, kde mu bude následně vytisknuta krátká nápověda.

Příklad spuštění programu:

```
zlepseni.exe fingerprint.bmp -t
```

```
zlepseni.exe -h
```

6 Experimentální výsledky

V následujících podkapitolách budou postupně rozebrány jednotlivé metody popsané v kapitole 3 a 4. Budou ukázány jejich vlastnosti, výhody či nevýhody a proberou se různé optimalizační kroky, které byly do práce zakomponovány.

6.1 Metoda určující kvalitu

Jak již bylo popsáno v kapitole 3, je obecně velmi těžké vypočítat kvalitu obrazu. V této podkapitole bude popsáno námi využívané SDK od Innovatrics.

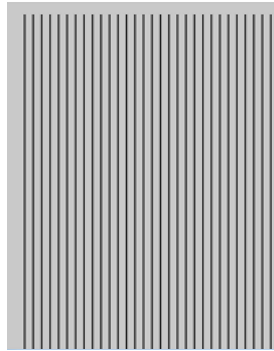
Toto SDK vypočítá kvalitu z obrazu podle rozměrů obrazu a počtu charakteristických rysů. Na *Obrázku 6.1* jde vidět ukázka jednoho a toho samého obrazu v různých velikostech a s různě velkým okrajem.



Obrázek 6.1: a) 400x500px, kvalita: 43; b) 200x240px, kvalita: 33; c) 200x240px, kvalita: 53

Na tomto jednoduchém příkladu lze jasně demonstrovat, že určení kvality není zcela přesné. Například obrázek 5a a 5c se liší pouze v oříznutí zcela bílého okraje a rozdíl kvality je zde přibližně 20%, což dělá poměrně hodně. Avšak toto je vlastnost implementace daného algoritmu a bude nutné se s touto skutečností v této práci smířit.

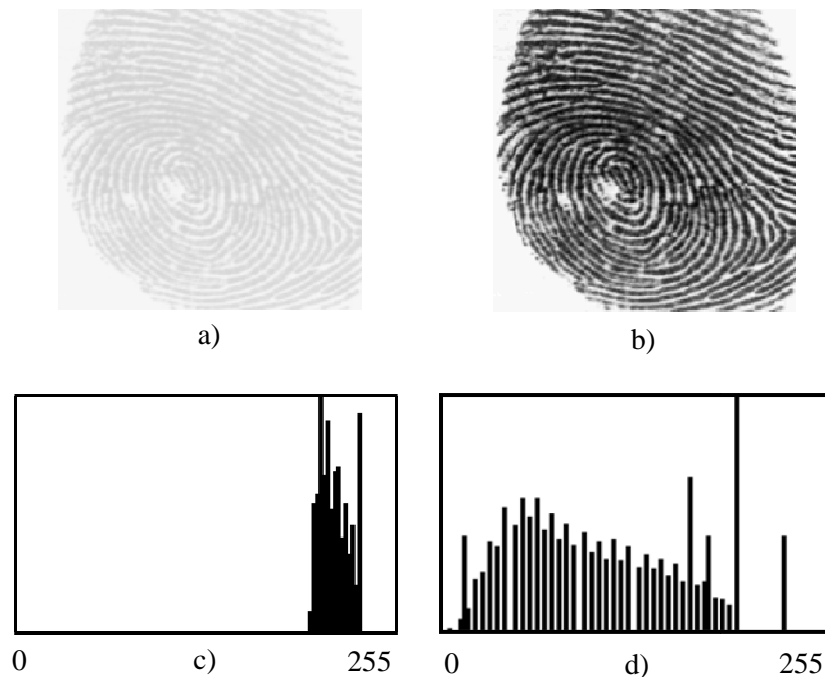
Daleko horší může být situace, kdy se dostane na vstup obraz, který nemá s otiskem prstu nic společného (viz. *Obrázek 6.2*). Algoritmus sice zpracuje daný obrázek jako otisk prstu a určí mu dokonce nejlepší kvalitu (100), ale my si můžeme sami všimnout, že zde se o otisk jednoznačně nejedná. Proto při pozdějším porovnávání zlepšeného obrazu budeme někdy muset použít vlastní subjektivní názor.



Obrázek 6.2: 200x350px, kvalita: 100

6.2 Normalizace

Samotná normalizace sice nemění strukturu otisku prstu, ale velice na ní záleží především u otisků, kde nejsou zcela evidentní rozdíly mezi hřebeny a údolím. Pokud by zde normalizace nebyla provedena, nebo byla provedena některou nesprávnou metodou, mohlo by dojít v pozdějších částech algoritmu k zamítnutí některých částí papilárních linií, nebo by mohly být přijaté některé falešné papilární linie. *Obrázek 6.3* ukazuje příklad normalizace obrazu.



Obrázek 6.3: Výsledky normalizace: a) vstupní obraz; b) normalizovaný obraz; c) histogram vstupního obrazu; d) histogram normalizovaného obrazu

6.3 Segmentace

Segmentace sama o sobě je metoda, která nemá žádný kvalitativní vliv na celý proces vylepšování obrazu. Jak již bylo psáno v kapitole 4.3, slouží k oddělení otisku prstu od pozadí celého obrazu a

používá se pouze pro urychlení výpočtu. Jsou případy, kdy je výpočet segmentace zcela zbytečný, ale jsou i případy, kdy by bez segmentace trval výpočet mnohonásobně déle. Zde počítaná segmentace je založená na orientaci hřebenů v otisku. Tato použitá metoda je poměrně efektivní a poradí si i s místy, kde je velká změna kontrastu. Avšak tato místa nejsou součástí otisku (viz. *Obrázek 6.4a,b*) na rozdíl od metody založené na rozptylu a prahování. Avšak u obrazu s příliš velkým rozlišením, kde je navíc otisk velmi suchý, může dojít k situacím, kdy budou zamítnuta i místa, která jsou součástí otisku (viz. *Obrázek 6.4c,d*, jehož rozlišení je 640x480px). Na druhou stranu, pokud by segmentace tato místa nezamítla, musela by se v následujících krocích vylepšování obrazu propočítávat a konečný výsledek by stejně pravděpodobně neodpovídal skutečnosti.



Obrázek 6.4: a) a c) jsou vstupní normalizované obrazy; c) a d) jsou obrazy po provedení segmentace

Z toho plyne, že segmentace je první metoda, z námi navrhovaných, která je náchylná na rozlišení obrazu. Pracuje totiž na rozdělení obrazu na bloky a pro každý tento blok na základě orientace rozhoduje, zdali ho při pozdějších výpočtech zamítne či ne. V případě, že by měl obraz menší rozlišení, nebude k těmto zamítnutím docházet v tak velké míře. Bohužel metod závislých na rozlišení bude v této práci více. Všechny budou ale podrobněji popsány v následujících kapitolách.

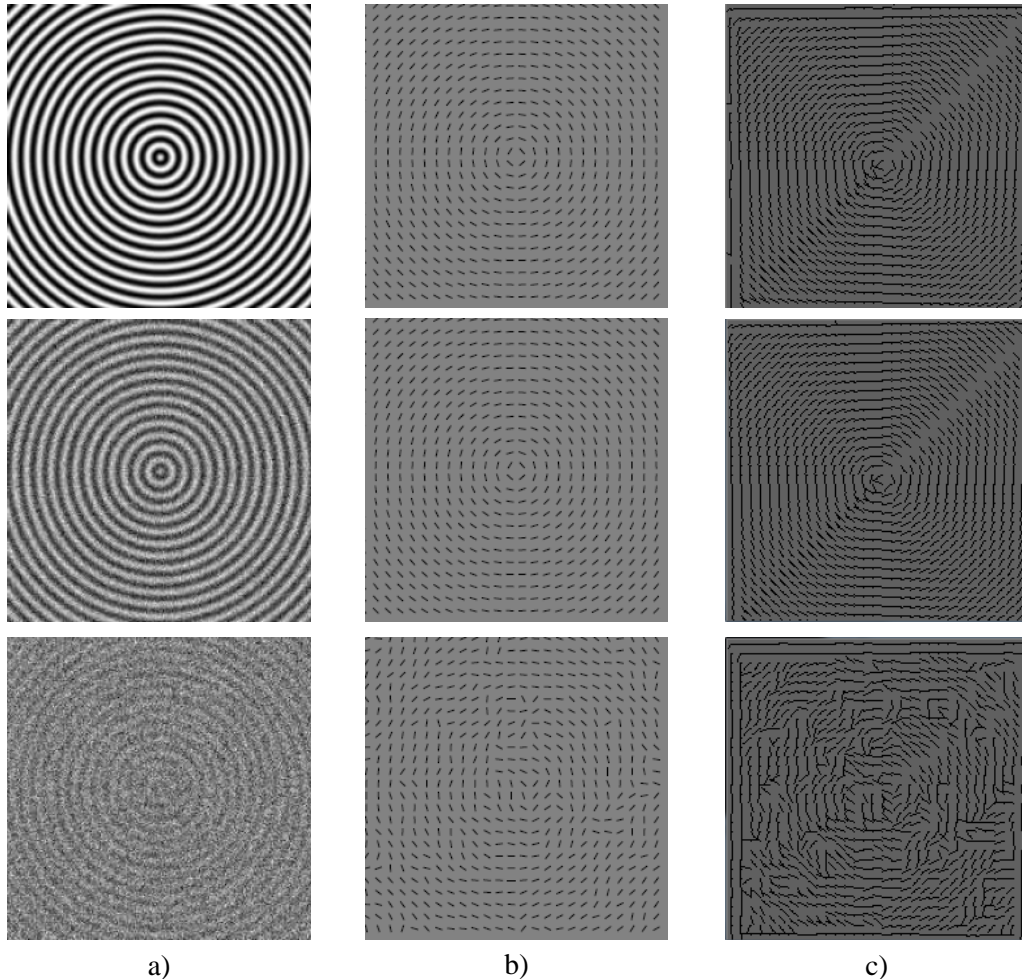
6.4 Odhad orientace

Vylepšení obrazu pomocí Gaborova filtru spoléhá na filtrování podél lokální hřebenové orientace s cílem vylepšit strukturu hřebene a snížit hluk kolem něho. Proto je důležité získat přesný odhad orientace obrazu [14]. Níže budou popsány některé vlastnosti právě námi použitého algoritmu. Na rozdíl od [4], který využívá pro výpočet orientace spočítání gradientu a poté pomocí mnoha technik orientaci vyhlazuje. Rozhodli jsme se použít pro odhad orientace výpočet podle [1]. Opět se zde počítá odhad orientace, ale tentokrát pomocí kombinací gradientů. Tento postup popisovaný v kapitole 4.4 je méně časově náročný než postup, který navrhuje Hong. Navíc přidáním pár jednoduchých výpočtů lze podle [1] dosáhnout celkem přesného výpočtu singulárních bodů v obraze.

Během všech výpočtů orientace byla velikost bloku orientace nastavena pro velikost 16x16. Stejně jako u [14] bylo provedeno testování odhadu orientace prvně na vygenerovaných ukázkových obrazech s různou frekvencí hřebenů a s různou kvalitou. Poté následovalo testování na samotných obrázcích otisků prstů.

6.4.1 Testy na generovaných obrazech

V této a následující kapitole se bude vycházet z testů, které navrhnul Thai [14] ve své práci. Prvně byly vygenerovány obrazy s pravidelně se střídajícími údolími a hřebeny, na kterých budou prezentovány vlastnosti metod na výpočet odhadu orientace.



Obrázek 6.5: sloupec a) označuje vstupní obraz v různé kvalitě; b) odhadovaná orientace podle Hong c) námi implementovaná metoda

Při pohledu na *Obrázek 6.5c* je patrné, že na generovaném obrazu lépe vypočítá odhad orientace metoda navržená [4]. V dobře definovaných částech obrazu pracují obě metody kvalitně a orientaci odhadnou bez větších problémů. Ale při pohledu na velmi zašuměný obraz můžeme říci, že metoda navržená podle Hong, dosahuje lepších výsledků než zde implementovaná metoda.

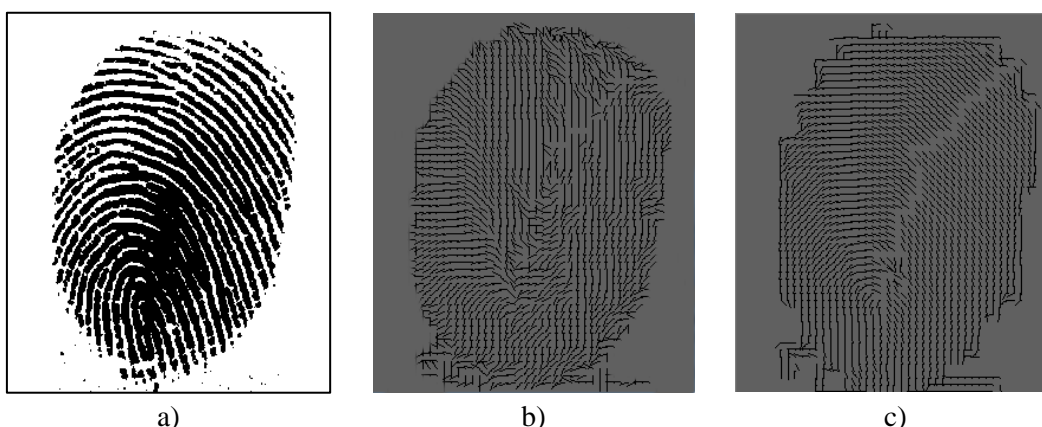
Dalším jistě zajímavým porovnáním bude srovnání doby na výpočet orientace obrazu (viz. *Tabulka 6.1*). V tabulce se srovnávala potřebná doba na výpočet pro metodu navrženou [4] a [8]. Pro srovnání byl použit první obraz z *Obrázku 6.5* v různých velikostech. Je zřejmé, že námi implementovaná metoda dosahuje v tomto směru kratších časů na výpočet.

Tabulka 6.1: Srovnání doby výpočtů metod na odhad orientace obrazu

| rozlíšení obrazu [px] | metoda dle Hong [s] | námi implementovaná metoda [s] |
|-----------------------|---------------------|--------------------------------|
| 200 x 200 | 0,225 | 0,220 |
| 250 x 250 | 0,415 | 0,336 |
| 300 x 300 | 0,605 | 0,474 |
| 350 x 350 | 0,835 | 0,632 |
| 400 x 400 | 1,194 | 0,894 |

6.4.2 Testy na reálných otiscích

Dále se můžeme podívat, jaký vliv má správný odhad orientace na skutečném obrazu otisku prstu. Opět zde budou srovnávány obě výše uvedené metody. Jsou situace, které popisuje Matoni [9], kdy může dojít k chybnému určení orientace vlivem špatného výpočtu gradientu v některých otiscích. Na *Obrázku 6.6* je vidět právě otisk, u kterého dochází k tomuto problému. Výpočet gradientu u metody navrhované [4] je nedostačující a zavádí do obrazu chybné výpočty, které později vedou k nekvalitně vylepšenému obrazu. Na druhé straně metodu, kterou popisuje [8] podává v této chvíli daleko lepší výsledky a při pohledu na *Obrázek 6.6* i poměrně hladkou orientaci.



Obrázek 6.6: a) vstupní obraz; b) odhadovaná orientace podle Hong c) námi implementovaná metoda

Nejdůležitější ale je, že ačkoliv ve vysoce zašuměných otiscích podává metoda navrhovaná [4] lepší výsledky, existují i otisky s poměrně dobrou kvalitou, u kterých orientaci odhadnout nedokáže. Proto bude v naší práci používána metoda navrhovaná [8], která dokáže odhadnout orientaci ve většině otisků a je rovněž i časově méně náročná.

6.5 Odhad frekvence

Spolu s odhadem hřebenové orientace je odhad hřebenové frekvence dalším důležitým parametrem při vylepšování otisku pomocí Gaborova filtru. Vykreslit odhad frekvence není možné, proto se v této podkapitole budou popisovat důležité části výpočtu odhadu frekvence a jejich vliv na výsledný obraz.

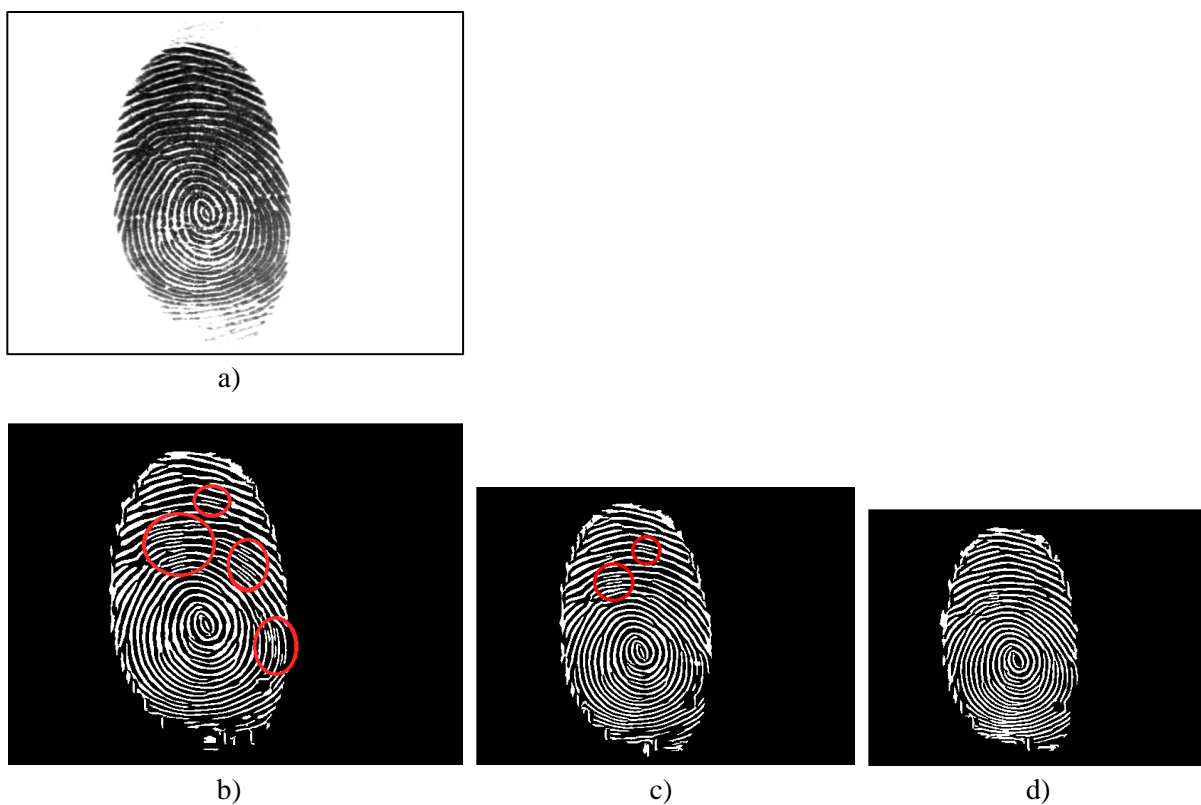
Ještě z počátku je nutné říci, že při výpočtu je třeba brát v úvahu jen ty body, kde je definovaná orientace. V případě, že by se braly při výpočtech v potaz i body, kde orientace definovaná není, výpočet by se v některých případech mnohonásobně protáhl a byl by neefektivní.

Dále se zde často počítají hodnoty funkcí $\sin()$ a $\cos()$. Vzhledem k tomu, že volání těchto funkcí z hlavičkového soboru `<math.h>` je velmi neefektivní, byla snaha tyto funkce co nejméně používat.

Výpočet odhadu frekvence je další funkcí, která je závislá na rozměrech obrazu, respektive na velikosti oblasti, kterou zabírá otisk v obraze. Tato metoda totiž dokáže vypočítat chybějící hřebeny z odhadu sinusové vlny. Tato problematika je podrobněji popsána v kapitole 4.5. Zde však nastává problém, že se neví, jak má být sinusová vlna velká. Na *obrázku 6.7* je ukázán vstupní otisk s různým rozlišením a poté jeho vylepšení. Můžeme si všimnout, že u obrazů s velkým rozlišením dochází k problému, kdy sinusová vlna dělí jeden hřeben na dva a vzniká tak falešný markant.

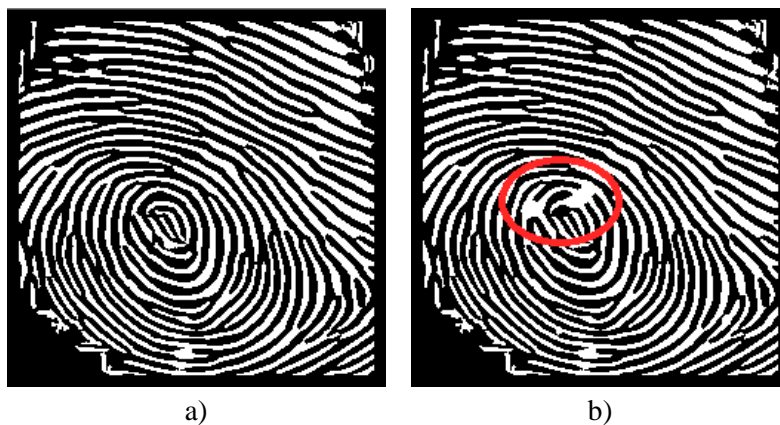
Řešením je počítat velikost sinusové vlny dle rozměrů obrazu. Zde ale nastává další problém, že i když známe rozměr otisku, tak se neví, jestli je zde otisk celý, nebo jen některá z jeho částí a k problému nalezení falešného markantu se dostáváme znovu. Částečně můžeme tento problém odstranit při pozdějším vyhlazení binarizace (viz. Kapitola 6.8).

Já jsem si s tímto problémem nedokázal v této práci poradit. Proto, aby byly výpočty provedeny správně, budeme požadovat, aby vstupní obraz nepřekročil rozměry $400px$ některé ze stran.



Obrázek 6.7: a) vstupní obraz; Výsledné vylepšené obrazy s rozlišením: b) $640 \times 480px$; c) $550 \times 410px$; d) 450×340

Druhým důležitým krokem při výpočtu frekvence je interpolace, tj. dopočítání hřebenu v místech, kde byla hůře definovaná orientace. Jde v podstatě o jednoduchý algoritmus, kde neznámému bodu je přiřazena hodnota bodu nalevo, nebo napravo (viz. Rovnice 13). Výsledky tohoto algoritmu se prezentují na *Obrázku 6.8*. Je zřejmé, že neaplikování této jednoduché metody na obraz může vést k zamítnutí některých papilárních linií při pozdějším zpracování obrazu Gaborovým filtrem.



Obrázek 6.8: Vylepšení obrazu a) s pomocí interpolace; b) bez interpolace

6.6 Výpočet masky

Metoda na výpočet masky, stejně jako segmentace, nemá vliv na kvalitu výsledného obrazu, ale značně urychluje proces výpočtu dalšího kroku a to Gaborova filtru. Proces segmentace je určen pro odhad hřebenové orientace a odhad hřebenové frekvence, kdežto výpočet masky úzce souvisí s použitím u Gaborova filtru. Jak ukazuje *Obrázek 6.9* maska je více vyhlazena, některá místa oproti segmentaci zanedbává, ale některá místa na druhou stranu zase akceptuje.



Obrázek 6.9: a) originální otisk; b) otisk po segmentaci c) maska před gabor filtrem

6.7 Gaborův filtr

Centrální část algoritmu vylepšení spočívá ve filtrování s pomocí Gaborova filtru. Toto je etapa, která provádí skutečné zlepšení obrazu otisku prstu. Účelem filtrovací fáze je zlepšit jasnost hřebene a zároveň snížit šum v obraze. Přesnější popis výpočtu je popsán v kapitole 4.7. V této části práce budou opět rozebrány některé důležité prvky tohoto výpočtu.

Prvním důležitým krokem, stejně jako v kapitole 6.5, je zde využívání matematických funkcí $\sin()$ a $\cos()$ z knihovny `<math.h>`. Opět byla snaha tyto funkce používat co nejméně a některé výsledky si předvypočítat. Tím se značně zrychlil běh programu.



Obrázek 6.10: a) vstupní obraz; Obrazy vylepšené Gaborovým filtrem o velikosti: b) 7x7; c) 11x11; d) 15x15; e) 19x19

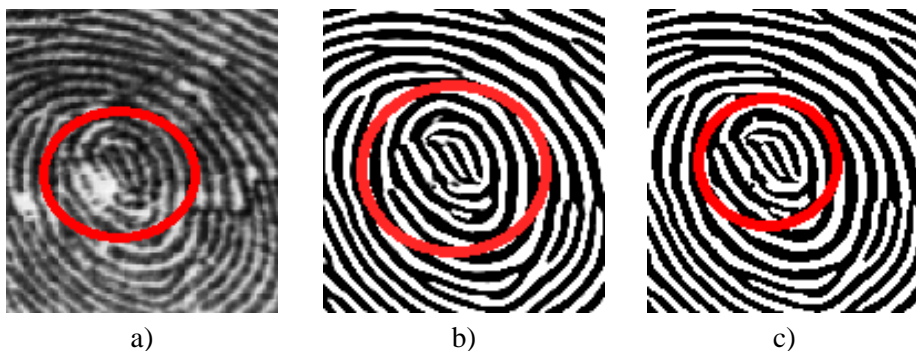
Důležitým prvkem je, jak velký Gaborův filtr bude na obraz aplikován. Na *Obrázku 6.10* si lze všimnout rozdílů ve výsledku vylepšeného obrazu při použití různě velkého Gaborova filtru. *Tabulka 6.2* poté ukazuje i časy, které byly s použitím daných filtrů dosaženy. Ovšem i zde platí, že čím větší filtr bude aplikován, tím delší dobu bude výpočet probíhat. Zde jsem se snažil zvolit optimální velikost filtru k časovým výpočtům a na závěr jsem definoval velikost filtru na 13x13.

Tabulka 6.2: doby výpočtů při použití různě velkého Gaborova filtru

| velikost filtru | doba výpočtu [s] |
|-----------------|------------------|
| 7x7 | 0,254 |
| 11x11 | 0,640 |
| 13x13 | 0,834 |
| 15x15 | 1,147 |
| 19x19 | 1,811 |

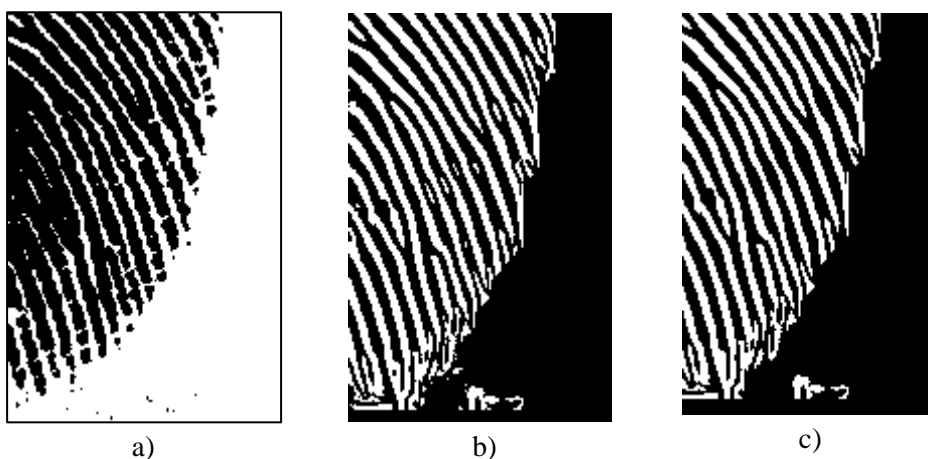
6.8 Binarizace a vyhlazení binarizace

Jak si lze všimnout, výstupní obraz z Gaborova filtru je ve stupních šedi. Aby se mohl po vylepšování otisk porovnat s jiným snímkem, bude dalším úkolem převést obraz do černobílého formátu. Opět zde platí pravidlo, že otisk může mít v různých místech různé hodnoty jasu, proto i zde nebude možné použít globální práh na provedení binarizace. Ovšem i zde platí pravidlo, že můžou vzniknout místa s falešnými markanty, či místa kde bude některá z papilárních linií zamítnuta. *Obrázek 6.11* popisuje právě situaci, kdy došlo k správnému provedení binarizace.



Obrázek 6.11: a) originální obraz; b) obraz po provedení Gaborova filtru, c) obraz po provedení binarizace

Během binarizace však může nastat situace, kdy vzniknout v obraze místa, které narušují ideální průběh linie, tzv. díry. Tyto díry je třeba odstranit, jinak by zde mohl být později znovu detekován falešný markant. Obrázek 6.12 ukazuje snímek před a po provedení vyhlazení binarizace.



Obrázek 6.12: a) originální obraz; b) obraz po binarizaci; c) obraz po vyhlazení

6.9 Celkové zlepšení kvality

V této kapitole bude rozebrána změna kvality zlepšeného obrazu vůči originálnímu obrazu a také doba výpočtů implementovaných funkcí. V příloze A jsou zobrazeny vybrané otisky, které byly vylepšeny zde navrhovaným přístupem. Pod každým obrazem je poté uvedena kvalita, jakou dosáhl při jeho ohodnocení a rozměry obrazu.

Můžeme si všimnout, že obraz se ve většině případů zlepšil. Proč tomu tak nebylo ve všech případech? Odpověď je celkem jednoduchá. Zde vybrané otisky byly získány z různých scannerů a každý měl jiné vlastnosti. Zde navrhovaný algoritmus je psaný pro obecné otisky a nedokáže všechny otisky optimálně vylepšit. Pokud bychom chtěli, aby pracoval dobře pro konkrétní typ otisků, může dávat chybné výsledky pro jiný typ otisků. Bylo by tedy vhodné přizpůsobit algoritmus pro konkrétní scanner, pro který by byl v budoucnosti využíván.

Kromě samotné kvality je také podstatné se podívat na dobu běhu programu. Doba výpočtů nezávisí ani tak na velikosti vstupního obrazu, jako spíše na oblasti otisku, která je přijatá po fázi segmentace. V případě, že by měl vstupní obraz rozměry 800x800px, ale přitom využitelná část

otisku by byla pouze 200x200px, výpočet by trval podstatně méně, než v případě, že by měl vstupní obraz velikost 400x400px a využitelná oblast by byla 100%. V *Tabulce 6.3* jsou vypsány časy výpočtů jednotlivých funkcí u prvních pěti otisků z *přílohy A*.

Tabulka 6.3: Doba výpočtu jednotlivých metod (časy jsou udávány v sekundách)

| Metoda / otisk | 1a | 2a | 3a | 4a | 5a |
|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Určení kvality | 0,294 | 0,316 | 0,310 | 0,345 | 0,403 |
| Normalizace | 0,002 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
| Segmentace | 0,065 | 0,063 | 0,065 | 0,029 | 0,037 |
| Odhad orientace | 0,222 | 0,309 | 0,261 | 0,381 | 0,530 |
| Odhad frekvence | 0,533 | 0,720 | 0,664 | 0,967 | 1,393 |
| Výpočet masky | 0,053 | 0,055 | 0,063 | 0,024 | 0,033 |
| Gaborův filtr | 0,588 | 0,863 | 0,716 | 1,234 | 2,582 |
| Binarizace | 0,002 | 0,003 | 0,002 | 0,002 | 0,002 |
| Vyhlazení binarizace | 0,244 | 0,451 | 0,367 | 0,371 | 0,700 |
| Určení kvality | 0,115 | 0,130 | 0,129 | 0,139 | 0,165 |
| CELKOVÁ DOBA VÝPOČTU | 2,129 | 2,920 | 2,594 | 3,503 | 5,861 |

V tabulce jsou vždy tučně vyznačeny tři nejdelší doby výpočtu jednotlivých metod u každého otisku. Doba programu je vždy v řádu vteřin a je vidět, že nejdéle trvá výpočet odhadu hřebenové frekvence, Gaborova filtru a vyhlazení binarizace a to téměř ve všech případech. Bylo by tedy vhodné se pokusit tyto výpočty více optimalizovat, aby se urychlil výpočet programu, nebo použít některou jinou metodu k výpočtu daných funkcí.

7 Závěr

Využití obrazu otisku prstu je poměrně stará metoda pro identifikaci osoby. Jedním z kroků vedoucích k efektivní identifikaci osoby je i zlepšení kvality obrazu otisku. V této práci jsem se snažil vytvořit efektivní algoritmus na vylepšení otisku a také využít některou z již vytvořených metod na ohodnocení otisku. Ohodnocení zde slouží k porovnání, zda se vylepšený obraz vůči původnímu zlepšil.

V první části práce se zabývám zjišťováním kvality obrazu otisku prstu. Obecně je velmi obtížné sestavit algoritmus, který zjistí kvalitu obecného obrazu otisku prstu. Pokud bychom chtěli rozumné a přesné výsledky, bylo by vhodné optimalizovat metodu na určení kvality pro konkrétní typ otisků. Tím by byla metoda přesnější a nestávalo by se, že by se přijal za kvalitní otisk i nesmyslný obrázek. Další možností by bylo vyzkoušet již výše zmiňovaný standart zaměřený na určování kvality. V této práci je nakonec využito SDK od Innovatrics, které sice nepodává zcela přesné výsledky, ale pro tuto práci je postačující.

Další část se poté zaměřovala přímo na vylepšování kvality obrazu otisku prstu. V této práci byl popisován algoritmus na vylepšení otisků získaných ze scannerů. Ovšem i tyto scannery dávají otisky s různými rozměry, s různým pozadím, různým jasnem, atd. Proto i zde nastává obdobná situace jako u určování kvality. Bylo by tedy optimální vyladit tento algoritmus pro konkrétní scanner, či druh vstupního obrazu a poté by pravděpodobně podával poměrně přesné výsledky. Zde popsáný algoritmus některé otisky vylepší výborně, některé průměrně a některé spíše ještě pokazí.

Zde navržený algoritmus na vylepšení kvality otisku se skládá z osmi kroků, z nichž dva (segmentace, výpočet masky) slouží pouze k urychlení výpočtů a nemají žádný kvalitativní význam na otisk. Zbylých šest kroků je velmi důležitých a v případě, že bychom některý z nich vynechali nebo neprovedli zcela přesně, došlo by k nepřesnému zlepšení otisků. Některé z těchto kroků jsou v současné době vymyšleny v mnoha modifikacích, proto jsem se v této práci snažil najít v těchto metodách kompromis mezi rychlostí a kvalitou.

Celkově lze ale říci, že zde popisovaný přístup na vylepšení otisku lze použít spíše pro školní účely a určení kvality je spíše jen orientační. V případě, že by měl být nasazen na porovnávání např. do kriminologie, či na identifikaci, bylo by třeba algoritmus vyladit pro daný typ vstupního obrazu a hlavně optimalizovat implementované funkce, tak aby bylo porovnávání rychlejší.

Při dalším výzkumu by se mohl tento program rozšířit o další funkce, jako je přímé propojení se scannerem, ztenčení papilárních linií, detekování markantů a poté i funkce na porovnávání dvou otisků. Následně by se z daného programu mohl stát časem celkem robustní systém na porovnávání otisků prstů.

I když pro mne byla zpočátku práce na tomto projektu velice obtížná a vyžadovala vynikající znalost angličtiny, kterou jsem postrádal, tak jsem časem této problematice docela dobře porozuměl. Koncem práce mě výzkum na tomto projektu začal vcelku bavit, a pokud by se mi v budoucnu naskytla možnost pracovat pro firmu zabývající se úpravou obrazu otisků prstů, rád bych se této příležitosti chopil. Pokud se ale této práci nebudu delší dobu věnovat, hrozí, že těžce získané informace naopak zapomenou.

Literatura

- [1] AKRAM, M. Usman, et. al. *Improved fingerprint image segmentation using modified gradient based technique*. Electrical and computer Engineering, 2008. 2008, s. 1967-1973. ISSN 0840-7789.
- [2] COETZEE, L., BOTHA, E. C.. *Preprocessing of two-dimensional fingerprint images for fingerprint recognition*, 1991. Communications and signal processing. COMSIG 1991 proceedings. ISBN 0-7803-0040-8
- [3] DRAHANSKÝ, Martin. *Biometrické systémy (studijní opora)*. Brno: Vysoké učení technické, 2006.
- [4] HONG, Lin, WAN, Yifei, JAIN, Anil. *Fingerprint image enhancement: Algorithm and performance evaluation*. Pattern analysis and machine intelligence. 1998, roč. 20, č. 8, s. 777-789. ISSN 0162-8828.
- [5] HUVANANDANA, Sanpachai, MALISUWAN, Settapong. *A hybrid systém for automatic fingerprint identification: Fingerprint enhancement*, 2003. Chulachomklao: Royal military academy. ISBN 0-7803-7761-3.
- [6] INNOVATRICS. *Innovatrics Support Center: FAQ – Biometry* [online]. Vydáno: 2010, poslední revize: 1/2011 [citováno 2011-03-01] Dostupné z WWW: <<http://support.innovatrics.com/entries/408187-faq-biometry/>>.
- [7] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO/IEC TR 29794-4:2010 – Information technology – Biometric sample quality – Part 4: Finger image data* [online]. [citováno 2011-03-01] Dostupné z WWW: <http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=50911/>.
- [8] KHALIL, Mohammed Sayim, et. al. *Singular points detection using fingerprint orientation field reliability*. International journal of physical science. 2010, roč. 54, č. 4, s. 352-357. ISSN 1992-1950.
- [9] MALTONI, Davide, et al. *Handbook of fingerprint recognition*. New York: Springer-Verlang, 2003. 348 s. ISBN 0-387-95431-7.
- [10] POLÁČKOVÁ, Zuzana. *Rešerše algoritmů pro snímání a zpracování otisku prstů* (bakalářská práce). Praha: České vysoké učení technické, 2008. 54 s.
- [11] SAQUIB, Zia, KUMAR, Soni, Santosh, SUHASARIA, Sweta. *Automated fingerprint identification system: Recognition techniques & algorithmic approaches – A review (Volume I)*. India: Journal of science engineering & Technology Mgt.. 2010, roč. 2, č. 2.

- [12] SHEN, LinLin, KOT, Alex ChiChung, KOO, Wai Mun. *Quality measures of fingerprint images*. London: Springer-Verlag, 2001. ISBN 3-540-42216-1.
- [13] ŠTANCLA, Vít, ŠOLONY, Marek, ŠEVCOVIC, Jiří. *Vyplňování oblastí* [online]. Ústav počítačové grafiky a multimédií FIT VUT, 2010. [citováno dne 2010-03-09] Dostupné z WWW: <https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IZG/private/lab/03/izg_lab_03.pdf/>.
- [14] THAI, Raymond. *Fingerprint image enhancement and minutce extraction* (diplomová práce). University of Western Australia, 2003, 71 s, 1 příl.
- [15] TONG, Xi-Feng, et al. *A fast image enhancement algorithm for fingerprint*. Hong Kong: Proceeding of the sixth International conference of machine leasing and cybernetics, 2007.
- [16] University of Bologna. *FVC2004 – Third international fingerprint verification competition* [online]. 2003 [citováno dne 2010-03-13] Dostupné z WWW: <<http://bias.csr.unibo.it/fvc2004/download.asp/>>.
- [17] WEN, Miao-li, et al. *A Gabor filter based fingerprint enhancement algorithm in wavelet domain*. China: College of automatik Northwestern polytechnice University, 2005. ISBN 0-7803-9538-7.
- [18] XINSHENG, Wang, HONG, Zhang. *A new fingerprint enhancement algorithm*. Beijing: Broadband network and multimedia technology (IC-BNMT), 2010. ISBN 978-1-4244-6769-3.

Seznam příloh

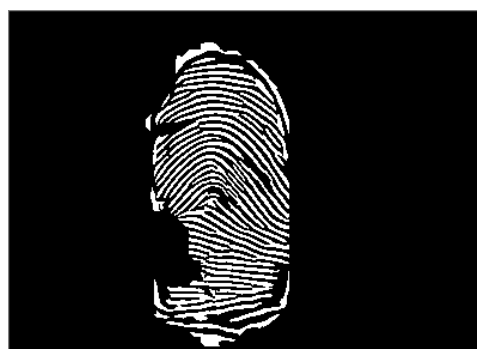
A. Výstupy filtračních metod

B. Obsah CD

Příloha A. Výstupy filtračních metod



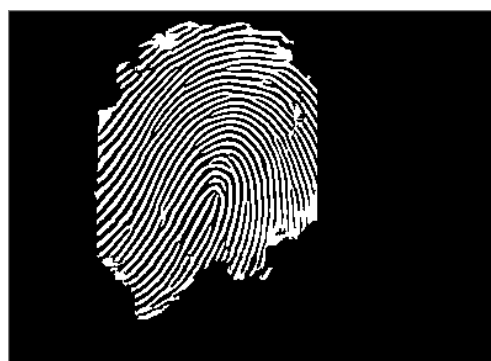
1a) 26 (400x300px)



1b) 35



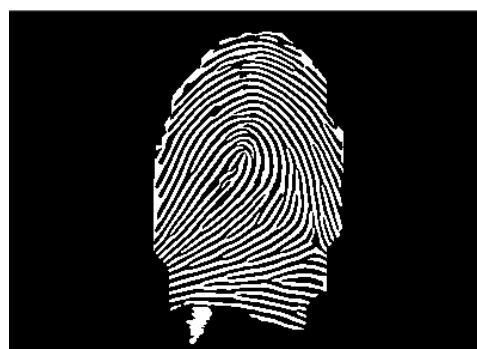
2a) 53 (400x300px)



2b) 56



3a) 48 (400x300px)



3b) 53



4a) 93 (263x262px)



4b) 91



5a) 76 (250x400px)



5b) 93



6a) 100 (250x400px)



6b) 100



7a) 82 (288x384px)



7b) 83



8a) 47 (288x384px)



8b) 58



9a) 86 (241x322px)



9b) 84



10a) 48 (200x200px)



10b) 60

Příloha B. Obsah CD

- Zdrojové kódy k bakalářské práci
- Databáze nekvalitních otisků
- Technická zpráva ve formátu pdf a doc
- Přeložený a spustitelný program včetně dávkových souborů
- Instalační soubor knihovny OpenCV v 2.1.0
- Soubor pdf s návodem na instalaci SDK od Innovatrics
- Úplná programová dokumentace