



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ

DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

EXTRAKCIA RYSOV Z DLANE PRE IDENTIFIKÁCIU OSÔB

EXTRACTION OF FEATURES FROM THE PALM FOR IDENTIFICATION OF PERSONS

SEMESTRÁLNÍ PROJEKT

TERM PROJECT

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

PATRIK PRICL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MARTIN SAKIN

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce



Student: **Pricl Patrik**
Program: Informační technologie
Název: **Extrakce rysů z dlaně pro identifikaci osob**
Extraction of Features from the Palm for Identification of Persons
Kategorie: Bioinformatika

Zadání:

1. Prostudujte vlastnosti lidské kůže na prstech a dlaní. Zaměřte se na optické vlastnosti kůže ve vztahu k různým vlnovým délkám.
2. Seznamte se s databází multispektrálních snímků dlaní CASIA nebo najděte/získejte jinou volně dostupnou databázi.
3. Analyzujte snímky rukou jedné osoby nasvícené různými barvami světla.
4. Navrhněte algoritmus, který extrahuje příznaky ze snímků dlaní a identifikuje osobu.
5. Implementujte navržení algoritmus.
6. Zhodnoťte dosažené výsledky a diskutujte další možné pokračování této práce.

Literatura:

- Ying Hao Zhenan Sun, Tieniu Tan and Chao Ren, "Multi-spectral palm image fusion for accurate contact-free palmprint recognition", Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing, 2008, pp.281-284, USA.
- Ying Hao, Zhenan Sun, Tieniu Tan, "Comparative Studies on Multispectral Palm Image Fusion for Biometrics", Proceedings of Asian Conference on Computer Vision 2007, vol.2, pp.12-21, Tokyo, Japan.
- Nikolskaia, Kseniia & Ezhova, Nadezhda & Sinkov, Anton & Medvedev, Maksim, "Skin Detection Technique Based on HSV Color Model and SLIC Segmentation Method", 2018.

Pro udělení zápočtu za první semestr je požadováno:

- Splnění bodů 1 až 4.

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

Vedoucí práce: **Sakin Martin, Ing.**
Vedoucí ústavu: Hanáček Petr, doc. Dr. Ing.
Datum zadání: 1. listopadu 2020
Datum odevzdání: 12. května 2021
Datum schválení: 11. listopadu 2020

Abstrakt

Práca sa zaoberá identifikáciou osôb pomocou dlane. Využívajú sa špecifické vlastnosti kože a ciev. K zachyteniu týchto vlastností sa využíva reakcia kože a ciev na elektromagnetické žiarenie. Pri extrahovaní vlastností kože sa využíva Gáborov filter. Pre extrahovanie žíl sa používa algoritmus LLBP. K porovnávaniu vlastností využíva Hammingova vzdialenosť, Euklidova vzdialenosť a klasifikátor najbližšieho suseda.

Abstract

The work deals with the identification of persons using the palm. The specific properties of the skin and blood vessels are used. The response of the skin and blood vessels to electromagnetic radiation is used to capture these properties. Gabor's filter is used to extract skin properties. The LLBP algorithm is used to extract the veins. It uses the Hamming distance, the Euclidean distance and the K-nearest neighbor algorithm to compare properties.

Kľúčové slová

biometria, koža, elektromagnetické žiarenie, oxidácia krvi, dľaň, LLBP, Gáborov filter, Hammingova vzdialenosť, Klasifikátor najbližšieho suseda

Keywords

biometrics, skin, electromagnetic radiation, blood oxidation, palm, LLBP, Gabor filter, Hamming distance, K-nearest neighbor algorithm

Citácia

PRICL, Patrik. *Extrahcia rysov z dlane pre identifikáciu osôb*. Brno, 2021. Semestrální projekt. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Ing. Martin Sakin

Extrakcia rysov z dlane pre identifikáciu osôb

Prehlásenie

Prehlasujem, že som túto bakalárskú prácu vypracoval samostatne pod vedením Ing. Martina Sakina. Uviedol som všetky literárne pramene, publikácie a ďalšie zdroje, z ktorých som čerpal.

.....
Patrik Priel
12. mája 2021

Podakovanie

Rád by som poďakoval Ing. Martinovi Sakinovi za jeho usmerňovanie a rady pri tvorbe tejto práce.

Obsah

1	Úvod	3
2	Biometria	4
2.1	Parametre v biometrii	4
2.2	Biometrické systémy	5
2.3	Skóre porovnaní	6
2.4	Biometria ruky	8
2.4.1	Odtlačok prsta	8
2.4.2	DNA	8
2.4.3	Cievy ruky	9
2.4.4	Nechty	10
2.4.5	Podpis	10
2.4.6	Dynamika stlačenia klávesov	10
2.4.7	Rozmery ruky	10
2.4.8	Odtlačok dlane	11
3	Identifikácia pomocou dlane	13
3.1	Koža	13
3.2	Elektromagnetické žiarenie	15
3.2.1	Infračervené svetlo	16
3.2.2	Viditeľné svetlo	16
3.2.3	Ultrafialové svetlo	17
3.3	Princíp metód identifikácie	17
3.3.1	Oxidácia krvi	17
3.3.2	Tvar čiar a jedinečné body dlane	18
3.4	Kožné choroby	19
3.4.1	Ekzém	19
3.4.2	Psoriáza	19
4	Návrh	21
4.1	Rozbor datasetu	21
4.2	Predspracovanie snímky	22
4.3	Algoritmy extrahujúce vlastnosti dlane	26
4.3.1	LBP	26
4.3.2	LLBP	27
4.3.3	Gáborov filter	28
4.4	Porovnanie	30
4.4.1	Hammingova vzdialenosť	30

4.4.2	Euklidova vzdialenosť	30
4.4.3	Klasifikácia najbližšieho suseda	30
4.5	Schéma	30
5	Implementácia	32
5.1	Programovací jazyk a knižnice	32
5.2	Moduly	33
5.3	Užívateľské prostredie	41
6	Experimentovanie a vyhodnotenie	43
6.1	Metódy predspracovania snímky	43
6.2	Metódy verifikácie a identifikácie osoby	44
7	Záver	48
	Literatúra	49

Kapitola 1

Úvod

Identita je hlavná súčasť človeka, bez ktorej sa v modernom svete nedá žiť. Hovorí sa, že je to to jediné, čo nám nemôže nikto zobrať. Bohužiaľ, je to len čiastočná pravda. Každý deň niekto využíva nedokonalosti moderného systému a jedná pod cudzou identitou bez toho, aby to poškodená osoba vedela. Ľudia sú si tých nedokonalostí vedomí, a preto sa vyvíjajú neustále nové bezpečnostné metódy, ktoré posilňujú našu bezpečnosť a zabraňujú aj krádeži identity.

Výsledok nových bezpečnostných metód môžeme vidieť na inteligentných mobiloch, ktoré sa odblokujú priložením prsta na skener odtlačku prstov alebo nasnímaním tváre kamerou, ktorá nás rozpozná. Tieto metódy tiež riešia jeden častý problém každého z nás, a to je strácanie a zabúdanie vecí, keďže prsty sa nezabudnú na rozdiel od kľúčov.

Pri vytváraní nových bezpečnostných metód sa využívajú poznatky biológie človeka a ich zistenia pomocou moderných technológií. Zaoberá sa tým biometria, ktorá sa vysvetlí v 2. kapitole. Spolu s ňou sa predstavujú typy biometrických systémov, skóre porovnania a jednotlivé vlastnosti ruky, ktoré sa v biometrii využívajú. Niektoré z týchto vlastností sa taktiež použijú pri riešení problematiky tejto práce.

V 3. kapitole sa priblíži identifikácia pomocou dlane. Vysvetlí sa ako sa k tomu dá využiť koža a jej štruktúra. Ako vie pomôcť pri identifikácii elektromagnetické žiarenie a princíp metód, ktoré sa využívajú na identifikáciu pomocou dlane. Uvedie sa aj ako na identifikáciu vplývajú kožné choroby, ktoré sa prejavujú v oblasti dlane.

V 4. kapitole sa rozoberie využitý dataset pre spracovanie a testovanie. Predstaví sa spôsob spracovania snímky a algoritmy, ktoré sa využijú k extrakcií vlastností dlane zo snímky.

V 5. kapitole sa vysvetlí implementácia jednotlivých metód pre spracovanie snímky, extrakcií príznakov z dlane ruky a taktiež ich porovnanie. Predstaví sa využité programovacie jazyky a knižnice využité v rámci implementácie. Na záver kapitoly sa ukáže užívateľské prostredie, ktoré uľahčí prácu s programom a vysvetlí sa jeho funkcionálnosť.

Testovanie a vyhodnotenie výsledkov metód bude témou v 6. kapitole. Okrem výsledkov sa predstavujú nevýhody a výhody jednotlivých metód, či ich kombinácií.

Kapitola 2

Biometria

Biometria v obore informačných technológií využíva špecifických vlastností človeka pre jeho identifikáciu alebo overenie totožnosti. Rozpoznanie človeka pomocou črt tváre, typu chôdze, zvuku hlasu, dokonca aj pravopisu. Toto všetko sú vlastnosti, ktorými je človek špecifický a na základe toho aj identifikovateľný.

Biometria využíva pre identifikáciu anatomické črty a črty chovania. Anatomické črty sú fyziologické vlastnosti človeka, ktoré má dané od narodenia a sú zakorenené v DNA. Bez vonkajšieho zásahu ich nie je možné zmeniť. Sú to napríklad črty tváre, dúhovka, sietnica alebo odtlačok prsta. Črty chovania sú vlastnosti, ktoré nie sú dané od narodenia, ale v priebehu života ich človek získava alebo si ich osvojí. Človek ich vplyvom vlastnej vôle dokáže zmeniť. Sú to napríklad chôdza alebo hlas.

Zistenie živosti ruky, napadnutelnosť biometrického systému alebo výstup v podobe skóre porovnania, to sú nevýhody, ktoré biometria obnáša. Výhody, ako sú zabránenie podvodom, eliminovanie straty alebo zabudnutia, však prevyšujú nad nevýhodami. [4]

2.1 Parametre v biometrii

Špecifické vlastnosti človeka musia spĺňať určité kritériá. Tieto kritériá alebo parametre pomáhajú určiť či je vlastnosť vhodná na využitie v biometrii, prípadne určiť silné a slabé stránky danej vlastnosti. Každá špecifická vlastnosť človeka, ktorá sa využíva pri identifikácii alebo verifikácii osôb, spĺňa parametre biometrie rozdielne. Preto sa na riešenie rôznych situácií využívajú rôzne biometrické vlastnosti.

Parametre, ktoré musí špecifická vlastnosť spĺňať, sú [16]:

- **Univerzálnosť** - každá osoba by mala mať danú biometrickú vlastnosť. (A)
- **Rozlišovacia spôsobilosť** - všetky osoby by mali byť rozdielne v rámci ich biometrickej vlastnosti. (B)
- **Stálosť** - čas by nemal mať vplyv (v rámci identifikačného kritéria) na biometrickú vlastnosť. (C)
- **Zberateľnosť** - biometrickú vlastnosť dokážeme merať kvantitatívne. (D)

V rámci biometrického systému musíme brať do úvahy aj [16]:

- **Výkon** - splnenie operačných alebo environmentálnych faktorov k dosiahnutiu požadovanej presnosti a rýchlosti rozpoznávania. (E)
- **Prijateľnosť** - rozsah ľudí, ktorí sú ochotní identifikovať sa pomocou biometrickej vlastnosti v každodennom živote. (F)
- **Oklamatelnosť** - ako ľahko dokáže byť systém oklamáný falzifikátom biometrickej vlastnosti. (G)

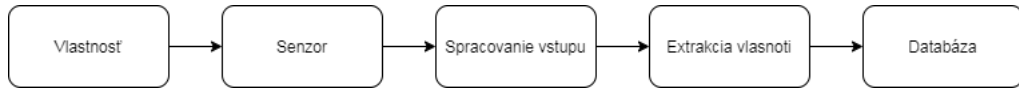
Špecifické vlastnosti	A	B	C	D	E	F	G
DNA	V	V	V	N	V	N	N
Uši	S	S	V	S	S	V	S
Tvár	V	N	S	V	N	V	V
Tvárový termograf	V	V	N	V	S	V	N
Odtlačok prsta	S	V	V	S	V	S	S
Chôdza	S	N	N	V	N	V	S
Rozmery ruky	S	S	S	V	S	S	S
Žily na ruke	S	S	S	S	S	S	N
Dúhovka	V	V	V	S	V	N	N
Stláčanie kláves	N	N	N	S	N	S	S
Pot	V	V	V	N	N	S	N
Odtlačok dlane	S	V	V	S	V	S	S
Sietnica	V	V	S	N	V	N	N
Podpis	N	N	N	V	N	V	V
Hlas	S	N	N	S	N	V	V

Obr. 2.1: Tabuľka vysvetľuje do akej miery jednotlivé špecifické vlastnosti spĺňajú parametre biometrie. V - Vysoko, S - Stredne, N - Nízko. (Prevzaté z [29].)

2.2 Biometrické systémy

Biometrické systémy slúžia na prijatie, spracovanie, uloženie alebo vygenerovanie výsledku biometrickej informácie. Podľa počtu typov vlastností, čo na vstupe systém prijíma a spracováva sa rozdeľuje systémy na unimodálne a multimodálne biometrické systémy. Unimodálne sa zameriavajú len na jednu biometrickú vlastnosť. Nevýhodou je nižšia spoľahlivosť, kde na druhú stranu aj cena je rovnako nižšia. Multimodálne systémy spracujú viac typov vlastností, čo je spoľahlivejšie oproti unimodálnym systémom, ale cenovo drahšie. [5]

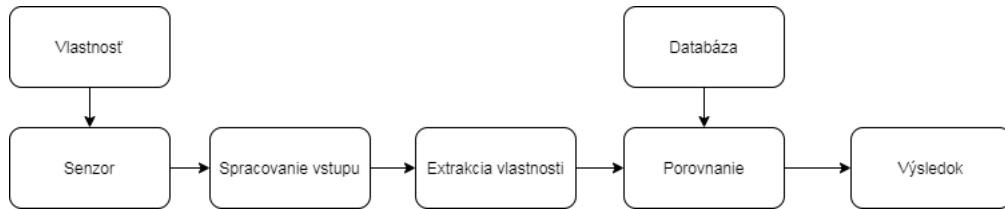
Biometrický systém sa skladá z registračného a verifikačného/identifikačného modulu. Obidva moduly majú senzor a jednotku na extrakciu rysov biometrickej informácie. Registračný modul ukladá informácie extrahovaných rysov do databázy. Verifikačný/Identifikačný modul obsahuje navyše jednotku, ktorá porovnáva informácie extrahovaných rysov zo vstupu a uložených v databáze, kde výstupom z tohto modulu je skóre porovnania. [5]



Obr. 2.2: Schéma registračného modulu. (Prevzaté z [4].)

Verifikačný modul sa využíva, pokiaľ má systém za úlohu overiť identitu osoby na základe uloženej identity v databáze. Porovnávanie sa označuje ako 1:1.

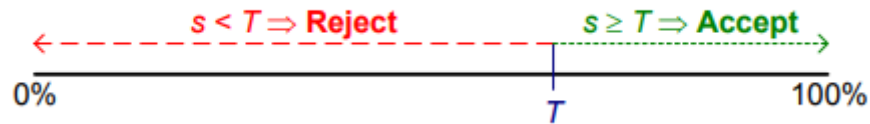
Identifikačný modul sa naopak využíva pri systéme, ktorý má za úlohu zistiť identitu osoby z uložených identít v databáze. Tu sa používa označenie porovnania 1:N.



Obr. 2.3: Schéma verifikačného/identifikačného modulu. (Prevzaté z [4].)

2.3 Skóre porovnania

Skóre porovnania je výstupom identifikačného alebo verifikačného modulu. Hodnota skóre sa nachádza v intervale $\langle 0; 1 \rangle$ [16]. Čím bližšie je hodnota skóre k 1, tým sú biometrické informácie podobnejšie až na samej hodnote 1 sú totožné. Akceptovanie podobnosti určí hraničná hodnota T (viď obrázok 2.4), ktorá sa nachádza v intervale $\langle 0; 1 \rangle$ [4].



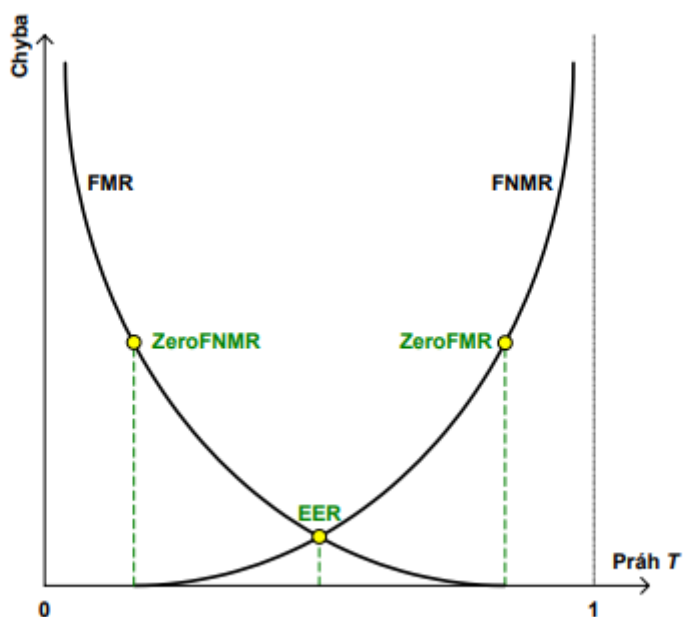
Obr. 2.4: Závislosť akceptovania od zvolenia hraničnej hodnoty. (Prevzaté z [4].)

To môže spôsobiť a aj spôsobuje 2 typy chýb v rámci systému.

- **Chybná zhoda** - medzi dvoma odlišnými biometrickými informáciami dôjde k zhode.
- **Chybná nezhoda** - medzi dvoma biometrickými informáciami od rovnakej osoby získané v rôznych časoch dôjde k nezhode. [4]

Kvôli týmto chybám sa zadefinovali miery, ktoré vyjadrujú pravdepodobnosť prejavu chyby.

- **Miera chybného prijatia (FAR)** - $\frac{\text{počet chybné prijatých osôb}}{\text{celkový počet prijatých osôb}}$
- **Miera chybného odmietnutia (FRR)** - $\frac{\text{počet chybné odmietnutých osôb}}{\text{celkový počet odmietnutých osôb}}$
- **Miera chybné zhody (FMR)** - $\frac{\text{počet chybné zhodných osôb}}{\text{celkový počet zhodných osôb}}$
- **Miera chybné nezhody (FNMR)** - $\frac{\text{počet chybné nezhodných osôb}}{\text{celkový počet nezhodných osôb}}$
- **Miera vyrovnaní chýb (EER)** - definuje rovnosť medzi mierou chybné zhody a mierou chybné nezhody (viď Obr. 2.5).



Obr. 2.5: Závislosť mier od zvolenia hraničnej hodnoty. (Prevzaté z [4].)

2.4 Biometria ruky

Ruka má v biometrii a v kriminalistike obrovský význam. Dokáže sa z nej zistiť obrovské množstvo špecifických vlastností, ktoré sa využívajú pri identifikácii alebo verifikácii osôb.

2.4.1 Odtlačok prsta

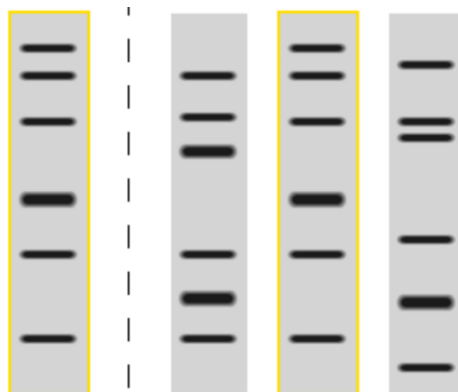
Odtlačky prstov sa v biometrii využívajú najviac z pomedzi všetkých biometrických vlastností. Dôvodom je pohodlný spôsob overenia a taktiež rozlíšiteľná spôsobilosť. Mnoho bezpečnostných systémov využíva pre zabezpečenie práve túto biometrickú vlastnosť. Taktiež veľa inteligentných telefónov ponúka možnosť odblokovania pomocou odtlačku prsta. Svedčí to o tom, že je biometria pomocou tejto vlastnosti prijateľná pre spoločnosť v každodennom živote. Každý jeden prst má unikátny odtlačok. Ani len jeden z prstov na vlastnej ruke nie je rovnaký. Unikátnosť je spôsobená tvarom povrchu kože na prste. Z povrchu kože na prste vyrastajú papilárne línie [4]. Pri odtlačení prstu vieme určiť ich tvar. Práve na základe jedinečnosti týchto tvarov sa dokáže identifikovať osoba, ktorej patria.



Obr. 2.6: Odtlačky prstov rôznych osôb. (Prevzaté z [16].)

2.4.2 DNA

DNA je jedinečný kód každého jedinca až na fakt, že identické dvojčiky majú rovnaký DNA vzor [16]. Využíva sa ako dôkaz pri usvedčovaní osôb z páchania trestného činu. Človek si ani nemusí byť vedomí, že druhá osoba vlastní jeho vzorku DNA. Vzorka DNA človeka je ľahko získateľná, pretože sa nachádza v každej bunke ľudského tela a to aj vo vlase, ktorý vypadol z hlavy, či odlúpnutých čiastočkách kože z ruky. Na druhú stranu spracovanie vzorky je nákladnejšie a zložitejšie než pri odtlačku prsta (viď sekcia 2.4.1). Pri zisťovaní páchatela sa využíva metóda *Genetická daktyloskopia*, kde sa zo vzorky DNA vytvorí kód, pomocou ktorého sa identifikuje páchatel (viď obrázok 2.7).



Obr. 2.7: Identifikácia páchatela, kde vľavo je kód DNA vzorku páchatela a zvyšné tri sú kódy DNA vzorkov podozrivých. Kód páchatela a kód podozrivého v strede je totožný. (Prevzaté z [6].)

2.4.3 Cievny ruky

Cievny ruky sú, ako aj ostatné biometrické vlastnosti, unikátne pre každého človeka. Rovnako ako ľavá a pravá ruka rovnakého človeka má rôzny cievny systém, tak je to aj pri dvojičkách. Túto biometrickú vlastnosť využívajú niektoré banky pri identifikácii svojich zamestnancov [4].

Táto metóda môže byť bezkontaktná a o to pohodlnejšia pre verejnosť. Zároveň je nízka pravdepodobnosť, že dôjde k oklamaniu systému z dôvodu náročného zachytenia snímky ciev ruky utočnikom. Ruka musí byť vystavená infračervenému žiareniu, aby boli na snímke viditeľné cievy (viď obrázok 2.8).

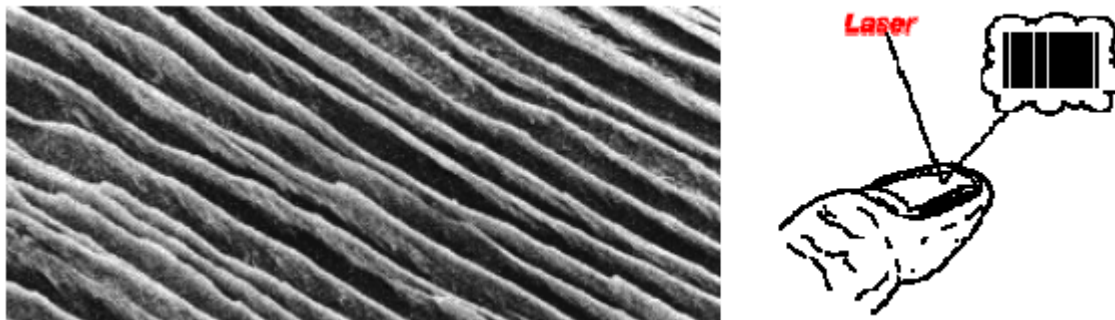


Obr. 2.8: Dlaň pri vystavení infračervenému žiareniu. (Prevzaté z [28].)

2.4.4 Nechty

Necht má na povrchu štruktúru, ktorá kopíruje lôžko nechtu nachádzajúci sa pod ním [4]. Tento povrch, podobne ako pri odtlačku prsta, je unikátny vplyvom tvaru rýh.

Pri identifikácii pomocou tejto biometrickej vlastnosti sa používa laser, ktorý sa pod správnym uhlom z nechta odrazí (viď Obr. 2.9.) [4]. Z odrazu vieme rozpoznať nerovnosti a tým identifikovať osobu.



Obr. 2.9: Povrch nechta a získavanie nerovností pomocou laseru. (Prevzaté z [4].)

2.4.5 Podpis

Spôsob akým človek píše svoje meno je pre každého charakteristický [16]. Je to rys chovania, ktorý sa v priebehu života mení. Je ovplyvňovaný emóciami, zdravotným stavom alebo sa odstupom času mení [16]. Preto je prípustná väčšia odchylka pri overovaní, čo využívajú práve falzifikátori, ktorí vedú presvedčivo napodobniť cudzí podpis. Aj keď táto špecifická vlastnosť spĺňa parametre biometrie v slabej miere, využívajú ju banky pri overovaní identity klienta. Môže to byť spôsobené vysokou ochotou spoločnosti sa pomocou tejto špecifickej vlastnosti verifikovať.

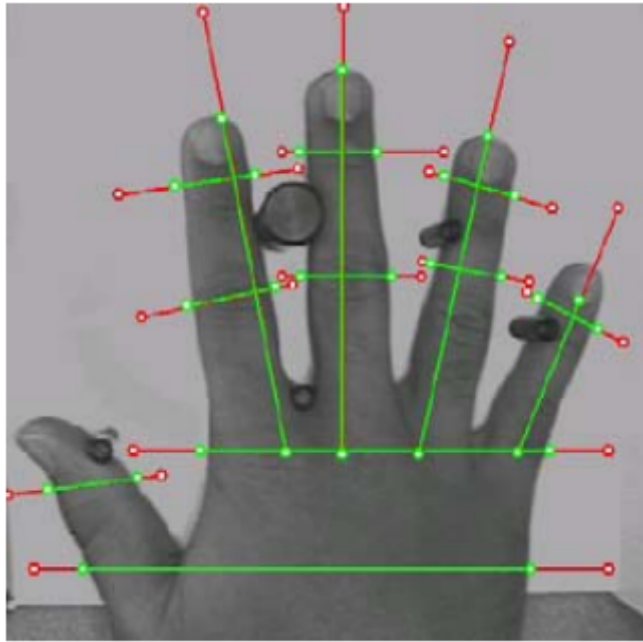
2.4.6 Dynamika stlačenia klávesov

Táto špecifická vlastnosť sa radí medzi vlastnosti chovania. Môže ju ovplyvňovať citové rozpoloženie identifikujúceho, čo sa prejavuje zmenou hranice akceptovanosti 2.4. Neočakáva sa, že je táto vlastnosť unikátna pre každého obyvateľa, ale ponúka dostatočné informácie na overenie totožnosti. Klávesnica človeka, ktorý využíva systém, je nenápadne monitorovaná počas toho ako človek pomocou klávesnice zadáva informáciu. [16]

2.4.7 Rozmery ruky

Táto vlastnosť využíva rozdiel rozmerov ruky medzi dvoma osobami. Porovnáva dĺžku, šírku a hrúbku dlane alebo prstov ruky [29].

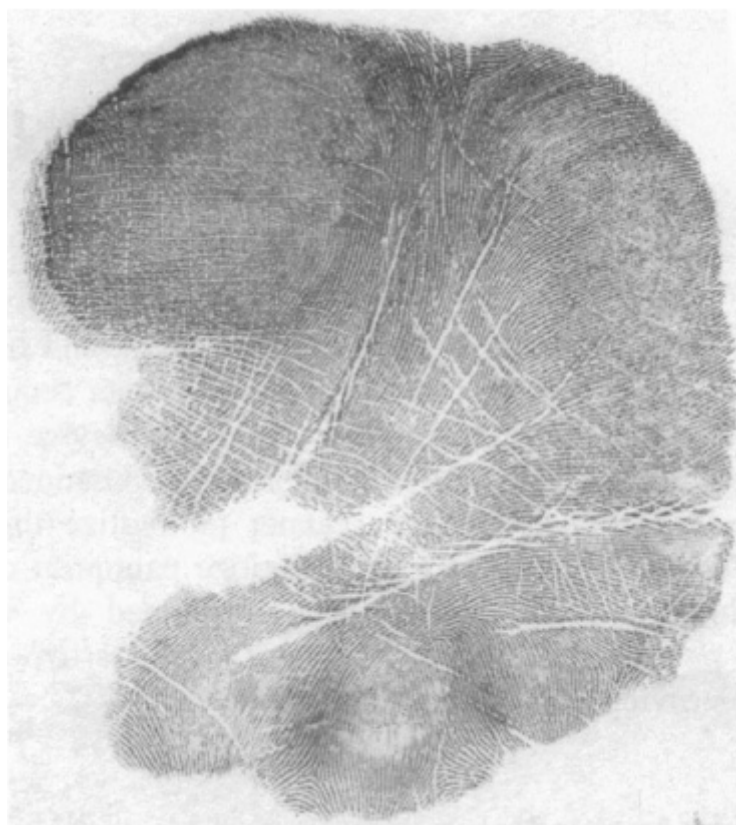
Overenie pomocou tejto metódy vyžaduje spoluprácu s overovaným človekom. Je potrebné, aby overovaný mal položenú ruku na rovnom povrchu a vystreté prsty počas overovania. K tomu sa využívajú tzn. distančné kolíky, aby ruka bola presne umiestená na snímanom povrchu (viď obrázok 2.10). Z dôvodu limitovaných zdrojov počítača sa táto metóda využíva skôr na verifikáciu ako na identifikáciu. [16]



Obr. 2.10: Proces extrakcie rozmerov ruky zo snímky. (Prevzaté z [4].)

2.4.8 Odtlačok dlane

Pri biometrii pomocou odtlačkov dlane sa využívajú unikátne vlastnosti dlane. Niektoré z týchto vlastností nemôžu byť viditeľné voľným okom. Povrch kože dlane je rovnaký ako pri odtlačku prsta, ale rozmer dlane v porovnaní s končekom prsta je väčší (viď obrázok 2.6 odtlačku prsta a obrázok 2.11 odtlačku dlane). Vďaka tomuto vieme lepšie porovnať odtlačky a znížiť šancu, že dôjde k chybnjej identifikácii alebo verifikácii osoby než pri použití odtlačku prsta. Taktiež je nižšia pravdepodobnosť, že dôjde k poraneniu kože dlane než končekom prsta, ktoré môže ovplyvniť výsledok biometrie. K biometrii vieme využiť tiež fotografie, ktoré sú nižšej kvality ako fotografie odtlačku prsta. To prispieva k rýchlejšej biometrii a k zníženiu potrebných zdrojov počítača. [29]



Obr. 2.11: Atramentový odtlačok dlane. (Prevzaté z [29].)

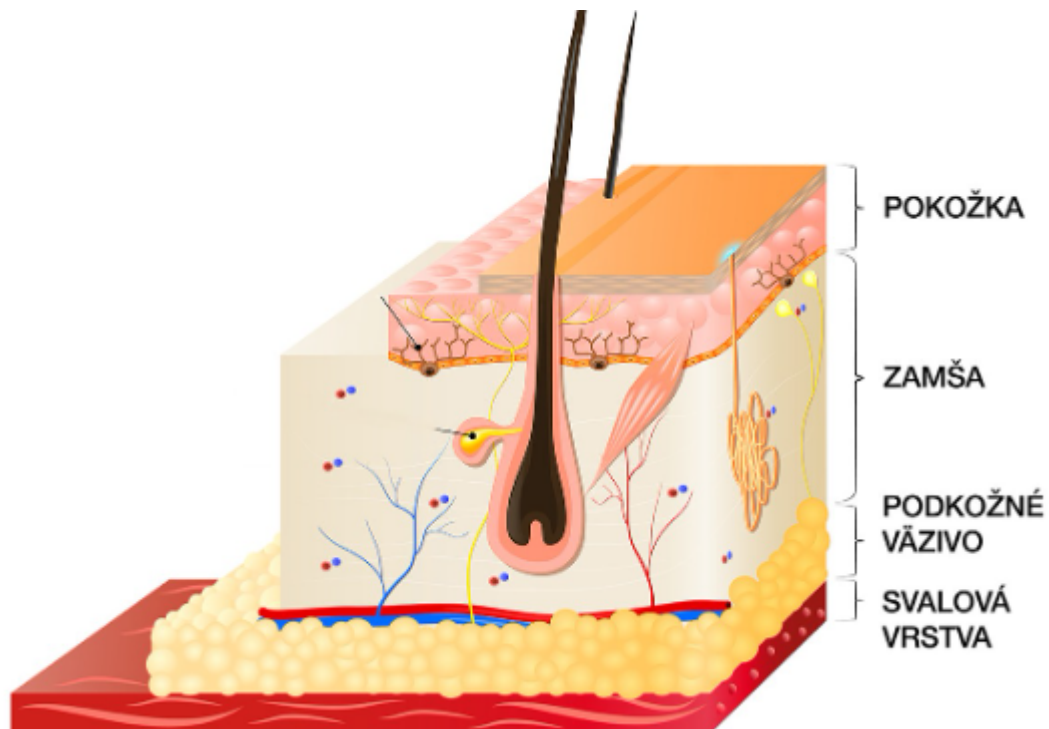
Kapitola 3

Identifikácia pomocou dlane

Dlaň je vnútorná časť ruky. Z pohľadu anatómie ľudského tela sa nachádza medzi prstami a zápästím. V biometrii je táto časť tela používaná, pretože je bohatá na unikátne vlastnosti.

3.1 Koža

Koža je najväčší orgán v ľudskom tele, ktorý slúži ako ochranná vrstva pred vonkajšími vplyvmi. Taktiež je to sídlo hmatu, jedného z piatich zmyslov človeka, kde práve na dlani je hmatových buniek väčšia koncentrácia a tým pádom vieme presnejšie vnímať touto časťou tela. Okrem hmatu sa tu nachádzajú aj bunky, ktoré zachytávajú podnety na teplo či chlad. Tiež zabezpečuje reguláciu teploty tela, kde na to využíva potné žľazy, cievy alebo chĺpky [24]. Podiela sa aj na dýchaní, vylučovaní odpadových látok z tela alebo slúži ako zásobáreň energie v podobe tuku.



Obr. 3.1: Vrstvy ľudskej kože. (Prevzaté z [3].)

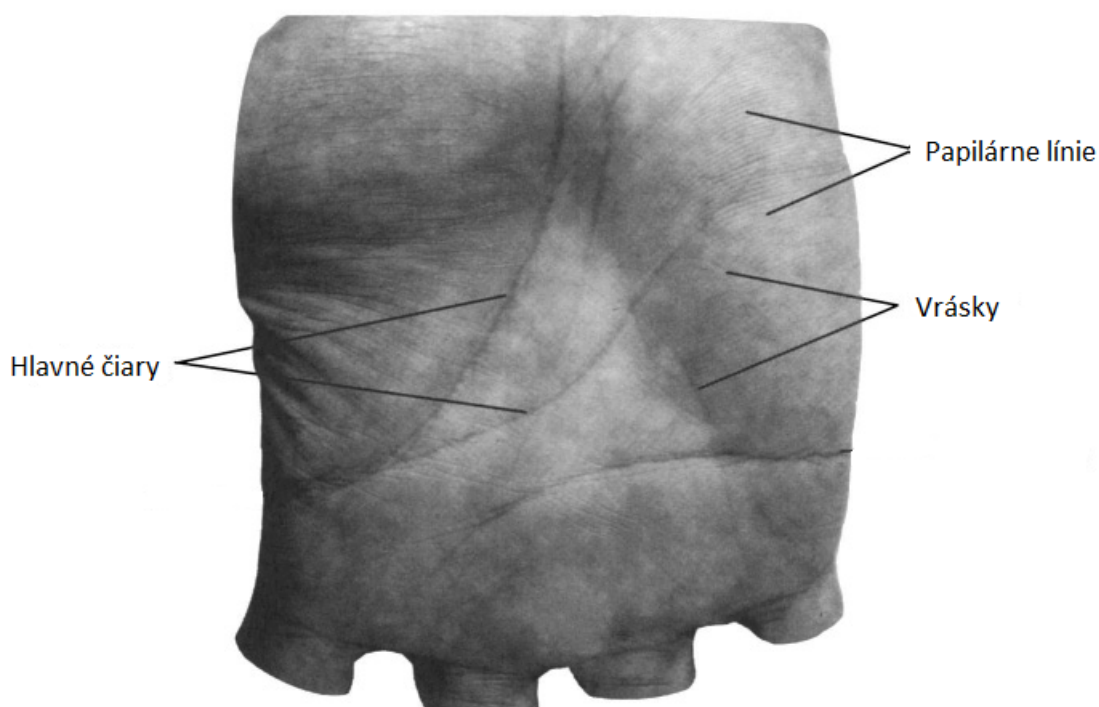
Vrstvy kože:

- **Pokožka (lat. epidermis)** - Vrstva kože nachádzajúca sa na povrchu. Môžeme ju vidieť aj voľným okom. Splňa predovšetkým ochrannú vlastnosť kože. [24]
- **Zamša (lat. dermis)** - Vrstva nachádzajúca sa pod pokožkou. V zamši sú umiestnené hmatové receptory, ktoré zabezpečujú fungovanie hmatového zmyslu. Taktiež sa tu nachádzajú potné žľazy a cievy, ktoré koža využíva pri regulácii teploty. [24]
- **Podkožný tuk (lat. subcutis)** - Posledná vrstva kože pod zamšou. Pri nárazoch plní svoju ochrannú funkciu a to tým, že ich tlmí. Napomáha aj pri termoregulácii tým, že poskytuje izoláciu pred horúčavou a chladom. [24]

Koža dlane si od narodenia prispôsobuje svoju hrúbku. Vďaka tomu sa formujú na povrchu dlane čiary. Je to spôsobené rozdielnou hrúbkou kože na danom mieste. Tvorba týchto čiar je spojená s pohybom prstov a dlane, štruktúrou kože a jej účelom [29].

Čiary na dlani sa rozdeľujú na 3 typy: hlavné čiary, vrásky a papilárne línie.

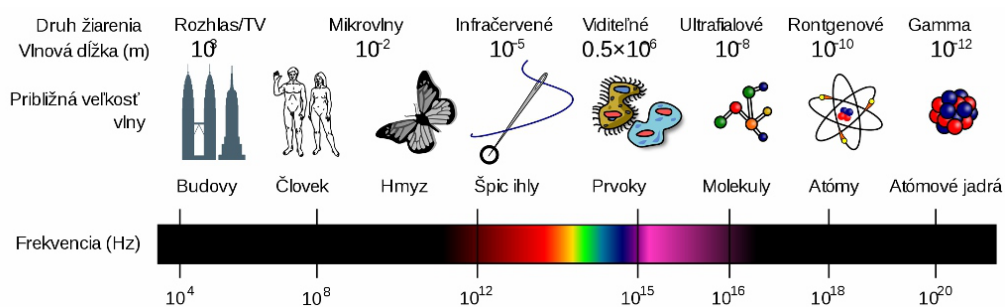
- **Hlavné čiary** - U každého človeka vznikajú rovnako, vplyvom ohýbania ruky. Tvar, do akého sa čiary vyformujú, je však pre každého rozdielny, a tým pádom jedinečný. Rozmery ruky a hrúbka prstov a dlane je tiež pre každého rozdielna, čo prispieva k rôznorodosti tvaru čiar [29]. Hlavné čiary sa ešte delia na čiaru života, čiaru rozumu a čiaru srdca.
- **Vrásky** - Vplyvom svalovej aktivity sa koža natáhuje a zmenšuje. Časom koža stráca elasticitu a vznikajú viditeľné vrásky. Tieto vrásky sa nachádzajú aj na dlani. Spôsobuje ich pohyb dlane. Môžu sa na koži nachádzať aj prirodzené vrásky, ktoré sú viditeľné skôr ako koža stratí elasticitu. [29]
- **Papilárne línie** - Vyrastajú z povrchu kože, ale sú veľmi malej hrúbky. Nachádzajú sa len na prednej časti ruky a spodnej časti chodidiel [29]. Ich účelom je zvýšiť trenie medzi kožou a povrchom, ktorým sa koža dotýka. Tvar týchto línií sa líši a tým zabezpečujú svoju unikátnosť.



Obr. 3.2: Snímka dlane so znázornenými čiarami. (Prevzaté z [29].)

3.2 Elektromagnetické žiarenie

Elektromagnetické žiarenie je súhrnný názov pre rôzne druhy elektromagnetického vlnenia vyžarovaného rôznymi zdrojmi [25]. Druhy elektromagnetického žiarenia rozlišujeme podľa frekvencie elektromagnetického vlnenia alebo zdroja [25]. Rozmedzie vlnovej dĺžky je medzi $10^3 - 10^{-14}$ metra. Elektromagnetické žiarenie s vlnovou dĺžkou pod 10^{-7} metra sa nazýva ionizačné žiarenie [17]. Vystavenie živého organizmu ionizačnému žiarenie môže mať za následok vážne zdravotné ťažkosti (napr. rakovina kože). Optické vlastnosti kože sa prejavujú predovšetkým pri vystavení optickému žiareniu.



Obr. 3.3: Druhy elektromagnetického žiarenia zoradené od najväčšej vlnovej dĺžky po najmenšiu. (Prevzaté z [27].)

Optické žiarenie je druh žiarenia s vlnovou dĺžkou medzi $10^{-3} - 10^{-9}$. V tomto druhu žiarenia sa uplatňujú zákony optiky (napr. zákony lomu a odrazu) [25]. Do tohto druhu žiarenia sa radí infračervené svetlo, viditeľné svetlo a ultrafialové svetlo.

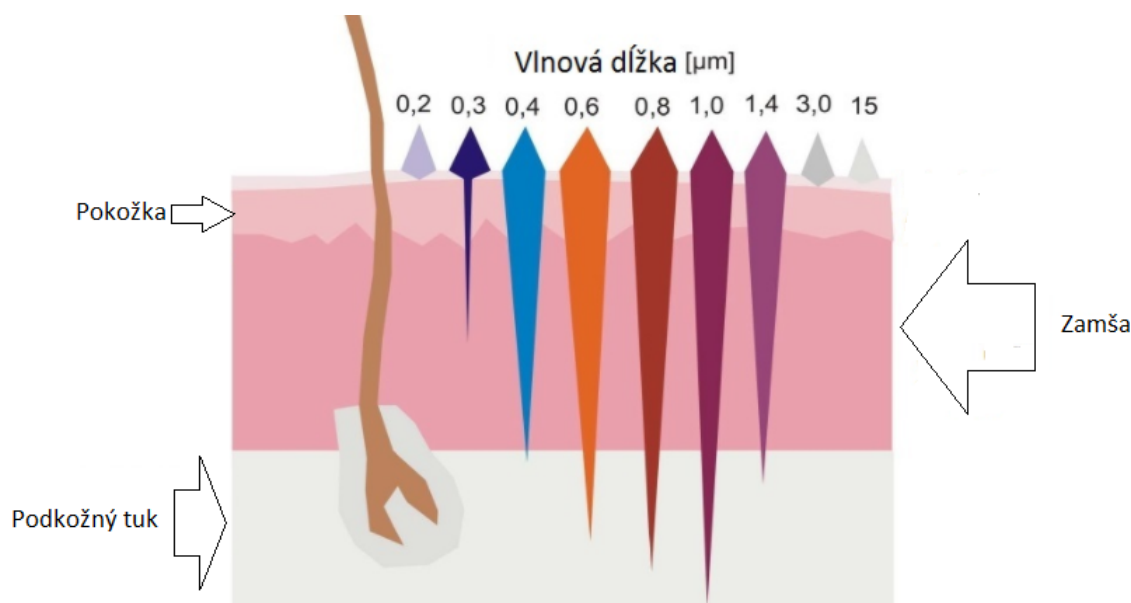
3.2.1 Infračervené svetlo

Vlnová dĺžka infračerveného svetla sa nachádza medzi 10^{-3} metra až 760 nanometrov. Je to frekvencia ležiaca pod červenou zložkou viditeľného svetla z čoho vyplýva názov. Žiarenie sa pre svoje tepelné účinky nazýva aj tepelné žiarenie. Zdrojom tohto elektromagnetického žiarenia sú všetky telesá, ktorých teplota je vyššia než absolútna nula. [25]

Infračerveného svetla kategorizujeme na IR-A (vlnová dĺžka medzi 780 nanometrov až 1,4 mikrometrov), IR-B (vlnová dĺžka medzi 1,4 mikrometrov až 3 mikrometre) a IR-C (vlnová dĺžka medzi 3 mikrometre až 1 milimeter) [12]. Infračervené svetlo dokáže preniknúť hlbšie do tkaniva než ostatné optické žiarenia a ohrieva danú oblasť. Vďaka tomu dochádza k väčšiemu prekrveniu danej oblasti a zvýšeniu produkcie kolagénu, ktorý zlepšuje kvalitu kože a spomaľuje starnutie kože (presnejšie tvorbu vrások).

Má aj negatívny vplyv na ľudský organizmus. Dlhodobé vystavenie môže spôsobiť prehriatie tkaniva a popáleniny. K poškodeniu tkaniva dochádza prostredníctvom molekúl vody v tele, ktoré toto žiarenie absorbujú a tým zvyšujú svoju teplotu [12].

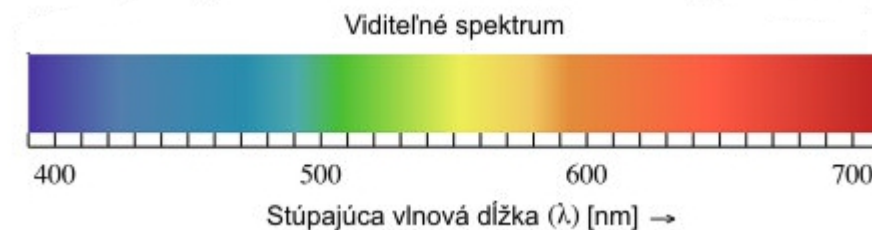
Využíva sa tiež v infračervených ďalekohľadoch slúžiacie ako nočné videnie, kde rozlišujú zahriate telesá od chladnejšieho pozadia [25].



Obr. 3.4: Znáznornenie prieniku žiarenia do hĺbky kože podľa vlnovej dĺžky. Vidíme, že najhlbšie sa dostáva žiarenie s vlnovou dĺžkou medzi 0,8 a 1 mikrometer, čo je vlnová dĺžka infračerveného žiarenia. (Prevzaté z [26].)

3.2.2 Viditeľné svetlo

Viditeľné svetlo je zložené z rôznych svetelných zložiek. Každá zo zložiek má zodpovedajúcu farbu k zodpovedajúcej vlnovej dĺžke. Vlnová dĺžka viditeľného svetla je medzi 380 nanometrov až 760 nanometrov. Zdrojom viditeľného svetla sú telesá s teplotou približne vyššou ako 525°C alebo sú to výboje v plynách [25]. Viditeľné svetlo je veľmi úzka oblasť elektromagnetického žiarenia, ktorá je viditeľná ľudským okom.



Obr. 3.5: Farba zložky svetla je závislá od vlnovej dĺžky. (Prevzaté z [27].)

3.2.3 Ultrafialové svetlo

Ultrafialové svetlo sa nachádza nad frekvenciou fialovej zložky viditeľného svetla. Jeho vlnová dĺžka je medzi 380 nanometrov až 1 nanometer. Zdrojom tohto svetla sú telesá zahriate na veľmi vysokú teplotu ako je Slnko alebo UV výbojky naplnené parami ortuti. [25]

Ultrafialové svetlo je príčinou vzniku pigmentu v koži človeka a tiež podporuje tvorbu vitamínu D.

Časť Ultrafialového svetla sa zaraduje už medzi ionizačné žiarenia. Ničí mikroorganizmi a rozkladá organické molekuly, čo je dôvodom, prečo sa využíva na dezinfekciu predmetov alebo priestorov [25]. Pomáha pri liečbe kožných ochorení, ktoré sú spôsobené baktériami, vystavovaním postihnutého miesta krátkodobému žiareniu. Vystavovanie sa dlhodobo tomuto žiareniu môže mať vážne zdravotné následky. Ultrafialové žiarenie nepreniká hlboko do tkanív, čo má za následok, že žiarenie ožaruje kožu, očné spojovku a rohovku [14].

Ultrafialové svetlo rozdelujeme podľa vlnovej dĺžky, výskytu a účinku:

- **UVA žiarenie** - Vlnová dĺžka je medzi 400 až 320 nanometrov. V soláriu sa využíva k rýchlemu zhnednutiu kože. Jeho negatívnym účinkom je zrýchlenie starnutia kože a zrýchlenie tvorby voľných radikálov, čím nepriamo prispieva k tvorbe rakoviny. [14]
- **UVB žiarenie** - Vlnová dĺžka o veľkosti 320 až 280 nanometrov. Preniká priamo do pokožky a pôsobuje neskoršie zhnednutie kože. [14]
- **UVC žiarenie** - Vlnová dĺžka medzi 280 až 100 nanometrov. Toto žiarenie nedopadá na zemský povrch, ale zachytáva ho ozónová vrstva Zeme [24]. Táto časť ultrafialového svetla sa radí medzi ionizačné žiarenia.

3.3 Princíp metód identifikácie

Vysvetlenie princípu metód využitých v tejto práci. Jedná sa o metódu pomocou ciev ruky (viď sekcia 2.4.3) a odtlačku dlane (viď sekcia 2.4.8).

3.3.1 Oxidácia krvi

K zachyteniu siete ciev ruky sa využíva infračervené svetlo (viď sekcia 3.2.1) a červená zložka viditeľného svetla, pretože dokážu preniknúť hlbšie do tkaniva. Hemoglobín, ktorý sa nachádza v krvi, absorbuje toto žiarenie. Pri zachytení ruky kamerou sa absorbovanie žiarenia prejavuje viditeľným krvným riečišťom v podobe tmavých čiar. Pri ruke mŕtvej osoby nedochádza k prúdeniu krvi, a tým k rovnakej absorpcii žiarenia krvou. Táto metóda je ťažko oklamateľná falzifikátom ruky, pretože musí obsahovať krvné riečište, v ktorom

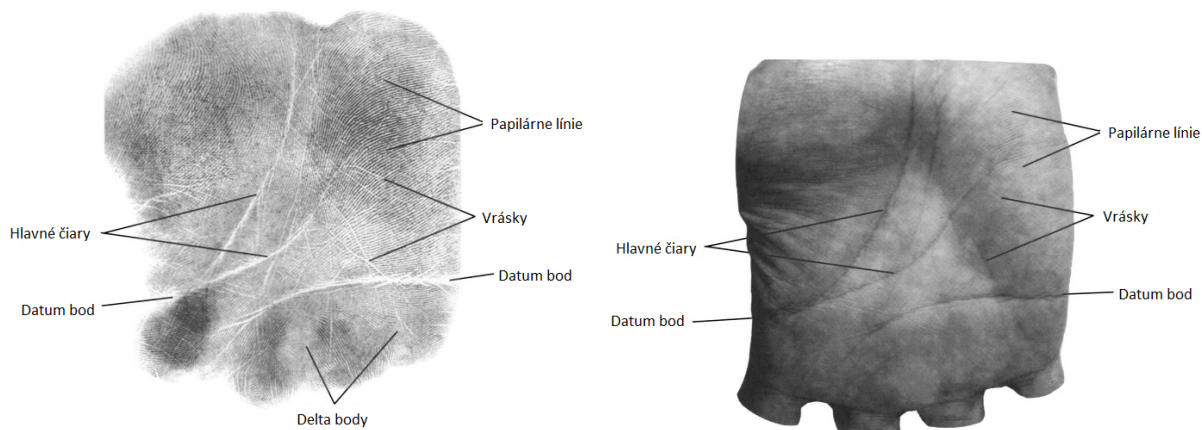
prúdi krv a tvar krvného riečišťa autorizovanej osoby. Zistiť tvar krvného riečišťa bez vedomia danej osoby je veľmi obtiažne. Zo snímky sa vie jedinečným tvarom krvného riečišťa identifikovať osoba.



Obr. 3.6: Zachytenie ruky pri vystavení infračervenému svetlu. (Prevzaté z [28].)

3.3.2 Tvar čiar a jedinečné body dlane

Čiary a body dlane sa získajú z dlane vyhotovením odtlačku dlane. Odtlačok dlane sa môže získať namočením dlane do atramentu a následným odtlačením ruky na papier. Tento odtlačok sa nazýva atramentový odtlačok dlane. Ďalšou variantov je odfoťenie dlane vystretej ruky s osvetlením dlane. Jedná sa o bezatramentový odtlačok dlane.



Obr. 3.7: Zobrazenie atramentového a bezatramentového odtlačku ruky. (Prevzaté z [29].)

Z odtlačku vieme získať s hlavnými čiarami, vráskami, papilárnymi líniami (viď sekcia 3.1) aj singulárne body a body markantu. [29]

- **Datum body** - Sú to 2 body nachádzajúce sa na okraji dlane a konci hlavných čiar. Veľkosť dlane vieme vypočítať pomocou Euklidovej vzdialenosti medzi týmito bodmi. [29]

- **Delta bod** - Je definovaný ako centrum delta oblasti na odtlačku dlane. Delta oblasť sa väčšinou nachádza v oblasti, kde vyrastajú prsty z dlane. Bod vieme určiť len z atramentového odtlačku dlane. [29]
- **Body markantu** - Jedná sa o body, kde papilárna línia začína, končí alebo sa delí na dve. Tiež sa dá určiť len z atramentového odtlačku dlane [29].

Porovnaním týchto čiar a bodov vieme identifikovať osobu.

3.4 Kožné choroby

Kožné choroby môžu zmeniť štruktúru kože a ovplyvniť tak špecifické vlastnosti, ktoré sa na koži nachádzajú. Jedná sa o problém, ktorý môže zapríčiniť neúspešnú identifikáciu.

3.4.1 Ekzém

Najčastejšie sa objavuje na tvári a na rukách [13]. Dochádza pri ňom k zápalovej reakcii na koži [13]. Prejavuje sa sčervenáním, zápalom a vyrážkami vyplnené tekutinou (viď obrázok 3.8) [24].



Obr. 3.8: Ekzém na prednej strane ruky. (Prevzaté z [13].)

3.4.2 Psoriáza

Najčastejšie sa za príčinu vzniku považuje porucha funkcie imunitného systému [18]. Táto porucha spôsobuje nadmernú produkciu kožných buniek [18]. Prejavuje sa ako nesúvislá oblasť červenej, zhrubnutej, šupinatej kože a nahromadenými odumretými bunkami kože (viď obrázok 3.9) [24].



Obr. 3.9: Psoriáza na dlani. (Prevzaté z [18].)

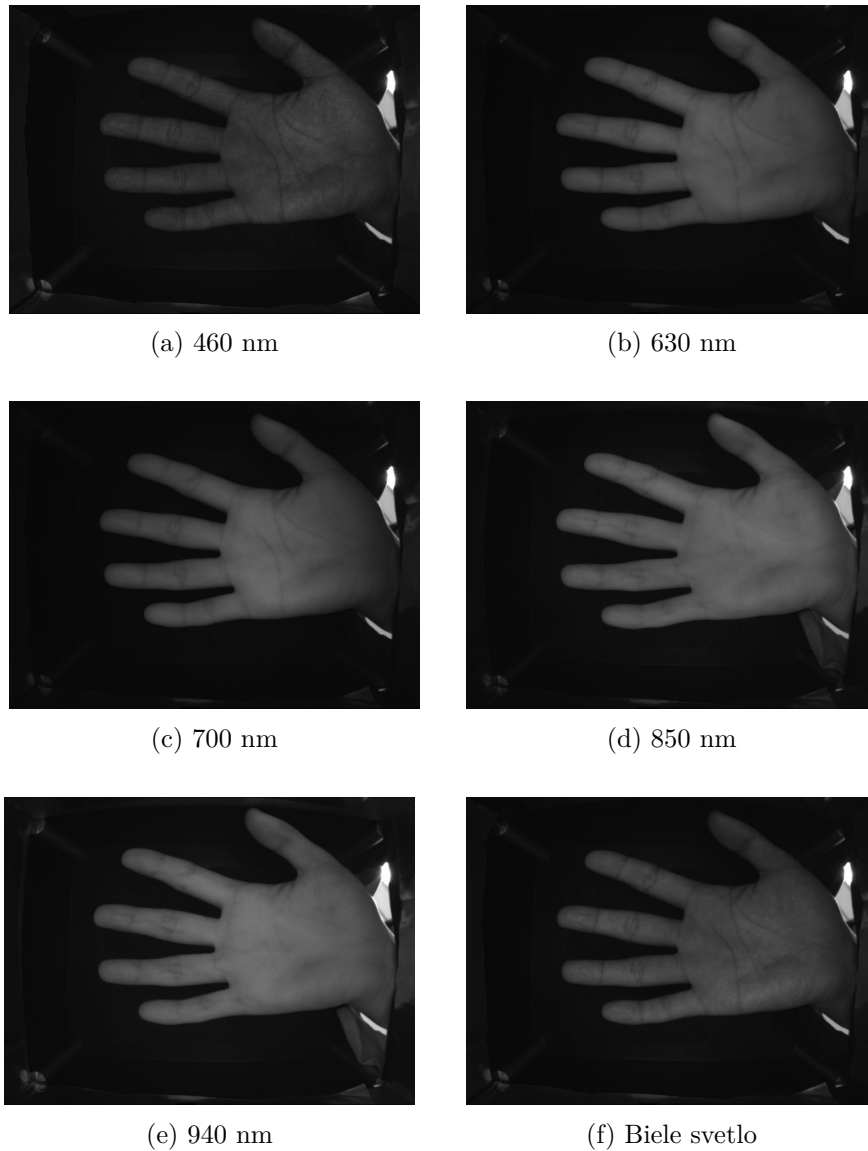
Kapitola 4

Návrh

Pri identifikácii osôb sa využijú cievy ruky, čiary na povrchu dlane. Využitím kombinácií dvoch vlastností sa docieli presnejšia identifikácia, aj keď za cenu väčšej spotreby zdrojov počítača.

4.1 Rozbor datasetu

V rámci práce sa využíva dataset CASIA. Dataset CASIA obsahuje snímky dlane ruky 100 rôznych ľudí. Každí z týchto ľudí poskytol pre uskutočnenie snímky pravú aj ľavú ruku. Snímky zachytávajú dlaň ruky pri vystavení elektromagnetickému žiareniu. Jedná sa presnejšie o vlnové dĺžky 460 nm, 630 nm, 700 nm, 850 nm, 940 nm a biele svetlo. Dataset CASIA obsahuje šesť snímok pre obidve ruky každej osoby pri vystavení spomínaným dĺžkam. Snímanie osôb prebiehalo v dvoch kolách s časovým rozstupom aspoň jeden mesiac. Dokopy dataset obsahuje 7200 snímok. [28]



Obr. 4.1: Snímky jednej osoby pravej ruky z každej dĺžky. (Prevzaté z [28].)

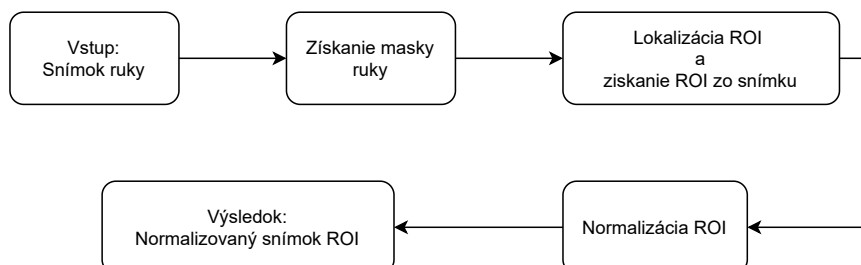
Z obrázku 4.1 je vidno, že čím stúpa vlnová dĺžka, tak tým sú čiary dlane menej viditeľné. Preto sa na identifikáciu pomocou čiar ruky hodí snímka s vlnovou dĺžkou 460 nm. Naopak žily sú viditeľné na snímke s vlnovou dĺžkou 940 nm.

4.2 Predspracovanie snímky

Pred extrahovaním sa musí snímka spracovať, aby sa odstránila nepotrebná časť snímky. Vďaka tomu je proces identifikácie alebo verifikácie presnejší a aj rýchlejší, čo ušetrí zdroje počítača. Výsledkom predspracovania snímky je snímka oblasti záujmu. Táto snímka sa využije k extrahovaniu vlastností.

Oblasť záujmu

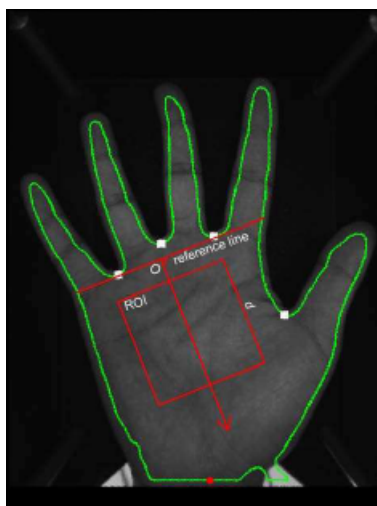
Oblasť záujmu (anglicky Region of Interest, skrátene ROI) je oblasť, v ktorej sa nachádza špecifická vlastnosť alebo vlastnosti, ktoré sa dajú použiť pri identifikácii alebo verifikácii osôb.



Obr. 4.2: Schéma spracovania snímky.

Priebeh predspracovania snímky:

- **Maska ruky** - Slúži na určenie polohy ruky v snímke a aj jej rozlíšenie od pozadia. K vytvoreniu masky sa používajú metódy prahovania alebo detekcií hrán.
- **Lokalizácia ROI a získanie ROI zo snímky** - Využitím masky ruky sa lokalizuje oblasť záujmu. Najlepšou oblasťou pre extrahovanie žíl alebo čiar ruky je centrum dlane. Každá osoba má iné rozmery dlane alebo vzdialenosť ruky od objektívu môže byť rôzna. To vedie k rôznej veľkosti dlane na snímke a aj pokiaľ ruka patrí totožnej osobe. Preto statické rozmery ROI sú nevyužiteľné. Získaním bodov, ktoré predstavujú medzery medzi prstami sa dokáže lokalizovať ROI aj pri rozdielnej vzdialenosti ruky od objektívu. Rozmery ROI budú závisieť od polohy a vzdialenosti medzier medzi prstami.



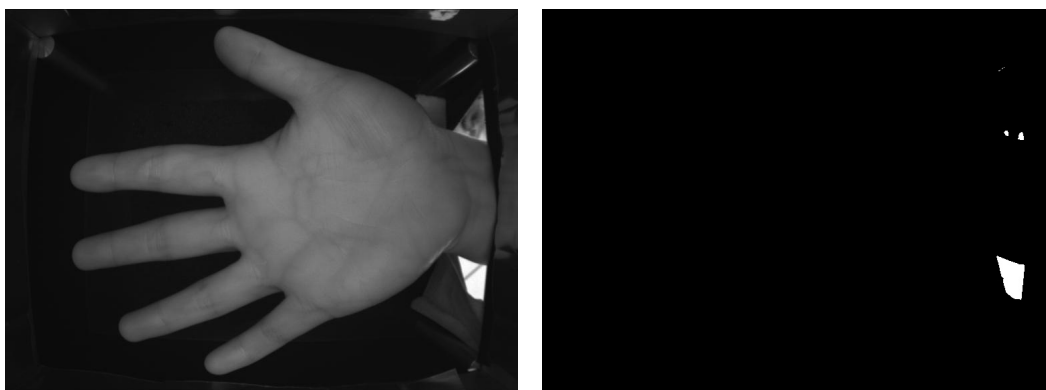
Obr. 4.3: Lokalizácia ROI v strede dlane. (Prevzaté z [28].)

- **Normalizácia** - Slúži k upraveniu rozmerov ROI snímky. Keďže sa jedná o bezkontaktné snímanie ruky, vzdialenosť ruky rovnakej osoby sa od kamery môže pri identifikácii a registrácii líšiť. To môže spôsobiť neúspešnú identifikáciu, a preto sa snímky normalizujú do rovnakého ($T \times T$, kde T je počet pixelov) rozmeru. Rovnako, tak niektoré algoritmy sa bez rovnakého rozmeru porovnávaných snímok nedajú aplikovať.

Metódy získania masky ruky:

- **Globálne prahovanie** - Využíva rozdiel medzi číselnou hodnotou pixelu a hraničnej hodnoty, ktorá je manuálne užívateľom zadaná. Ak je číselná hodnota pixelu pod hraničnou hodnotou, výsledný pixel bude čiernej farby. Inak bude pixel bielej farby (viď vzorec 4.1). Globálne prahovanie sa aplikuje pre každý pixel snímky a hraničná hodnota je konštantná. Jedná sa o jednoduchú a rýchlu metódu, pokiaľ ale je osvetlenie objektu nejednotné, tak dochádza k tvorbe nepresnej masky.

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & h(x, y) \geq T \\ 0, & h(x, y) < T \end{cases} \quad (4.1)$$



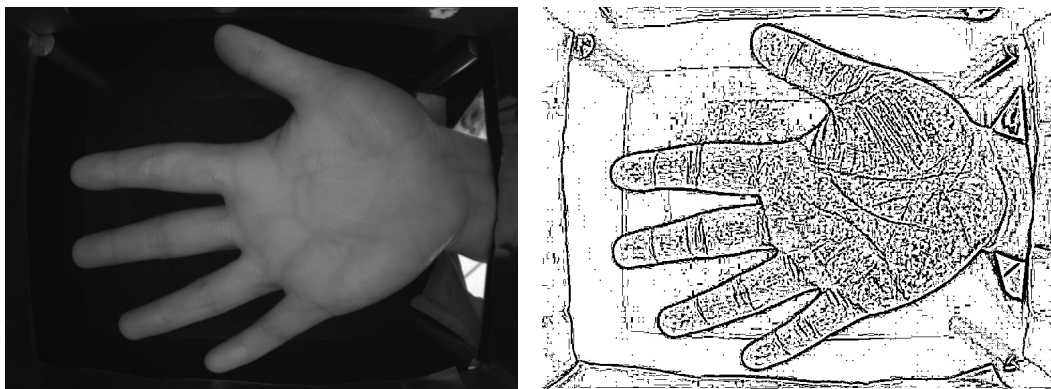
Obr. 4.4: Aplikovanie globálneho prahovania na snímku ruky z databázy CASIA, kde hraničná hodnota je stredná hodnota rozsahu. (Prevzaté z [28].)

- **Adaptívne prahovanie** - Na rozdiel od globálneho prahovania adaptívne prahovanie nepracuje len s jednou hraničnou hodnotou. Hraničná hodnota je závislá na oblasti, na ktorú sa aplikuje. Hraničné hodnoty pre danú oblasť sa môže stanoviť pomocou Chow a Kaneko prístupu alebo lokálnym prístupom.

Chow a Kaneko prístup rozdelí obraz na rad prekrývajúcich sa čiastkových obrazov a potom pomocou analyzovania histogramu sa nájde optimálna hranica pre každý čiastkový obrázok. Prahová hodnota pre každý jeden pixel sa zistí interpoláciou výsledkov čiastkových obrazov. [7]

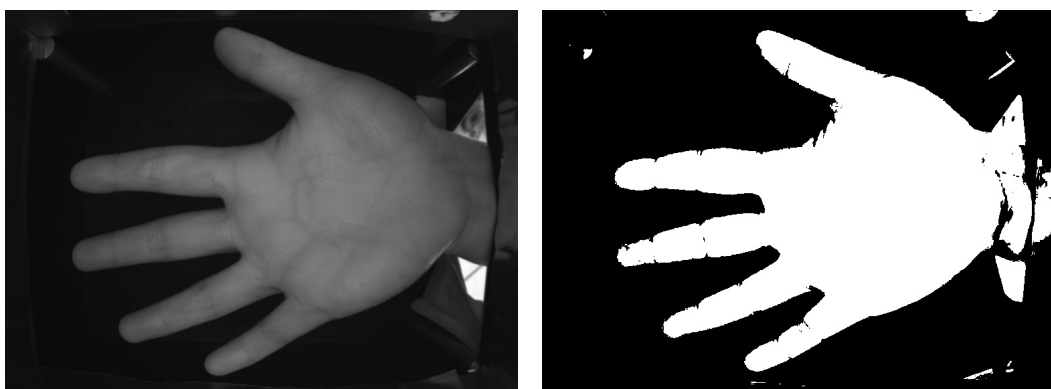
Lokálny prístup zistí hraničnú hodnotu výpočtom priemernej hodnoty alebo zvolí najčastejšie sa vyskytujúcu hodnotu v rámci oblasti. [7]

Adaptívne prahovanie rieši problém vytvorenia masky objektu, ktorý je nejednotne osvetlený, ale je výpočetne náročnejší než globálne prahovanie. [7]



Obr. 4.5: Aplikovanie adaptívneho prahovania na snímku ruky z databázy CASIA, kde veľkosť oblasti je 10x10. (Prevzaté z [28].)

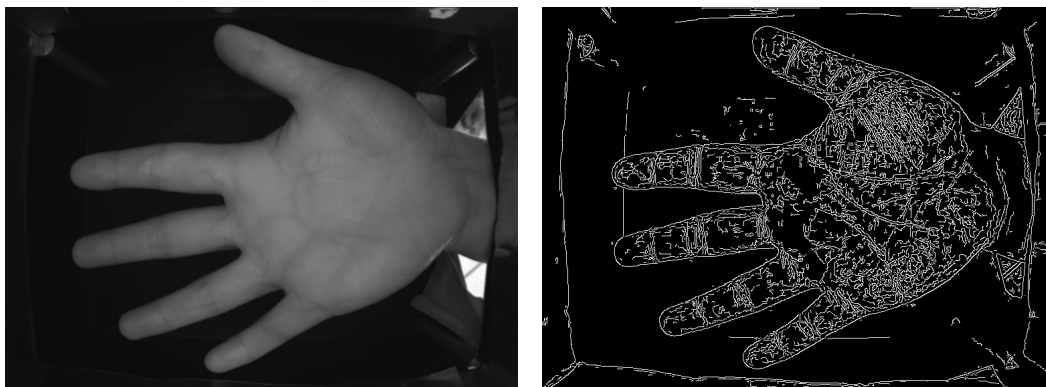
- **OTSU prahovanie** - Hraničná hodnota je vypočítaná pomocou iterácie cez všetky možné prahové hodnoty a výpočet miery pixelov, ktoré buď spadajú do popredia alebo do pozadia. Cieľom je nájsť hraničnú hodnotu, pri ktorej je súčet rozptylov popredia a pozadia minimálny. Následne sa vykoná globálne prahovanie s vypočítanou hraničnou hodnotou. [10]



Obr. 4.6: Aplikovanie OTSU prahovania na snímku ruky z databázy CASIA. (Prevzaté z [28].)

- **Cannyho hranový detektor** - Na rozdiel od predchádzajúcich metód, táto metóda detekuje a zvýrazňuje hrany medzi pozadím a objektom, nie celý objekt od pozadia. Prebieha vo viacerých krokoch pre presnejšie odlíšenie pozadia od objektu.

Prvým je aplikovanie Gaussovho filtra pre odstránenie šumu. Na vyhladený obrázok použije jednoduchú prvú deriváciu. Okraje vedú k vytvoreniu gradientov, ktoré algoritmus sleduje a nastaví na nulu všetky pixely, ktoré sa v skutočnosti nenachádzajú na hrane. [8]



Obr. 4.7: Aplikovanie Cannyho hranového detektoru na snímku ruky z databázy CASIA. (Prevzaté z [28].)

V rámci práce sa plánuje použiť pre získanie masky ruky OTSU prahovanie a Cannyho prahový detektor. Spojením týchto dvoch metód sa môže docíliť presné získanie masky ruky. Na zjednotenie OTSU prahovania a Cannyho prahového detektoru sa použijú morfológičné operácie.

4.3 Algoritmy extrahujúce vlastnosti dlane

Aplikovaním algoritmu, ktorý extrahuje vlastnosti, sa docíli zvýraznenie danej vlastnosti na ROI snímke. Identifikácia je vďaka tomu presnejšia a taktiež sa odstránia ostatné vlastnosti, ktoré nie sú pre identifikáciu použiteľné, ba priam naopak mohli by viesť k chybnjej identifikácii.

4.3.1 LBP

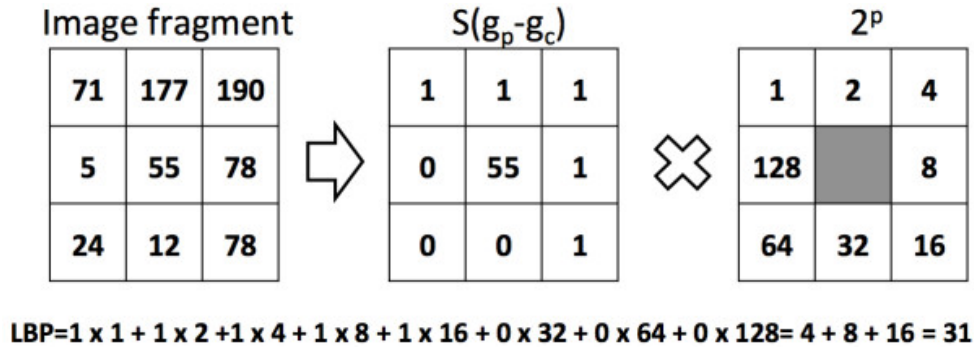
LBP (angl. Local binary patterns) je algoritmus na analýzu textúry. Využíva porovnávanie susedných pixelov snímky v sivom spektre. Základný spôsob používa 3x3 maticu pixelov, kde okolo centrálného pixelu je 8 susedných pixelov. Postup výpočtu je znázornený na obrázku 4.8

$$LBP(x_c, y_c) = \sum_{n=0}^7 s(i_n - i_c) 2^n \quad (4.2)$$

$$s(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (4.3)$$

Výsledkom je snímka, kde číselná hodnota pixelu odpovedá odlišnosti od jeho susedov. Číselnú hodnotu pixelu sa získa použitím vzorca 4.2, kde x_c a y_c predstavujú súradnice pixelu, i_c je hodnota aktuálneho pixelu, i_n je hodnota susedného pixelu. Vzorcom 4.3, kde vstupná hodnota x je rozdielom susedného pixelu a aktuálneho pixelu, získame hodnotu bitu. Zreťazením všetkých týchto binárnych hodnôt v smere hodinových ručičiek začínajúci z ľavého horného rohu (viď obrázok 4.8) sa získa 8-bitové číslo v dvojkovej sústave. Prevodom do desiatkovej sústavy sa získa hodnota výsledného pixelu v sivom spektre. Vy-

užiť sa môže pri extrakcii krvného riečišťa zo snímky, kde tmavé čiary ciev viditeľné na fotke dokáže viac zvýrazniť.



Obr. 4.8: Postup výpočtu výstupnej hodnoty pixelu pomocou LBP. (Prevzaté z [9].)

4.3.2 LLBP

LLBP (angl. Local line binary patterns) je rovnako algoritmus na analýzu textúry. Tak tiež používa porovnávanie susedných pixelov snímky v sivom spektre, ale už nepoužíva na porovnávanie 8 najbližších susedných pixelov. Metóda využíva pixely, ktoré sú umiestnené v rovnakom riadku alebo v stĺpci ako centrálny pixel.

$$LLBP_h(x_c, y_c) = \sum_{n=1}^7 s(i_{-n} - i_c) 2^{n-1} + \sum_{n=1}^7 s(i_n - i_c) 2^{n-1} \quad (4.4)$$

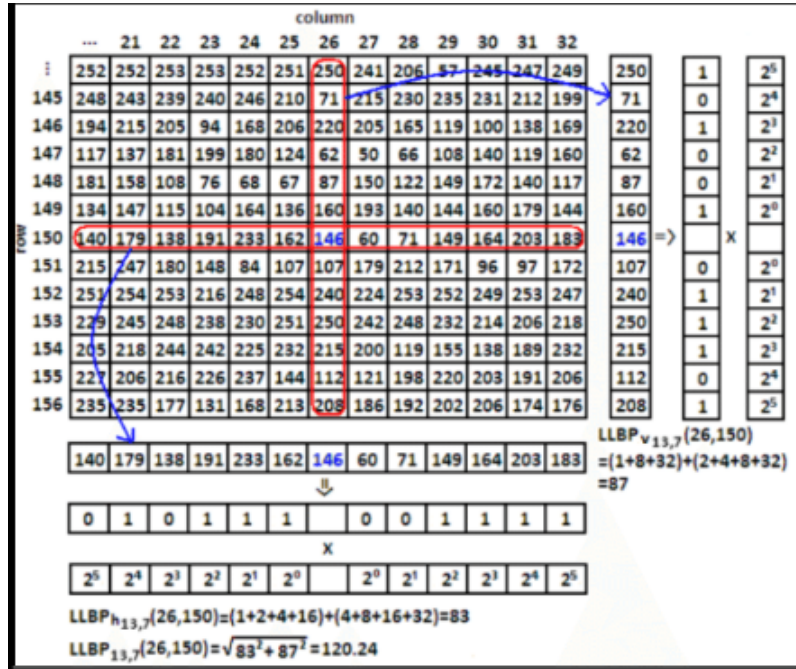
$$LLBP_v(x_c, y_c) = \sum_{n=1}^7 s(i_{-n} - i_c) 2^{n-1} + \sum_{n=1}^7 s(i_n - i_c) 2^{n-1} \quad (4.5)$$

$$s(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (4.6)$$

$$LLBP(x_c, y_c) = \sqrt{LLBP_v^2 + LLBP_h^2} \quad (4.7)$$

Vzorec 4.4 vypočíta súčet binárnych hodnôt prevedených do desiatkovej sústavy. Binárne hodnoty sú získané pomocou vzorca 4.6 a zrefazéním zvyšujúcou sa vzdialenosťou susedného pixela od centralneho pixela, kde susedné pixely a centrálny pixel sa nachádzajú na rovnakom riadku. Vzorec 4.5 vypočíta súčet pre susedné pixely a centrálny pixel v rovnakom stĺpci. Hodnota v sivom spektre pre daný pixel sa vypočíta pomocou vzorca 4.7. [22]

Postup výpočtu je znázornený na obrázku 4.9.



Obr. 4.9: Postup výpočtu výstupnej hodnoty pixela pomocou LLBP. (Prevzaté z [22].)

V rámci práce sa použije modifikovaná metóda LLBP. Modifikácia sa týka zväčšením vzdialenosti medzi pixelmi, ktoré sa porovnávajú s centrálnym pixelom, prípadne vzdialenosť medzi pixelmi a centrálnym pixelom. Keďže sa pomocou tejto metódy extrahujú žily ruky, ktoré na snímke sú často širšie ako 6 pixelov, extrahovanie žíl pomocou LLBP, kde sú rozostupy medzi pixelmi minimálne, spôsobí nepresné extrahovanie.

4.3.3 Gáborov filter

Gáborov filter sa často používa pri spracovávaní obrazu alebo detekcii objektov. Pozostáva zo sínusovej vlny modulovanej Gaussovskou obálkou. Využitím dvojrozmerného Gáborovho filtra sa môže extrahovať čiary dlane zo snímky tým, že sa zredukuje šum snímky. Nastavením filtra na presnú frekvenciu a smer sa dokáže uchopiť zo snímky lokálna orientácia čiar dlane na zadanej frekvencii. Dvojrozmerný Gáborov filter sa matematicky vyjadří pomocou vzorca 4.8.

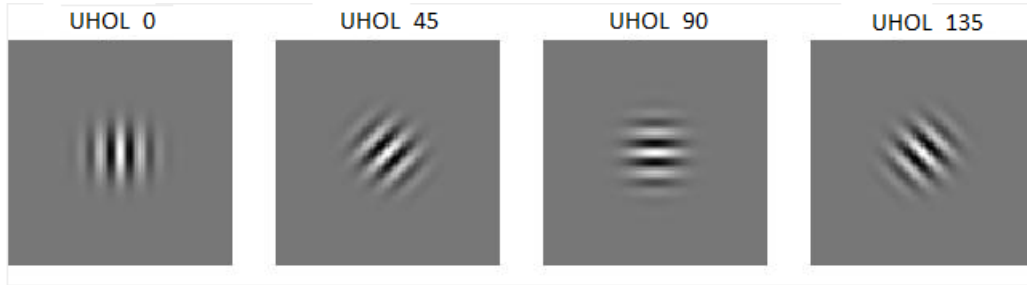
$$G_{\gamma,\sigma,\lambda,\varphi,\theta}(x,y) = \exp\left(-\frac{x^2 + \gamma^2 y^2}{2\sigma^2}\right) \exp\left(2\pi j \left(\frac{x}{\pi} + \varphi\right)\right) \quad (4.8)$$

$$x = x \cos(\theta) + y \sin(\theta) \quad (4.9)$$

$$y = -x \sin(\theta) + y \cos(\theta) \quad (4.10)$$

- γ - Priestorový pomer strán.
- σ - Rozptyl Gaussovej funkcie.
- λ - Vlnová dĺžka sínusovej funkcie.

- φ - Fázový posun.
- θ - Uhol, ktorý sa nastavuje pre požadovanú orientáciu čiar.



Obr. 4.10: Gáborov filter pre dané uhly. (Prevzaté z [21].)

V publikácií [11] pán Deng-Yuan Huang a jeho tím použil 2-D Gáborov filter pre zistenie orientácie ruky. Upravením matematického vyjadrenia 4.8 na nasledujúci vzorec 4.11.

$$G_{\gamma,\sigma,\theta}(x,y) = \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{\sigma^2}\right) \exp\left(\frac{\pi j}{\gamma\sigma}(x \cos \theta - y \sin \theta)\right) \quad (4.11)$$

- γ - Priestorový pomer strán.
- σ - Rozptyl Gaussovej funkcie.
- θ - Uhol, ktorý sa nastavuje pre požadovanú orientáciu čiar.

Získaním imaginárnej a reálnej zložky zo vzorca 4.11 a následnou vypočítanou komplexnou hodnotou sa získajú informácie o orientácii ruky, ktoré sa využijú na automatické zistenie potrebného parametru pre predspracovanie snímky.

Prof. A. R. Nichal a jeho tím v publikácii [19] použili kruhový 2-D Gáborov filter pre extrakciu čiar ruky z ROI snímky, kde matematickým vyjadrením je vzorec 4.12.

$$G_{u,\sigma,\theta}(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{\sigma^2}\right) \exp(2\pi j(ux \sin \theta - uy \cos \theta)) \quad (4.12)$$

- u - Frekvencia sínusovej vlny.
- σ - Rozptyl Gaussovej funkcie.
- θ - Uhol, ktorý sa nastavuje pre požadovanú orientáciu čiar.

Pre lepšiu odolnosť voči svetlu aplikovali vzorec 4.13, ktorý zmení jednosmerný prúd na hodnotu 0.

$$\hat{G}_{u,\sigma,\theta}(x,y) = G_{u,\sigma,\theta}(x,y) - \frac{\sum_{i=-n}^n \sum_{j=-n}^n G_{u,\sigma,\theta}(i,j)}{(2n+1)^2} \quad (4.13)$$

Po aplikovaní filtra na snímku, výslednú snímku previedli do binárnej snímky pomocou pravidiel 4.14 a 4.15.

$$binary_{real} = \begin{cases} 1, & Re[\hat{G}_{u,\sigma,\theta} * I] \geq 0 \\ 0, & Re[\hat{G}_{u,\sigma,\theta} * I] < 0 \end{cases} \quad (4.14)$$

$$binary_{imag} = \begin{cases} 1, & Im[\hat{G}_{u,\sigma,\theta} * I] \geq 0 \\ 0, & Im[\hat{G}_{u,\sigma,\theta} * I] < 0 \end{cases} \quad (4.15)$$

4.4 Porovnanie

Posledným procesom v identifikácii alebo verifikácii je porovnávanie. Počas tohto procesu sa určí podobnosť snímok, na ktorých je extrahovaná vlastnosť uložená. V rámci verifikácie sa určí výsledok podľa nastavenej hraničnej hodnoty (viď sekcia 2.3). Pri identifikácii, kde môže dôjsť k chybné zhode, sa využije klasifikátor, ktorý klasifikuje osobu podľa najlepšieho výsledku.

4.4.1 Hammingova vzdialenosť

Hammingova vzdialenosť porovnáva dva bitové reťazce, kde výsledkom je počet zmien, ktoré by bolo nutné vykonať, aby boli reťazce rovnaké.

Tento spôsob porovnania sa využije, či už pri porovnávaní binárnych snímok čiar ruky, tak aj pri porovnaní binárnych snímok žíl ruky.

Výsledok porovnania sa získa pomocou vzorca 4.16.

$$D = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M P(i, j) \oplus Q(i, j)}{NM} \quad (4.16)$$

kde N a M sú rozmery snímok, \oplus je bitový exkluzívny súčet, P a Q sú snímky, ktoré sa porovnávajú a musia mať totožné rozmery. D predstavuje číslo z intervalu $\langle 0; 1 \rangle$, kde 0 označuje úplnú zhodu a 1 úplnú nezhodu. Porovnávané snímky musia mať rovnaké rozmery.

4.4.2 Euklidova vzdialenosť

Využíva sa k zisteniu rozdielu vlastností medzi dvoma objektami. Čím je vzdialenosť menšia, tým sú si objekty podobnejšie až pri nule totožné. Vzdialenosť sa vypočíta vzorcom 4.17, kde i a j sú objekty, ktoré porovnávame a n je počet vlastností tých objektov. Vlastnosti objektu môžu predstavovať napr. súradnice bodov, farbu pixelu vyjadrenú číselne alebo podobnosť snímok.

$$D(i, j) = \sqrt{|x_1^2 - y_1^2| + |x_2^2 - y_2^2| + \dots + |x_n^2 - y_n^2|} \quad (4.17)$$

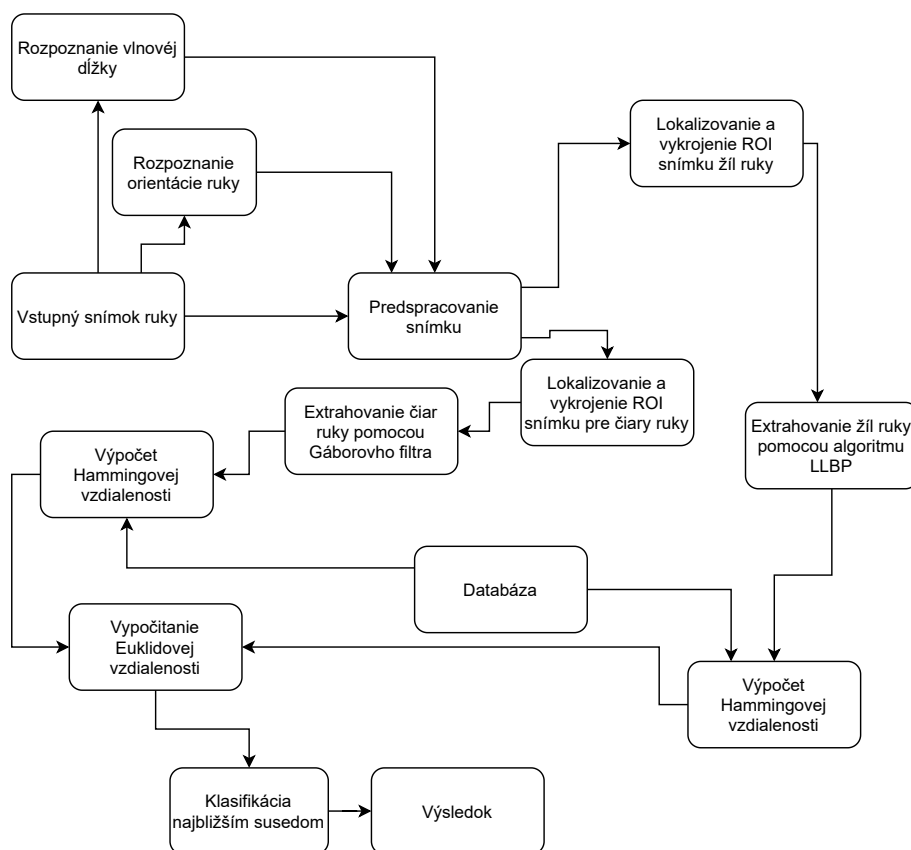
4.4.3 Klasifikácia najbližšieho suseda

Klasifikácia najbližšieho suseda je algoritmus, ktorý používa uložené objekty na klasifikáciu nových objektov. V tejto práci sa rozumie objekt ako snímka extrahovaných vlastností.

K rozhodnutiu, podľa ktorej snímky sa bude nová snímka klasifikovať, sa použije Hammingova vzdialenosť [23]. Nová snímka sa bude klasifikovať podľa snímky, s ktorou bude mať vzdialenosť najmenšiu.

4.5 Schéma

Prepojenie spracovania snímku, extrakcii vlastností a ich porovnanie je vyzobrazené na obrázku 4.11.



Obr. 4.11: Schéma návrhu.

Kapitola 5

Implementácia

V tejto kapitole sa vysvetlí implementácia zvolených metód spomenutých v kapitole 4. Vysvetlí sa implementácia rozpoznávania orientácie ruky, rozpoznávania vlnovej dĺžky aplikovanej na ruku, lokalizáciou ROI a následný výrez ROI snímky. Tiež sa vysvetlí implementácia metód, ktoré extrahujú príznaky z ruky a následne ich porovnanie. K programu je vytvorené aj užívateľské prostredie, pre ľahšie manipuláciu s programom.

5.1 Programovací jazyk a knižnice

Identifikačný algoritmus je implementovaný v jazyku Python3 a Cython, v ktorom sa používajú knižnice OpenCV, NumPy, Math. Využíva sa tiež modul Multiprocessing pre vytvorenie paralelných procesov, zabezpečujúce rýchlejšiu identifikáciu podľa dostupných zdrojov počítača.

Programovací jazyk Python3

Python3 je programovací jazyk na vysokej úrovni. Bol vydaný v roku 2008. Je interpretovaný, teda pred vykonaním sa nemusí program kompilovať. Python podporuje objektovo orientovaný štýl alebo techniku programovania, ale táto výhoda nebola v tejto práci využitá. Python podporuje vývoj širokej škály aplikácií od jednoduchého spracovania textu cez webové prehliadače až po hry. Názov Python je pomenovaný po televíznej šou s názvom Monty Python's Flying Circus a nie po hadovi Pythonovi. [15]

Programovací jazyk Cython

Cython kombinuje silu jazyka Python a jazyka C. Je to nadmnožina jazyka Python, ktorý navyše podporuje volanie funkcií a deklarovanie typov premenných jazyka C. Toto umožňuje kompilátoru vygenerovať veľmi efektívny C kód z kódu Cython a následne sa skompiluje kompilátormi C / C ++. To všetko robí z Cythonu ideálny jazyk na zabalenie externých knižníc a rýchlych modulov jazyka C, ktoré urýchľujú vykonávanie kódu jazyka Python3. [1]

Knižnica OpenCV

OpenCV (Open Source Computer Vision Library) je open source softvérová knižnica pre počítačové videnie a strojové učenie. OpenCV bol postavený s cieľom poskytnúť spoločnú

infraštruktúru pre aplikácie počítačového videnia a urýchliť využitie strojového vnímania. [20]

Knižnica má viac ako 2 500 optimalizovaných algoritmov, ktoré obsahujú komplexnú sadu klasických aj najmodernejších algoritmov počítačového videnia a strojového učenia. Tieto algoritmy sa dajú použiť na detekciu a rozpoznávanie tvárí, identifikáciu objektov, klasifikáciu ľudských činov vo videách, sledovanie pohybov kamier, sledovanie pohybujúcich sa objektov a extrakciu 3D modelov objektov. [20]

Knižnica NumPy

NumPy je knižnica, ktorá pridáva podporu pre veľké multidimenzionálne polia a matice spolu s rozsiahlou zbierkou matematických funkcií na vysokej úrovni pre prácu s týmito poliami. [2]

5.2 Moduly

Gabor.py

Obsahuje funkciu `Gabor_2D()`, kde sú implementované vzorce Gáborovho filtra. Presne sa jedná o vzorce 4.11 a 4.12. Vstupnými parametrami sú parametre, ktoré sú potrebné pre vzorce 4.11 a 4.12. Výstupom funkcie je n-tica reálnej a imaginárnej zložky filtra.

Tiež je tu implementovaná funkcia `realimgcounter()`, ktorá aplikuje imaginárnu a reálnu zložku filtra na ROI snímku. Tieto snímky pomocou pravidiel 4.14 a 4.15 prevedie do dvoch binárnych snímok.

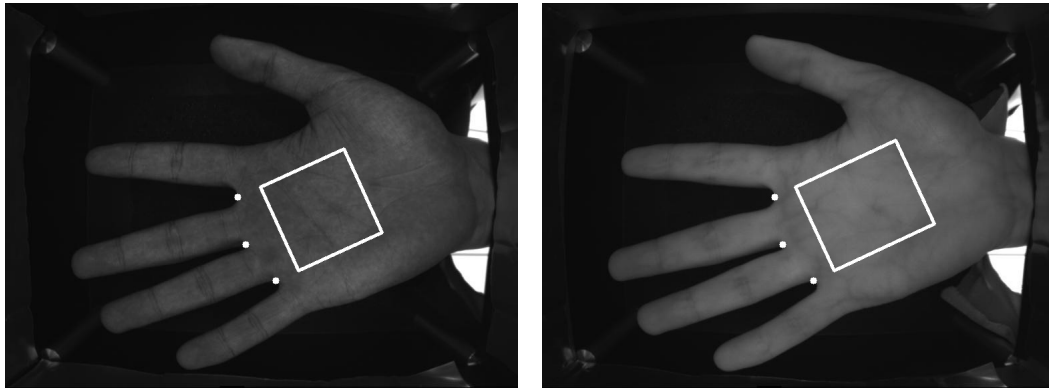
ROI_crop.py

V moduli sú implementované funkcie `get_ROI()`, `crop_rect()` a `rotate_point()`.

Funkcia `rotate_point()` zabezpečuje vypočet súradníc bodov medzi prstami. Jedná sa o prevod bodov z otočenej snímky funkciou `rotate()` z modulu `Orientation.py` na pôvodnú snímku. Cieľom funkcie je obmedziť rozmazanie snímky vplyvom jeho otáčania.

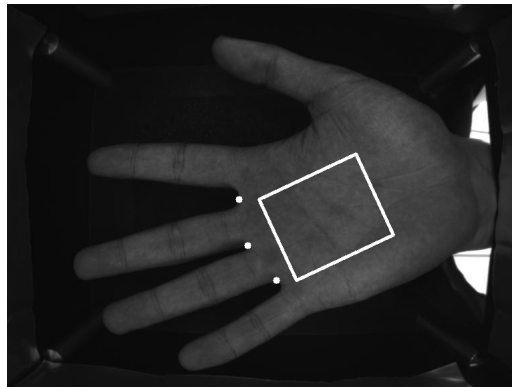
Funkcia `crop_rect()` zabezpečuje vykrojenie ROI snímku zo snímky ruky a otočiť vykrojenú snímku do vodorovnej polohy. Funkcia je mnou modifikovaná, pre otočenie vykrojenej snímky do rovnakej vodorovnej polohy pri rozdielnom natočení ruky na snímke.

Poslednou funkciou v tomto module je funkcia `get_ROI()`. Funkcia vracia súradnice vrcholov štvoruholníka alebo obdĺžnika, ktorý slúži ako forma na vykrojenie ROI snímky zo snímky ruky. Funkcia vracia rôzne veľkosti foriem aj vzhľadom k polohe bodov, medzier medzi prstami alebo vzhľadom k rôznym účelom využitia (viď obrázok 5.1). Ide o využitie pre overenie totožnosti osoby pomocou čiar ruky, žíl ruky alebo rozlíšenie vlnových dĺžok pomocou modulu `Wavelength.py`.



(a) ROI zachytávajúci čiary ruky.

(b) ROI zachytávajúci žily ruky.



(c) ROI pre zistenie vlnovej dĺžky.

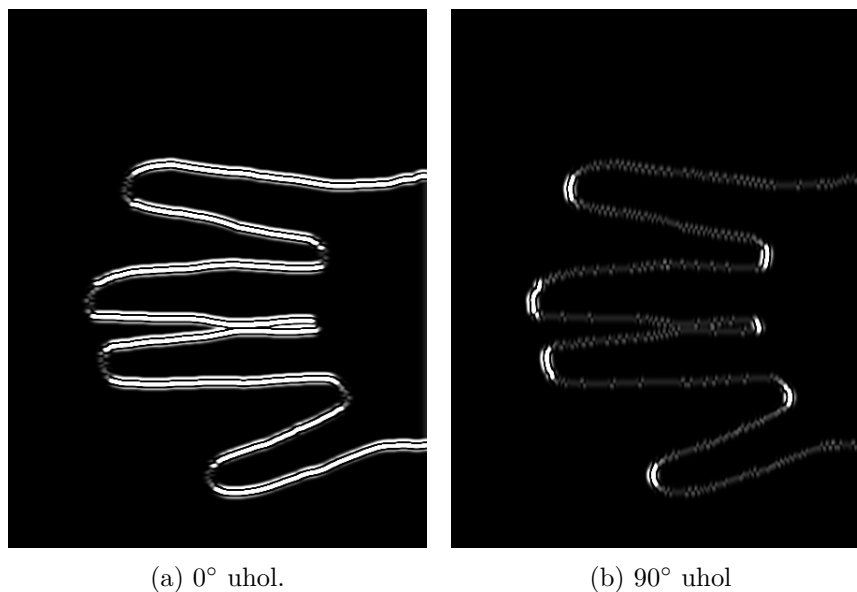
Obr. 5.1: Snímky znázorňujú rôzne formy ROI na základe účelu. (Prevzaté z [28].)

Orientation.py

Modul `Orientation.py` uchováva funkcie pre zistenie orientácie a vrcholu (prsty) ruky. Funkcie sú inšpirované riešením orientácie ruky z publikácie [11], ktorej je autor pán Deng-Yuan Huang a jeho tím. Zistenie orientácie ruky je súčťou spracovania snímky ruky a zabezpečuje zistenia uhla medzi rukou a vodorovnou priamkou. V moduli sú definované 3 funkcie: `rotate()`, `Gabor_on_hand()` a `orientation_hand()`.

Funkcia `rotate()` vykonáva otočenie snímky o uhol v smere hodinových ručičiek. Vstupnými parametrami sú snímka a uhol otočenia a výstupom funkcie je otočená snímka.

Funkcia `Gabor_on_hand()` je funkcia, ktorá aplikuje na snímku 2-D Gáborov filter. Jedná sa o 60 2-D Gáborových filtrov s uhlami 9° , 18° , 27° , 36° , 45° , 54° , 63° , 72° , 81° , 90° , 99° , 108° , 117° , 126° , 135° , 144° , 153° , 162° , 171° a pre každý uhol je hodnota rozptylu Gaussovej funkcie 2, 3 a 4. Použije sa reálna a imaginárna časť filtra. Pre každý uhol sa zistí priemer odozvy rôznych hodnôt. Odozvu chápeme ako priemernú hodnotu pixela snímky po aplikovaní 2-D Gáborovho filtra. Uhol s najvyšším priemerom hodnôt je zvolený ako uhol medzi orientáciou ruky a vodorovnou priamkou. Rozdiel v odozve pri zmene uhla je znázornený na obrázku 5.2.



Obr. 5.2: Snímky znázorňujú rozdielnu odozvu 2-D Gáborovho filtra pri použití rôznych uholov. (Prevzaté z [28].)

Funkcia `orientation_hand()` spracuje a pripraví snímok pre funkciu `Gabor_on_hand()`, zistí, ktorý koniec ruky predstavujú prsty a vracia zistený uhol do funkcie, ktorá ju zavola. Na začiatku sa eliminujú veľmi svetlé pixely zo snímky, ktoré môžu znemožniť získanie masky ruky. K získaniu masky ruky sa používa OTSU prahovacia hodnota znížená na 85 % a následne globálnym prahovaním získaná maska ruky. Kontúry masky ruky sa predajú funkcii `Gabor_on_hand()` a snímka sa otočí o získaný uhol pomocou `rotate()`. Získaním centroidu masky ruky na otočenej snímke, rozdelí snímku na dve časti vertikálnou priamkou prechádzajúcou cez centroid. Na obidve časti ruky sa aplikuje 2-D Gáborov filter s uhlom 0. Časť snímky, kde sa nachádzajú prsty bude mať vyššiu odozvu ako druhý koniec ruky, lebo kontúra prstov ruky obsahuje väčší počet vodorovných čiar. Kontúry z časti snímky s prstami ruky sa predajú funkcii `Gabor_on_hand()`, ktorá doladí otočenie ruky a odstráni odchytku, ktorú mohol spôsobiť opačný koniec ruky. Funkcia vracia uhol, ktorý vyrovná orientáciu ruky do horizontálnej polohy a prsty ruky budú smerovať vľavo.

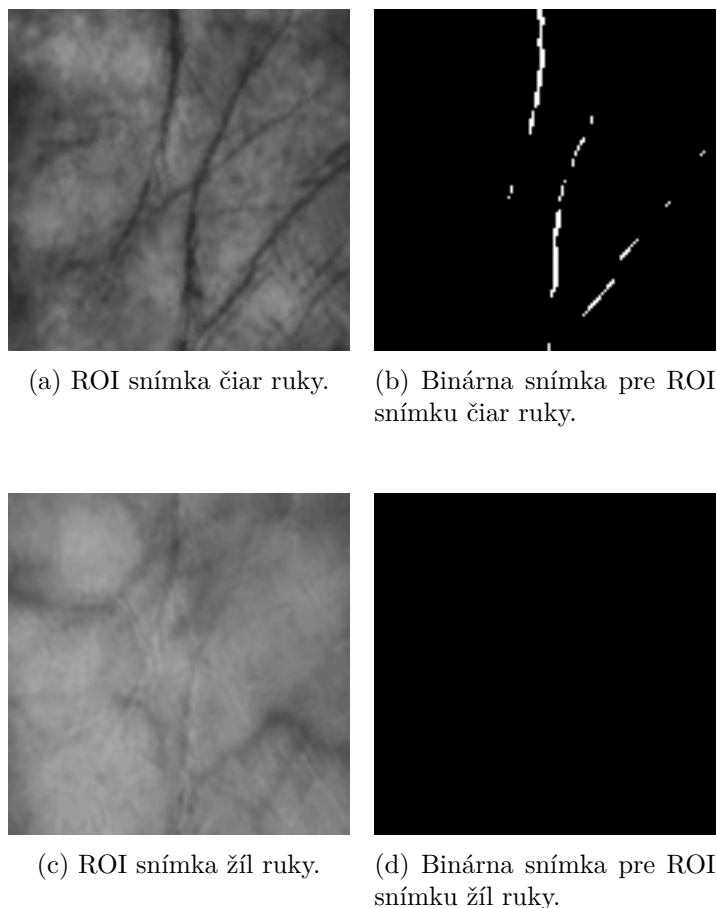
Wavelength.py

V modulu sú implementované funkcie, ktoré slúžia k rozpoznávaniu vlnovej dĺžky snímky medzi 460 nm a 940 nm.

Funkcia `wavelength_preprocessing()` pedspracuje snímok ruky a vykrojí ROI zo snímky. Na začiatku sa eliminujú svetlé pixely snímky a získa sa maska ruky. Na získanie masky ruky sa použije OTSU prahovanie, kde získaná hraničná hodnota je o 10% znížená a následne použitím globálneho prahovania sa získa maska ruky. Zníženie hraničnej hodnoty o 10 % je na základe empirického zistenia. Lokalizovanie bodov medzi prstami je rovnaké ako vo funkcii `preprocessing()` z modulu `Preprocessing.py` (viď odsek 5.2). Tri najľavejšie body medzi prstami sa predajú funkcii z modulu `ROI_crop.py`, ktoré vracajú snímku ROI, kde ju aj táto funkcia vracia do funkcii `wavelength()`.

Funkcia `wavelength()` získanú snímku ROI normalizuje na snímku rozmerov 128x128 a aplikuje na ňu adaptívne vyrovnanie histogramu pre zvýraznenie čiar ruky. Použitím

kruhového 2-D Gáborovho filtra (viď vzorec 4.12) a funkcie `realimgcounter()` sa získa binárna snímka čiar. Kruhový 2-D Gáborov filter sa aplikuje s frekvenciou sínusovej vlny o veľkosti 0,19 a rozptyl Gaussovej funkcie o veľkosti 1,9 s uhlami 0° , 45° , 90° a 135° . Výsledné binárne snímky realnej zložky sa zjednotia a na základe priemernej hodnoty pixelov zjednotenej snímky sa rozhodne o vlnovej dĺžke snímky. Obrázok 5.3 zobrazuje zjednotené binárne snímky pre danú ROI snímku na vstupe.



Obr. 5.3: Výsledné binárne snímky po aplikovaní kruhového 2-D Gáborovho filtra. (Prevzaté z [28].)

Preprocessing.py

V moduli je implementovaná funkcia `preprocessing()`, ktorá zabezpečuje predspracovanie snímky a funkcia `auto_canny()` aplikujúca na snímku Cannyho hranový detektor (viď 4.2) . Využívajú sa tu aj funkcie z modulov `Orientation.py` a `Wavelength.py`, pre lepšie nastavenie parametrov predspracovania snímky.

Funkcia `auto_canny()` zistí priemernú hodnotu pixelu snímky. Na základe priemeru hodnôt sa stanoví horná a spodná hraničná hodnota a tieto hodnoty slúžia ako vstupný parameter funkcie `Canny()` z knižnice `OpenCV`. Výstupom je binárna snímka hrán ruky.

Funkcia `preprocessing()` na začiatku eliminuje svetlé pixely snímky a získa masku ruky. Na získanie masky ruky sa použije OTSU prahovanie, kde získaná hraničná hodnota je o 10 % znížená, pokiaľ ide o snímku s vlnovou dĺžkou 940 nm, a o 20 %, pokiaľ ide o

snímku vlnovej dĺžky 460 nm. Následne použitím globálneho prahovania sa získa maska ruky. Zníženie hraničnej hodnoty OTSU prahovania je na základe empirického zistenia pomocou obrázka 5.4. Maska ruky je zjednotená s binárnou snímkou hrán, ktorá je výstupom funkcie `auto_canny()`. Pomocou morfologických operácií sú vyplnené medzery v zjednotenej snímke, a tým sú okraje novej masky ruky totožnejšie s okrajmi ruky na snímke. Potom je maska ruky otočená do vodorovnej polohy s prstami smerujúce do ľava. Uhol otočenia je získaný pomocou funkcií z modulu `Orientation.py`.

Lokalizácia bodov medzi prstami prebieha nasledovne. Získaním konvexného obalu masky ruky a jeho následným upravením sa zistia súradnice bodov medzi prstami. Vďaka konvexnému obalu sú známe body, ktoré predstavujú vrcholy prstov. Na jeden vrchol prstu prislúcha často viac ako jeden bod z konvexného obalu. Použitím morfologickej operácie sa získa zväčšená maska ruky, ktorú sa použije pri prieniku s obvodom konvexného obalu. Tým sa získajú krivky, ktoré reprezentujú vrcholy jednotlivých prstov. Medzi bodami konvexného obalu, ktoré ležia na rôznych krivkách, sa nachádza možná medzera medzi prstami. Najvzdialenejší bod kontúry medzi dvoma bodmi konvexného obalu, kde uhol medzi úsečkami bodov kontúry a konvexného obalu je menší ako 100° je potenciálnym bodom medzery. Štyri najľavejšie potenciálne body medzier sú skutočnými bodmi medzier a štvrtý predstavuje medzeru medzi palcom a ukazovákom. Štvrtý bod je využitý pre zistenie strany ruky. Porovnáva sa súradnica y (vyjadrujúca vertikálnu polohu bodu na snímke) štvrtého bodu a centroidu masky ruky. Ak je súradnica štvrtého bodu väčšia ako súradnica centroidu, jedná sa o ľavú ruku. Inak ide o pravú ruku. Tri najľavejšie body medzier sa predajú funkciam z modulu `ROI_crop.py`, ktoré vracajú snímku ROI. Výstupom funkcie je, okrem snímky ROI, aj informácia o strane ruky a vlnovej dĺžky snímky.



(a) Maska ruky vlnovej dĺžky 940 nm. získaná OTSU prahovaním.

(b) Maska ruky vlnovej dĺžky 940 nm. získaná znížením hraničnej hodnoty OTSU prahovania.



(c) Maska ruky vlnovej dĺžky 460 nm. získaná OTSU prahovaním.

(d) Maska ruky vlnovej dĺžky 460 nm. získaná znížením hraničnej hodnoty OTSU prahovania.

Obr. 5.4: Porovnanie masiek ruky získané OTSU prahovaním a upravením hraničnej hodnoty OTSU prahovania. (Prevzaté z [28].)

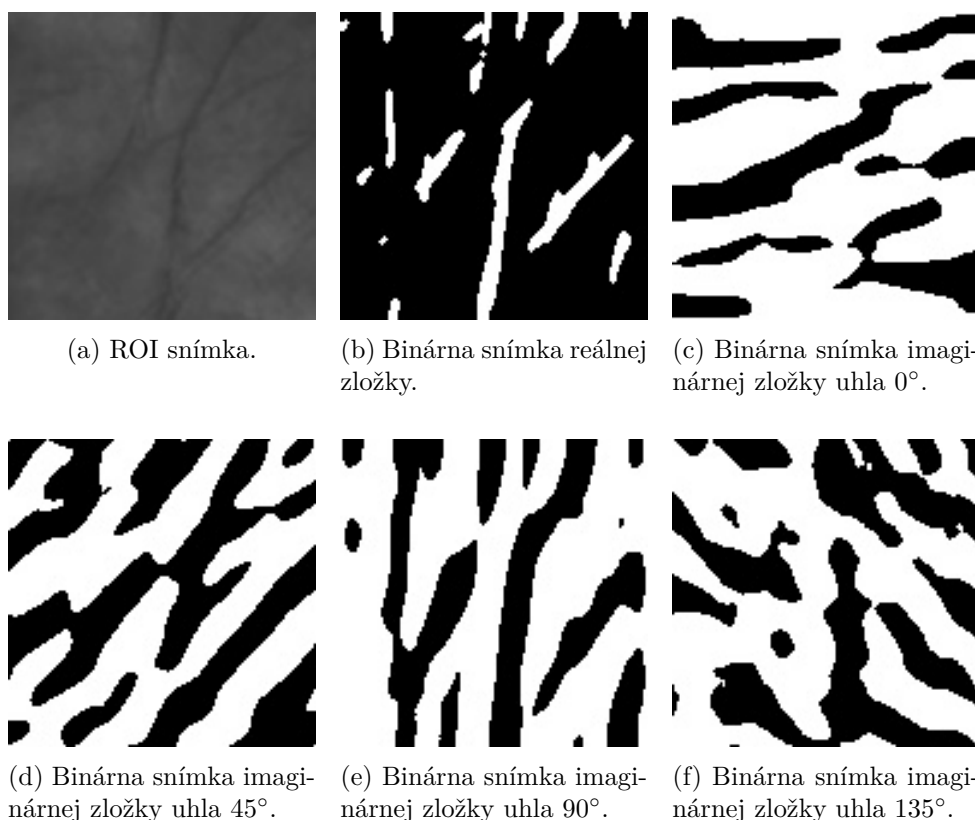
Extraction.py

Modul obsahuje funkcie, ktoré extrahujú príznaky zo vstupnej ROI snímky. Na extrahovanie čiar ruky sa používajú funkcie `Real_line_feature()` a `Line_feature()`. `Vein_feature()` slúži na extrahovanie žíl ruky.

Vstupnými parametrami funkcie `Real_line_feature()` je ROI snímka a strana ruky. Funkcia slúži predovšetkým na extrakciu hlavných čiar ruky a veľmi výrazných vrások. Využíva sa na to kruhový 2-D Gáborov filter implementovaný vo funkcii `Gabor_2D()` a následne sa získa binárna snímka po aplikovaní reálnej zložky na ROI snímku pomocou funkcie `realimgcounter()`. Na ROI snímke sa aplikuje kruhový 2-D Gáborov filter s frekvenciou sínusovej vlny o veľkosti 0,09, rozptyl Gaussovej funkcie o veľkosti 5 s uhlami 45°, 90 ° pre ľavú ruku a s uhlami 90°, 135° pre pravú ruku. Ďalej sa aplikuje na ROI snímke znova kruhový 2-D Gáborov filter, ale s frekvenciou sínusovej vlny o veľkosti 0,05, rozptyl Gaussovej funkcie o veľkosti 7,5 a tiež s uhlami 45°, 90 ° pre ľavú ruku a s uhlami 90°, 135° pre pravú ruku. Použitie rozdielneho uhla je spôsobené rozdielnou orientáciou hlavných čiar medzi ľavou a pravou rukou. Na binárnej snímke, kde sa aplikoval kruhový 2-D Gáborov

filter s nižším rozptylom Gaussovej funkcie vidno hlavné čiary, výrazné vrásky, ale aj menej výrazné čiary, ktoré sa vplyvom svetla zvýraznili, ale na iných ROI snímkach totožnej ruky nie sú také výrazné, aby ich kruhový 2-D Gáborov filter zachytil. Prienikom s binárnou snímkou, kde sa aplikoval kruhový 2-D Gáborov filter s vyšším rozptylom Gaussovej funkcie, ktorý predstavuje oblasti s výraznými čiarami, sa eliminujú čiary zvýraznené svetlom. Tieto prieniky sa vykonajú pre snímky s rovnakým uhlom a následne sa zjednotia do jednej binárnej snímky. Na zjednotenú binárnu snímku sa použije morfológická operácia, ktorá výsledné čiary vyhladí a táto snímka je výstupom funkcie.

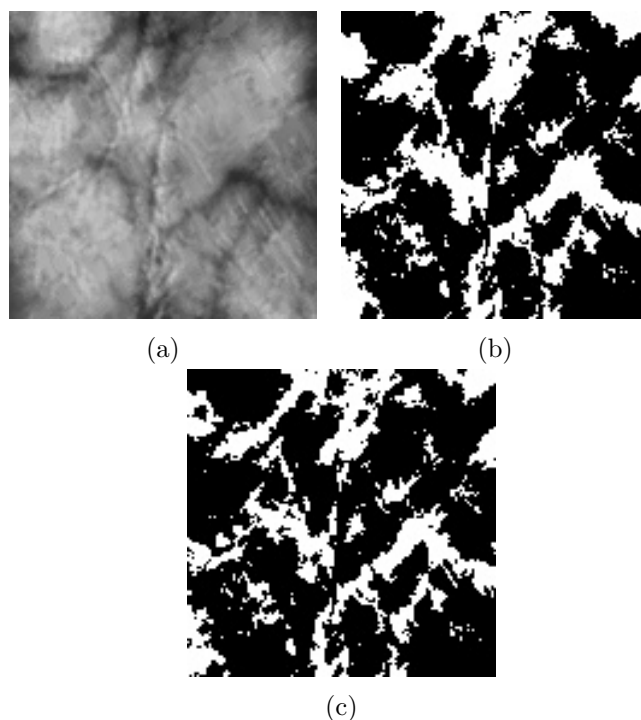
`Real_line_feature()` je volaná z funkcie `Line_feature()`. Táto funkcie aplikuje na vstupnú ROI snímku Gaussove vyhladenie a adaptívne vyrovnanie histogramu, pre zvýraznenie čiar ruky. Upravená ROI snímka sa predá funkcii `Real_line_feature()` pre získanie hlavných čiar pomocou realnej zložky kruhového 2-D Gáborovho filtra a `Line_feature()` ich získa využitím imaginárnej zložky kruhového 2-D Gáborovho filtra s frekvenciou sínusovej vlny o veľikosti 0,04, rozptylom Gaussovej funkcie o veľikosti 10 s uhlami 0° , 45° , 90° , 135° . Výstupom funkcie je výstup `Real_line_feature()` a štyri binárne snímky imaginárnej zložky (viď obrázok 5.5).



Obr. 5.5: Získané binárne snímky z daného ROI. (Prevzaté z [28].)

Metóda extrahovania žíl z ROI snímky je implementovaná vo funkcii `Vein_feature()`. ROI snímka sa najprv normalizuje na rozmery 128×128 a aplikuje sa na ňu adaptívne vyrovnanie histogramu. Upravená ROI snímka sa spracuje pomocou funkcie `LLBP()`, kde je implementovaná metóda LLBP (viď sekcia 4.7) modifikovaná o rozostupy medzi pixelmi, ktoré sa porovnávajú. Výsledná snímka sa pomocou globálneho prahovania zmení na binárnu snímku. Z upravenej ROI snímky sa získavajú dve snímky. Prvá pomocou `LLBP()` s

parametrom zväčšeného rozostupu medzi centrálnym pixelom a porovnávajúcimi pixelmi o hodnote 3 a s hraničnou hodnotou 90 pre prahovanie. Druhá s parametrametrom pre zväčšený posun medzi porovnávajúcimi pixelmi o hodnote 3 pre `LLBP()` a hraničnou hodnotou 70. Hraničné hodnoty boli zvolené na základe empirického poznania. Prvá snímka vykresluje žily presnejšie, ale tiež vykresluje chybné miesta spôsobené šumom. Druhá snímka naopak nevykresluje chybné miesta, ale vykresluje oblasť, kde sa žila nachádza. Preto sa aplikuje na prvú snímku prienik s druhou snímku, aby sa odstránili chybné miesta. Prienik snímok a druhá snímka sú výstupom funkcie.



Obr. 5.6: Snímka 5.6a je ROI snímka. Snímka 5.6b je binárna snímka pri aplikovaní rozostupu medzi porovnávacími pixelmi o hodnote 3. Snímka 5.6c je binárna snímka pri posunutí porovnávacích pixelov od centrálného pixelu o 3 a prienikom snímky 5.6b. (Prevzaté z [28].)

Matching.py

V moduli je implementovaná funkcia `Line_match()`, ktorá porovnáva extrahované príznaky čiar ruky a `Vein_match()` porovnávať extrahované príznaky žíl.

Funkcia `Hamming_distance_line()` vypočítava rozdiel binárnych snímok porovnávaných osôb. Používa na to Hammingovu vzdialenosť (viď vzorec 4.16) a posunutie medzi snímkami, ktoré dostane ako vstupný parameter.

`Line_match()` volá funkciu `Line_shift()` z modulu `Matching_C.pyx`, ktorá vypočíta posun medzi snímkami hlavných čiar ruky. Po vypočítaní posunu sa zavolá funkcia `Hamming_distance_line()` a porovná zvyšné štyri snímky.

Funkcia `All_match()` načíta z databázy snímky žíl a čiar ruky. Tie predá funkciám `Line_match()` a `Vein_match()`. Z výsledkou týchto funkcií sa vypočíta Euklidova vzdialenosť (viď vzorec 4.17). Výstupom sú výstupy jednotlivých funkcií ako aj Euklidovská vzdialenosť.

Funkcia `Knn_classief()` volá pomocou procesov funkciu `All_match()` a ich výstupy ukladá do reťazca, kým sa snímky neporovnajú so všetkými uloženými v databáze. Po porovnaní výsledkou hraničných hodnôt sa užívateľ klasifikuje použitím klasifikácie najbližším susedom pomocou Euklidovskej vzdialenosti (viď sekcia 4.4.3).

Matching_C.pyx

Modul je, narozdiel od ostatných, naprogramovaný v jazyku Cython, ktorý oproti Pythonu3 vykonáva kód efektívnejšie a rýchlejšie. Táto výhoda sa využije pri porovnávaní snímok a hľadani posunu medzi snímkami.

`Line_shift()` vyžaduje ako vstupné parametre reťazce, ktoré obsahujú súradnice bielych bodov na binarnej snímke. Súradnice jedného reťazca sú vložené do množiny a súradnice druhého sú posúvané horizontálne a vertikálne v intervale $\langle -16; 16 \rangle$. Posunuté body sú postupne vkladané do množiny. V rámci počítania spoločných bodov sa využíva vlastnosť množiny, že obsahuje len unikátne prvky. Ak sa po vložení posunutého bodu nezmení počet prvkov v množine, ide o totožný bod. Zaznamenaním počtu spoločných bodov sa vypočíta počet rôznych bodov odpočítaním spoločných bodov od celkového počtu prvkov v množine. Počet rôznych bodov sa predelí veľkosťou porovnáwanej časti medzi snímkami. Posun s najnižším výsledkom je najtotožnejším v rámci posunu. Výstupom je najtotožnejší vertikálny a horizontálny posun v rámci daného intervalu.

Funkcia `Vein_shift_match()` určuje posun medzi snímkami rovnako ako funkcia `Line_shift()`. Vypočítaný posun využije pri porovnávaní ďalších snímok pomocou Hammingovej vzdialenosti. Výstupom je podobnosť snímok.

5.3 Uživatelské prostredie

Pre tvorbu užívateľského prostredia je použitý modul PyQt5. Uživatelské prostredie uľahčuje prácu s programom a ponúka načítavanie snímok a nastavenie predspracujúcich parametrov pre danú snímku ako je uhol ruky a vlnová dĺžka (viď obrázok 5.7). Tiež ponúka registráciu osoby, verifikáciu osoby alebo identifikáciu osoby.

Na obrázku 5.7 červený štvoruholník označuje oblasť, kde sa zobrazuje vykrojená ROI snímka a binárna snímka extrahovaných príznakov. Ak ide o ROI s čiarami ruky zobrazí sa binárna snímka extrahovaných čiar pomocou reálnej zložky a ak o ROI so žilami ruky, tak sa zobrazí binárna snímka prieniku snímok extrahovaných žíl. V tejto oblasti sa nachádza aj tlačítko, ktoré umožní vybrať snímku, z ktorej chceme extrahovať príznaky.

V oblasti zeleného štvoruholníka sa nachádza panel na nastavenie parametrov potrebných pri predspracovaní snímky. Pri manuálnom nastavení uhla ruky sa nastavuje uhol, ktorý je medzi horizontálnou polpriamkou, začínajúcou v strede snímky a pokračujúcou vľavo, a úsečkou, začínajúcou v strede ruky a končiacou na vrchole prsta. Užívateľ môže nastaviť, aby si tieto parametre dopočítal program za cenu dlhšieho predspracovania snímky.

V oblasti modrého štvoruholníku sú umiestnené tlačítka, ktoré spúšťajú registráciu osoby, verifikáciu osoby alebo identifikáciu osoby. Pod tlačítkom registrácia a verifikácia sa nachádza riadok na zadanie identifikačného čísla, pod ktorým sa má osoba zaregistrovať do databázy alebo s ktorou osobou sa má verifikovať. Nachádza sa tu aj displej, ktorý vypisuje aktuálny stav registrácie, verifikácie, identifikácie alebo ich výsledky.



Obr. 5.7: Dizajn užívateľského prostredia.

Kapitola 6

Experimentovanie a vyhodnotenie

V tejto časti sa predstavujú výsledky jednotlivých metód porovnávania ako aj ich kombinácia. Tiež sa predstavujú výsledky metódy predspracovania, ako aj metód na automatické zistenie potrebných parametrov. Tiež sa dané metódy zhodnotia a poukáže sa na ich výhody či nevýhody.

6.1 Metódy predspracovania snímky

Metódy pre zistenie strany ruky, zistenia vlnovej dĺžky snímky a aj vyrezania ROI zo snímky sa radia medzi metódy predspracovania snímky.

Tabuľka 6.1 vyjadruje úspešnosť metódy na rozpoznávanie vlnovej dĺžky zo snímky. Zaznamenáva pomer v percentách pre úspešné, neúspešné rozpoznanie, ako aj pomer, kedy algoritmus nedokázal rozlíšiť o akú vlnovú dĺžku sa jedná z celkového počtu rozpoznávaných snímok. Percentuálne pomery sú vyjadrené pre každú vlnovú dĺžku zvlášť. Medzi úspešným rozpoznaním vlnovej dĺžky 460 nm a 940 nm je veľký nepomer. Je to spôsobené nastavením hraničných hodnôt, ako aj citlivosťou 2-D Gáborovho filtra. Pri niektorých snímkach o vlnovej dĺžke 460 nm sú čiary málo výrazné a 2-D Gáborov filter ich nedokáže zachytiť. Pri zvýšení citlivosti sa zvýši úspešnosť rozpoznávania vlnovej dĺžky 460 nm na úkor rozpoznania vlnovej dĺžky 940 nm.

Vlnová dĺžka	Úspech	Nemôže rozlíšiť	Neúspech
460nm	91,5%	6,75%	1,75%
940nm	99,17%	0,75%	0,08%

Obr. 6.1: Tabuľka úspešnosti rozpoznávania vlnovej dĺžky

Úspešnosť metódy na rozpoznávanie strany zo snímky vyjadruje tabuľka 6.2. Zaznamenáva pomer v percentách pre úspešného a neúspešného rozpoznanie strany ruky. Rozpoznanie strany ruky sa podarilo z každej snímky úspešne. Podarilo sa to aj pri snímkach, pri ktorých sa nepodarilo úspešne vyrezať ROI zo snímky.

Strana ruky	Úspech	Neúspech
Ľavá	100%	0%
Pravá	100%	0%

Obr. 6.2: Tabuľka úspešnosti rozpoznávania strany ruky.

Lokalizácia ROI snímky z ruky sa podarilo takmer z každej strany ruky a vlnovej dĺžky (viď tabuľka 6.3). Pri neúspešných lokalizáciách je príčinou neúspechu neidentifikovanie vrcholu prsta alebo nesprávne umiestnenie bodu medzi prstami.

Strana ruky	940nm	460nm
Ľavá	100%	99,83%
Pravá	99,7%	99,7%

Obr. 6.3: Tabuľka úspešnosti lokalizovania ROI podľa strany ruky a vlnovej dĺžky.

6.2 Metódy verifikácie a identifikácie osoby

Medzi metódy identifikácie osoby použité v tejto práci patrí metóda identifikácie pomocou čiar ruky a metóda identifikácie pomocou žíl ruky. Výsledky metód sa vyhodnotia pri ich samotnom použití ako aj pri použití kombinácie týchto metód.

Vyhodnotenie samotných metód

Podobnosť snímok extrahovaných čiar je pri totožných osobách nižšia ako sa očakávalo a pri rozdielnych osobách je vyššia. Napriek tomu metóda dokáže verifikovať osobu, nie však s vysokou dôveryhodnosťou. Tabuľky 6.4 a 6.5 zaznamenávajú maximálnu a minimálnu podobnosť snímok ako aj priemer a medián nameraných hodnôt podobnosti pri snímkach extrahovaných čiar totožných aj rozdielnych osôb. Priemer mediánov hodnôt z tabuľky podobnosti čiar totožných osôb (viď tabuľka 6.4) je hodnota 72%. Priemer mediánov hodnôt z tabuľky podobnosti čiar rozdielnych osôb (viď tabuľka 6.5) je hodnota 56,5%. Podľa ďalšieho priemeru medzi 72% a 56,5% sa stanoví hraničná hodnota pre verifikovanie osôb pomocou čiar a tou hodnotou je 64%.

Strana ruky	Max	Min	Priemer	Medián
Ľavá	86%	53%	72,138%	73%
Pravá	86%	51%	70,456%	71%

Obr. 6.4: Tabuľka podobnosti snímok čiar totožných osôb.

Strana ruky	Max	Min	Priemer	Medián
Ľavá	71%	46%	57,36%	57%
Pravá	68%	46%	56,35%	56%

Obr. 6.5: Tabuľka podobnosti snímok čiar rozdielnych osôb.

Využitím hraničnej hodnoty 64% (64% a vyššia hodnota podobnosti sa verifikuje ako totožná osoba, 63% a nižšia hodnota podobnosti sa verifikuje ako rozdielna osoba) je úspešnosť verifikácie pomocou čiar ruky zaznamenaná v tabuľke 6.6.

Strana ruky	Totožné osoby	Rozdielne osoby
Ľavá	87,2%	97,4%
Pravá	83,8%	99,3%

Obr. 6.6: Tabuľka úspešnosti verifikácie totožných a rozdielnych osôb pomocou čiar ruky pri hraničnej hodnote 64%.

Podobnosť snímok extrahovaných žíl ruky pri totožnej osobe je tiež nižšia ako sa očakávalo, rovnako tak pri rozdielnych je vyššia. Podľa priemeru priemerov mediánov z tabuliek 6.7 a 6.8 je stanovená hraničná hodnota na 71%. Tabuľky zaznamenávajú maximálnu a minimálnu podobnosť snímok, ako aj priemer a medián nameraných hodnôt podobnosti.

Strana ruky	Max	Min	Priemer	Medián
Ľavá	88%	64%	77,424%	77%
Pravá	88%	64%	78,062%	78%

Obr. 6.7: Tabuľka podobnosti snímok žíl totožných osôb.

Strana ruky	Max	Min	Priemer	Medián
Lavá	76%	59%	65,17%	65%
Pravá	75%	60%	65,72%	66%

Obr. 6.8: Tabuľka podobnosti snímok žíl rozdielnych osôb.

V tabuľke 6.9 je zaznamenaná úspešnosť verifikácie pomocou žíl ruky pri hraničnej hodnote 71% (71% a vyššia hodnota podobnosti sa verifikuje ako totožná osoba, 70% a nižšia hodnota podobnosti sa verifikuje ako rozdielna osoba).

Strana ruky	Totožné osoby	Rozdielne osoby
Lavá	92,8%	99,5%
Pravá	94,2%	98,8%

Obr. 6.9: Tabuľka úspešnosti verifikácie totožných a rozdielnych osôb pomocou žíl ruky pri hraničnej hodnote 71%.

Vyhodnotenie kombinácií metód

Použitím kombinácie metód dochádza k zlepšeniu výsledkou než pri použití metód samotných. Pri využití kombinácie, kde musí aspoň jedna metóda verifikovať snímku ako totožnú dochádza k vyššej úspešnosti verifikácií totožných osôb, ale tiež dochádza k zníženiu úspešnosti verifikácií rozdielnych osôb (viď tabuľka 6.10). Pri použití kombinácie, ktorá verifikuje snímku ako totožnú, ak ju tak verifikujú obidve metódy má nízku úspešnosť verifikácií totožných osôb. Na druhú stranu úspešnosť verifikácií rozdielnych osôb je vysoká (viď tabuľka 6.11).

Strana ruky	Totožné osoby	Rozdielne osoby
Lavá	97%	97,05%
Pravá	96,6%	98,13%

Obr. 6.10: Tabuľka úspešnosti verifikácie osôb pomocou kombinácie metód, kde musí aspoň jedna metóda verifikovať osobu ako totožnú.

Strana ruky	Totožné osoby	Rozdielne osoby
Lavá	83%	99,98%
Pravá	81,4%	99,98%

Obr. 6.11: Tabuľka úspešnosti verifikácie osôb pomocou kombinácie metód, kde musia obidve metódy verifikovať osobu ako totožnú.

Pre identifikáciu osoby je lepšia kombinácia, kde aspoň jedna osoba je verifikovaná ako totožná. Je to z dôvodu lepšej miery vyrovnanosti chýb (viď obrázok 2.5). Kombinácia metód pre identifikáciu má priemernú úspešnosť 95,8% (viď tabuľka 6.12).

Strana ruky	Lavá	Pravá
Úspešnosť	96%	95,6%

Obr. 6.12: Tabuľka úspešnosti verifikácie osôb pomocou kombinácie metód, kde musia obidve metódy verifikovať osobu ako totožnú.

Kapitola 7

Záver

Identifikácia osôb pomocou dlane je jedným z identifikačných metód, ktoré môžu nahradiť identifikovanie pomocou občianskeho preukazu alebo inou identifikačnou kartou. Cieľom tejto práce bolo navrhnutie a implementovanie algoritmu identifikácia osôb pomocou dlane vystavení rôznym vlnovým dĺžkam elektromagnetického žiarenia.

Bolo potrebné naštudovať si správanie ľudskej kože pri vystavení rôznym vlnovým dĺžkam elektromagnetického žiarenia. Z naštudovaných informáci sa zistili vlnové dĺžky žiarenia, ktoré vizuálne zvýraznia špecifické vlastnosti ruky. Zvýraznené vlastnosti boli dostatočne vhodné ako základ na identifikáciu a verifikáciu osoby.

Naštudované informácie sa sa využili pri navrhovaní algoritmu, ktorý dokáže identifikovať osobu pomocou dlane ruky, ktorá je vystavená konkrétnym vlnovým dĺžkam a to vlnovej dĺžke 460 nm a 940 nm.

Ako špecifické vlastnosti dlane vhodné pre identifikáciu boli vybraté čiary dlane a žily dlane. Čiary dlane sú vizuálne najviac výrazné pri vystavení ruky vlnovej dĺžke 460 nm a žily dlane pri vystavení vlnovej dĺžke 940 nm. Snímky rúk vystavené potrebným vlnovým dĺžkam obsahuje dataset CASIA. Dataset CASIA obsahuje 7200 snímok, kde nad týmito snímkami prebehlo testovanie navrhnutého algoritmu.

K extrahovaniu žíl so snímky dlane bol použitý modifikovaný algoritmus LLBP a k extrahovaniu čiar dlane bol využitý 2-D Gáborov filter so 4 rôznymi uhlami orientácie. Pre porovnanie bola použitá Hammingova vzdialenosť, Euklidova vzdialenosť a klasifikovanie najbližším susedom.

Po stanovení hraničných hodnôt pre jednotlivé metódy a následnom skombinovaní metód dokázal algoritmus identifikovať osobu s priemernou úspešnosťou 95,8%, aj napriek nízkemu rozdielu hodnôt podobnosti snímok medzi totožnými a rozdielnymi osobami.

V práci boli splnené všetky zadané body. Možné rozšírenie tejto práce môže byť zvýšenie rozdielu hodnôt podobnosti snímok medzi totožnými a rozdielnymi osobami, rozšírenie algoritmu o metódu identifikácie pomocou ďalšej špecifickej vlastnosti, ktorá by zvýšila priemernú úspešnosť identifikácie tohto algoritmu, či rozšírenie algoritmu o rozpoznávanie kožných chorôb na ROI snímke a informovať identifikačný algoritmus, či je daná ROI snímka vhodná k extrakcii vlastností.

Literatúra

- [1] BEHNEL, S., BRADSHAW, R., SELJEBOTN, D. S., EWING, G., STEIN, W. et al. *Cython - an overview* [online]. 2021 [cit. 2021-05-09]. Dostupné z: <https://cython.readthedocs.io/en/latest/src/quickstart/overview.html>.
- [2] DATAFLAIR. *NumPy Features – Why we should use Numpy?* [online]. 2021 [cit. 2021-05-09]. Dostupné z: <https://data-flair.training/blogs/numpy-features/>.
- [3] DR. MAX LEKÁREŇ. *3. Aké sú základné vrstvy kože? 20.05.2019* [online], 20. mája 2019 [cit. 2021-01-09]. Dostupné z: <https://www.drmax.sk/ochrana-pred-slnkom-791/ake-su-vrstvy-koze>.
- [4] DRAHANSKÝ, M. *Biometrické systémy Studijní opora* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta Informačních technologií, január 2006 [cit. 2020-11-19]. Dostupné z: https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/BIO/private/BIO_Studijni_opora.pdf.
- [5] DRAHANSKÝ, M., ORSÁG, F., DOLEŽEL, M. a AL. et. *Biometrie*. 1. vydání. Computer Press, s.r.o, 2011. 294 s. ISBN 978-80-254-8979-6. Dostupné z: <https://www.fit.vut.cz/research/publication/9468>.
- [6] ERIC D. GREEN. *DNA Fingerprinting* [online]. National Human Genome Research Institute [cit. 2021-01-29]. Dostupné z: <https://www.genome.gov/genetics-glossary/DNA-Fingerprinting>.
- [7] FISHER, R., PERKINS, S., WALKER, A. a WOLFART, E. *Adaptive Thresholding* [online]. HYPERMEDIA IMAGE PROCESSING REFERENCE, 2003 [cit. 2021-05-09]. Dostupné z: <https://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/adpthrsh.htm>.
- [8] FISHER, R., PERKINS, S., WALKER, A. a WOLFART, E. *Canny Edge Detector* [online]. HYPERMEDIA IMAGE PROCESSING REFERENCE, 2003 [cit. 2021-05-09]. Dostupné z: <https://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/canny.htm>.
- [9] GARCÍA OLALLA, O., ALEGRE, E., FERNÁNDEZ ROBLES, L., GARCÍA ORDÁS, M. a GARCÍA ORDÁS, D. Adaptive local binary pattern with oriented standard deviation (ALBPS) for texture Classification. *EURASIP Journal on Image and Video Processing*. December 2013, zv. 2013. DOI: 10.1186/1687-5281-2013-31.
- [10] GREENSTED, A. *Otsu Thresholding* [online]. The Lab Book Pages, 2010 [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <http://www.labbookpages.co.uk/software/imgProc/otsuThreshold.html>.

- [11] HUANG, D.-Y., HU, W.-C. a CHANG, S.-H. Gabor filter-based hand-pose angle estimation for hand gesture recognition under varying illumination. *Expert Syst. Appl.* Máj 2011, zv. 38, s. 6031–6042. DOI: 10.1016/j.eswa.2010.11.016.
- [12] INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION. *INFRARED RADIATION* [online]. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, 2021 [cit. 2021-01-09]. Dostupné z: <https://www.icnirp.org/en/frequencies/infrared/index.html>.
- [13] KRISTALYOVÁ, K. Ekzém - prejavy, príčiny, liečba praktické tipy pre atopikov. *Zdravovek.sk* [online]. ERIT s.r.o. Sep 2020. Dostupné z: <https://zdravovek.eu/ekzem/>.
- [14] LAJCIKOVA, A. a PEKAREK, L. Ultraviolet Radiation and its Health Impact. *Hygiena*. 2009, zv. 54, č. 2, s. 57–61. ISSN 18026281. Dostupné z: <https://hygiena.szu.cz/artkey/hyg-200902-0007.php>.
- [15] LIMITED, T. P. I. *Python 3 Tutorial* [online]. Tutorials Point India Limited, 2021 [cit. 2021-05-09]. Dostupné z: <https://www.tutorialspoint.com/python3/index.htm>.
- [16] MALTONI, D. *Handbook Of Fingerprint Recognition*. 2006. ISBN 978-03-872-1587-7.
- [17] NÁRODNÁ RADA SLOVENSKEJ REPUBLIKY. *Zákon o radiačnej ochrane a o zmene a doplnení niektorých zákonov, 87/2018Z.z. §2, ods.(1), písm. m)*. 2018. Dostupné z: <https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/2018/87/20200406>.
- [18] NAŠEZDRAVIE, R. Psoriáza vo vlasoch i na tvári. Príznaky a liečba psoriázy u dospelých i detí. *Nasezdravie.sk* [online]. unidev s.r.o. Mar 2018. Dostupné z: <https://www.nasezdravie.sk/magazin/psoriaza>.
- [19] NICHAL, A., JADHAV, S., SHIKALGAR, K. a MAHARNUR, P. Palm Print Feature Extraction and Authentication Using 2-D Gabor Filter. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering* [online]. 2016, zv. 5, č. 4. DOI: 10.17148/IJARCCE.2016.5403. ISSN 2278-1024.
- [20] OPENCV TEAM. *OpenCV About* [online]. 2021 [cit. 2021-05-09]. Dostupné z: <https://opencv.org/about/>.
- [21] PROGRAMMERSOUGHT. *Gabor filter detailed* [online]. ProgrammerSought, 2018 [cit. 2021-05-09]. Dostupné z: <https://www.programmersought.com/article/69774738794/>.
- [22] SARI, J. Y., FATICHAH, C. a SUCIATI, N. LOCAL LINE BINARY PATTERN FOR FEATURE EXTRACTION ON PALM VEIN RECOGNITION. *Journal of Computer Science and Information*. Jún 2015, zv. 8, s. 116–123. DOI: 10.21609/jiki.v8i2.309.
- [23] SAYAD, S. *K Nearest Neighbors - Classification* [online]. 2011 [cit. 2021-01-14]. Dostupné z: https://www.saedsayad.com/k_nearest_neighbors.htm.
- [24] STEVE, P. *Ludské telo: Ilustrovaný sprievodca štruktúrou, funkciami a poruchami [The Human Body]*. Ikar, a. s. ISBN 978-80-551-1731-7.
- [25] TARÁBEK, P. *Zmaturuj! z fyziky*. 3. vyd. Bratislava: Didaktis, 2015. ISBN 978-80-8166-011-5.

- [26] VITALWELL GROUP s.r.o.. *AKO VYBRATĚ ŽIARIČ* [online]. 2021 [cit. 2021-01-09]. Dostupné z: <https://www.infrasauna-shop.sk/ako-vybrat-ziaric/>.
- [27] WIKIPEDIA. *Elektromagnetické žiarenie* [online], 2. decembra 2005. Posledná modifikácia: 24.07.2018, Jedná sa len o zdroj obrázkov [cit. 2021-01-09]. Dostupné z: https://sk.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%A9_%C5%BEiarenie.
- [28] YING HAO, ZHENAN SUN, TIENIU TAN a CHAO REN. Multispectral palm image fusion for accurate contact-free palmprint recognition. In: *2008 15th IEEE International Conference on Image Processing*. 2008, s. 281–284. DOI: 10.1109/ICIP.2008.4711746.
- [29] ZHANG, D. D. *Palmprint Authentication*. Boston, MA: Springer US, 2004. International Series on Biometrics ;. ISBN 978-14-020-8097-5.