



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ

DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

DETEKCE ŽIVOSTI LIDSKÉ RUKY Z MULTISPEKTRÁLNÍCH SNÍMKŮ

THESIS TITLE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ADAM KLUČIAR

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MARTIN SAKIN

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce



Student: **Klůčiar Adam**
Program: Informační technologie
Název: **Detekce živosti lidské ruky z multispektrálních snímků**
Liveness Detection of Human Hand from Multispectral Images
Kategorie: Umělá inteligence

Zadání:

1. Prostudujte technologii multispektrální detekce živosti pro otisky prstů a celé ruky.
2. Analyzujte snímky z dodaných databází, popř. dohledejte další volně dostupné databáze.
3. Navrhněte algoritmus, který z multispektrálních snímků rozhodne, zda-li se jedná o živou či neživou ruku (falzifikát).
4. Navržený algoritmus implementujte.
5. Vyhodnoťte úspěšnost klasifikace živosti.
6. Proveďte experimentální ověření softwarového řešení a dosažené výsledky shrňte.
Diskutujte možná rozšíření.

Literatura:

- Liveness Detection in Biometrics: <https://www.intechopen.com/books/advanced-biometric-technologies/liveness-detection-in-biometrics>
- Ying Hao, Zhenan Sun, Tieniu Tan and Chao Ren, "Multispectral palm image fusion for accurate contact-free palmprint recognition," *2008 15th IEEE International Conference on Image Processing*, San Diego, CA, 2008, pp. 281-284, doi: 10.1109/ICIP.2008.4711746.

Pro udělení zápočtu za první semestr je požadováno:

- Splnění bodů 1 a 2.

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 2021
Datum odevzdání: 11. května 2022
Datum schválení: 3. listopadu 2021

Abstrakt

Práca je zameraná na detekciu živosti z multi-spektrálnych snímok dlane. V teoretickej časti je zhrnutá nutnosť zahrnutia tejto detekcie v biometrických systémoch a sú rozobrané viaceré metódy detekcie živosti, hardvérové aj softvérové. Následne sú zhrnuté jednotlivé časti ľudskej kože a vysvetlené svetelné spektrum, jeho rozdelenie a význam jednotlivých častí pre detekciu živosti ako aj ich vplyv na jednotlivé časti kože. Výsledkom práce je návrh a implementácia algoritmu schopného detegovať anorganické napodobeniny rúk podľa ich rozdielnych vlastností získaných zo sady snímok získaných pri svetle troch rôznych vlnových dĺžok.

Abstract

This thesis is aimed at liveness detection from multispectral palm images. The theoretical part includes the importance of liveness detection in biometry systems and it discusses several methods of liveness detection, hardware and software-based. Subsequently, there is a summary of individual parts of the human skin and an explanation of the light spectrum, its division and the importance of individual parts for liveness detection and their effect on individual parts of the skin. The outcome of this thesis is the design and implementation of an algorithm capable of detecting anorganic hand imitations by their properties acquired from a set of images taken under the light of three different wavelengths.

Kľúčové slová

zabezpečenie, detekcia živosti, multispektrálny snímok, snímok dlane, snímok prsta, spracovanie obrazu, koža, žiarenie, svetelné spektrum, biometria

Keywords

security, liveness detection, multi-spectral photograph, palm image, finger image, image processing, skin, radiation, light spectrum, biometry

Citácia

KLUČIAR, Adam. *Detekce živosti lidské ruky z multispektrálních snímků*. Brno, 2021. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Ing. Martin Sakin

Detekce živosti lidské ruky z multispektrálních snímků

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.

.....

Adam Klučiar
10. mája 2022

Podakovanie

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

Obsah

1	Úvod	2
2	Biometria a detekcia živosti	3
2.1	Základy biometrie	3
2.2	Základy detekcie živosti a jej význam v zabezpečení	5
2.3	Koža	5
2.4	Existujúce riešenia	7
2.4.1	Elektrické vlastnosti kože	7
2.4.2	Meranie teploty	8
2.4.3	Meranie pulzu	8
2.4.4	Zistenie saturácia krvi kyslíkom	8
2.4.5	Detekcia potu	9
2.4.6	Detekcia skreslenia kože	9
3	Analýza multi-spektrálnych snímok	10
3.1	Základy svetelného spektra a jeho vplyv na kožu	10
3.1.1	Ultrafialové svetlo	10
3.1.2	Viditeľné svetlo	11
3.1.3	Infračervené svetlo	11
3.1.4	Vplyv svetla rôznej vlnovej dĺžky na kožu	11
3.2	Využitie v detekcií živosti	12
4	Návrh	15
4.1	Prvotná úprava snímok	15
4.2	Segmentácia ruky zo snímku	17
4.3	Extrakcia dôležitých črt	19
5	Implementácia	21
5.1	Prvotné úpravy	21
5.2	Segmentácia ruky	22
5.3	Extrakcia dôležitých črt	25
5.4	Rozhodnutie z výsledku porovnania	29
5.5	Zhodnotenie algoritmu	32
5.6	Použité knižnice	33
6	Záver	34
	Literatúra	35

Kapitola 1

Úvod

Bezpečnosť je téma, na ktorú sa čím ďalej kladie väčší dôraz, pretože s technologickým pokrokom prichádzajú aj nové spôsoby ako obísť rôzne spôsoby zabezpečenia, či už ide o mobilné telefóny, počítače, miestnosti alebo aj celé objekty.

V dnešnej dobe bežnému užívateľovi nestačia iba heslá alebo jednorázové kódy a pre náročného užívateľa ako sú napr. súkromné firmy, banky alebo aj štát to už vôbec nepovažuje za dostatočnú bezpečnosť. Do popredia sa dostáva biometria.

Biometria je veda založená na identifikovaní jednotlivca podľa jeho fyzických, chemických a behaviorálnych vlastností [13]. Tieto vlastnosti sú napríklad odtlačky prstov alebo dlane, geometria tváre, snímky dúhovky alebo sietnice. Význam biometrie je udržaný potrebou presnej a jednoznačnej identifikácie všetkých osôb.

Biometrické zabezpečenie nie je však dokonalé, pretože tieto vlastnosti nosí človek stále zo sebou a tým pádom ich aj zanecháva skoro na všetkom čoho sa dotkne, ako je to v prípade odtlačkov prstov. K vytvoreniu falzifikátu odtlačku útočníkovi stačí len predmet, na ktorom bol odtlačok zanechaný a materiál, na ktorý sa dá preniesť ako napr. plastelína alebo v dnešnej dobe iba fotografia odtlačku a dostatočne presná 3D tlačiareň. Z toho dôvodu vznikla nutnosť zaviesť detekciu živosti.

Detekcia živosti je schopnosť počítača určiť či pracuje s fyzicky prítomným človekom alebo iba s napodobeninou niektorých jeho biometrických vlastností [22]. Každý biometrický systém potrebuje mať implementovanú detekciu živosti inak neplní svoju funkciu, biometria nie je založená na tajnosti, ale proces validácie má obsahovať detekciu živosti. Detekcia živosti môže kontrolovať rôzne vlastnosti ako napr. srdcový pulz, teplotu, reakciu na teplé a studené podnety, pach a v prípade oka aj reakciu na svetlo.

Kapitola 2

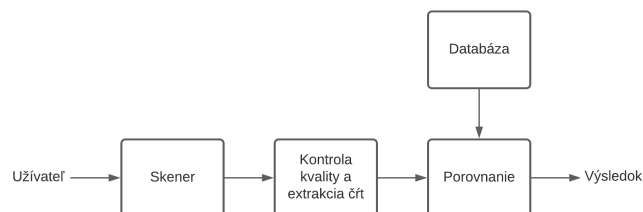
Biometria a detekcia živosti

Detekcia živosti je dôležitou súčasťou biometrie, ktorá sa zaoberá automatizovanou identifikáciou užívateľov podľa ich jedinečných vlastností, ktoré sa skladajú z fyzických, chemických vlastností, ale aj z vlastností chovania. Podmienkou identifikácie je jedinečnosť týchto vlastností napr. tvar nosu alebo povrch kože. Niektoré vlastnosti môžu byť rovnaké napr. jednovaječné dvojčatá majú rovnakú DNA, ale iné biometrické vlastnosti majú odlišné.

Biometria oproti bežným spôsobom zabezpečenia ako je napr. heslo má viacero výhod. Hlavnou výhodou je, že človek sám je kľúč, biometrické vlastnosti sa nedajú preniesť na inú osobu a ani sa nedajú stratiť či zabudnúť. Taktiež biometrické vlastnosti sa nedajú uhádnuť algoritmom ako to je u hesiel. Biometria má aj svoje nevýhody a to, že tým, že tento *klúč* nosí človek stále so sebou tak ho aj zanecháva všade kde bol ako je to v prípade odtlačkov, a keď sa už raz prezradí takýmto spôsobom tak sa to nedá zvrátiť ani nijak zmeniť prezradenú biometrickú vlastnosť. Táto nevýhoda obmedzuje napr. celebrity, ktoré by nemali využívať biometriu tváre alebo odtlačkov, pretože existuje veľké množstvo fotografií vo vysokej kvalite, z ktorých je možné vytvoriť falzifikáty.

2.1 Základy biometrie

Biometrický systém je vlastne systém rozpoznávania vzorov, ktorý získa biometrické dáta od jednotlivca, skontroluje či majú dostatočnú kvalitu na použitie, extrahuje skupinu výrazných črt zo získaných dát a porovná ich so skupinou alebo skupinami, ktoré sú uložené v databáze. Z toho sa dá vytvoriť všeobecný model biometrického systému, ktorý je rozdelený na skener, modul kontroly kvality a extrakcie črt, modul porovnania a databázu. Schéma tohto modelu je zobrazená v obr. 2.1 [13].



Obr. 2.1: Schéma všeobecného biometrického systému [3]

Funkcia každého modulu je popísaná nižšie [13].

- **Skener:** Biometrický skener slúži na zaznamenanie biometrických údajov užívateľa a preto musí byť prispôbený druhu vlastností, ktoré sa budú odoberať od užívateľa. Pre odtlačky to bude nejaký optický skener, pre hlas to bude mikrofón, atď. Ďalšou dôležitou vlastnosťou skenera je jeho kvalita. Zariadenie musí byť schopné vytvoriť digitalizované biometrické vlastnosti dostatočnej kvality aby boli použiteľné pre identifikáciu užívateľa.
- **Kontrola kvality a extrakcia črt:** Pred extrakciou črt sa musí vykonať kontrola kvality, ktorá skontroluje či získaná vzorka má dostatočnú kvalitu na ďalšiu prácu a následne aj na porovnanie z databázou. V rámci extrakcie črt sa najskôr vykoná zlepšenie kvality dát aby bolo porovnanie presnejšie v prípade rôznych chýb, ktoré mohli nastať počas zaznamenania biometrických údajov. Nakoniec sa prevedie extrakcia výrazných črt, to môže byť napr. pozícia a orientácia dôležitých bodov odtlačku prstu. Tieto extrahované črty sa bežne označujú ako **šablóny**.
- **Databáza:** Databáza je súbor dvojíc, ktoré sa skladajú z ID užívateľa, prípadne môže obsahovať aj viacej informácií o ňom ako napr. meno, priezvisko, adresa, atď., biometrických šablón, ktoré patria užívateľovi a ich platnosti. Vkladanie nových biometrických údajov môže vyžadovať prítomnosť druhej osoby, ktorá kontroluje či zadaná identita a biometrické údaje patria rovnakej osobe, toto slúži na zvýšenie bezpečnosti.
- **Porovnanie:** V tomto procese sa porovnávajú extrahované črty so šablónami uloženými v databáze. Toto porovnanie nehľadá úplnú zhodu, pretože rozdiel od hesiel biometrické údaje nie sú skoro nikdy rovnaké. Toto je spôsobené rôznymi faktormi počas skenovania ako napr. rôzne svetelné podmienky, rôzny tlak prstu na povrch skenera, pri hlase to môžu byť zdravotné problémy dýchacích ciest, atď. Z tohoto dôvodu je zavedená hranica pri porovnaní a pokiaľ je zhoda získaných dát a šablóny nad touto hranicou tak výsledok tohto porovnania je, že sú zhodné. Hodnota tejto hranice závisí od bezpečnostných nárokov biometrického systému.

Identifikácia a verifikácia

Biometrický systém môže vykonávať dve úlohy a to identifikáciu alebo verifikáciu. Rozdiel medzi nimi je počet šablón (biometrické črty uložené v databáze), s ktorými sú porovnávané biometrické vlastnosti užívateľa.

Pri identifikácii sa porovnávajú biometrické dáta užívateľa s dátami všetkých užívateľov v databáze. Toto porovnanie je 1:N. Výsledok tohto porovnania je buď identita užívateľa alebo žiadna zhoda. Táto varianta je pre užívateľa viacej prívetivá, pretože nepotrebuje zadať užívateľské meno alebo inak svoju identitu ako to je u hesiel. Identifikácia sa dá použiť aj pre negatívne rozpoznanie. Pri tomto rozpoznaní systém rozhodne či užívateľ je kto tvrdí, že nie je. Toto porovnanie sa používa pre zabránenie užívateľom používať viacero identít. Pozitívne porovnanie je dokázanie, že užívateľ je ten kto tvrdí, že je. Biometria sa dá použiť pri negatívnom aj pozitívnom porovnaní, ale heslá sa dajú použiť iba pri pozitívnom porovnaní.

Pri verifikácii užívateľ zadáva aj svoju identitu a tým pádom prebieha porovnanie 1:1. Toto porovnanie sa používa pre zabránenie viacerým užívateľom používať jednu identitu.

2.2 Základy detekcie živosti a jej význam v zabezpečení

Najväčšou nevýhodou biometrie je, že akonáhle sa biometrická vlastnosť prezradí tak sa nedá zmeniť ako napr. heslo. Pretože niektoré biometrické vlastnosti zanechávame na všetkom čoho sa dotkneme, ako je to pri odtlačkoch prstov a dlane, alebo sú reprodukovateľné z fotografií dostatočne vysokej kvality, tak je takéto prezradenie pomerne jednoduché a časté. Takéto falzifikáty môžu byť vyrobené napr. zo silikónu alebo latexu, pre reprodukcii odtlačkov alebo dlane, alebo to môžu byť falošné sietnice či dúhovky pre oklamanie skenera oka. Z tohoto dôvodu treba vytvoriť obranu voči falzifikátom. Dve najpoužívanejšie riešenia sú vytvorenie multimodálnych systémov, čiže rozšírenie biometrického systému o kontrolu hesla, čipovej karty alebo iných biometrických vlastností, ako je napr. odtlačok alebo sietnica oka, a druhou metódou je implementácia detekcie živosti. Detekcia živosti je súčasť skeneru v prípade hardvérovej detekcie alebo je súčasťou vyhodnocovacieho algoritmu pri softvérovej detekcii živosti a kontroluje či získané dáta patria skutočnej osobe alebo sa jedná o podvrh. Bez tohto procesu by počas extrakcie črt došlo k umelému zvýšeniu kvality dát a tým pádom by mohlo dôjsť ku kladnému výsledku porovnania. Systémy detekcie živosti spadajú do dvoch kategórií:

- **Softvérové:** Proces detekcie živosti sa vykonáva na už odobratej vzorke bežným senzorom, napr. detekcia nedokonalostí odtlačku prstu ako je absencia potných pórov alebo prítomnosť vzduchových bublín.
- **Hardvérové:** Biometrický systém obsahuje modul, ktorý odoberie vzorku črt, ktoré dokazujú živosť. Medzi tieto črty spadá napríklad teplota alebo pulz, na ktorých meranie sa vyžaduje termálna kamera alebo pulzometer.

Vytvorenie a implementácia biometrických systémov nie je jednoduchý proces, pretože musia spĺňať viacero pravidiel aby bol použiteľný v bežnom živote [3]. Tieto pravidlá taktiež platia pre systémy detekcie živosti.

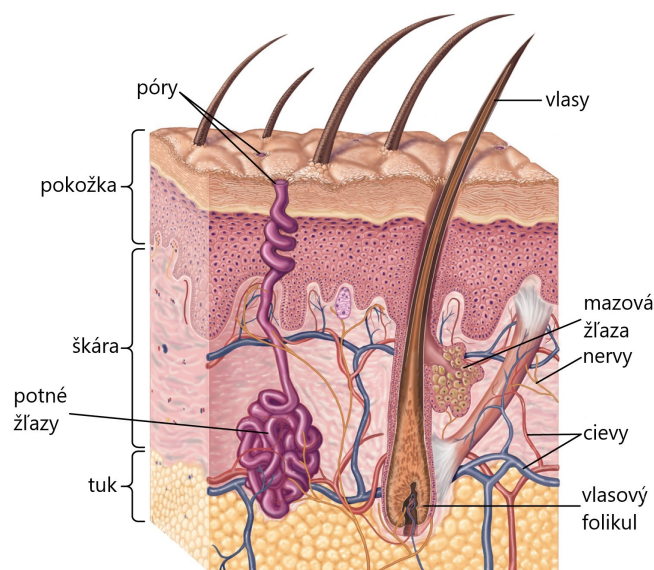
- **Neinvazívna** - proces nemôže ublížiť užívateľovi a nemôže vyžadovať prehnaný kontakt s užívateľom
- **Užívateľsky prívetivá** - užívateľ by nemal byť neochotný prejsť týmto procesom
- **Rýchla**, proces by mal byť rýchly, nemôže sa od užívateľa žiadať prídlhý kontakt so zariadením
- **Nízka cena** - proces nemôže byť použitý vo veľkom počte zariadení pokiaľ je cena priveľká
- **Efektívna** - proces musí byť schopný spoľahlivo identifikovať falzifikáty, ale navyše nemôže nesprávne označiť pravé vzorky za falzifikáty

2.3 Koža

Koža pokrýva celý povrch tela a slúži na ochranu vnútorných orgánov a na príjem zmyslových podnetov z okolia. Koža pozostáva z troch základných vrstiev, viz obr. 2.2:

- **Pokožka** (lat. epidermis) - najvrchnejšia vrstva, ktorá slúži hlavne na ochranu
- **Škára** (lat. dermis) - vláknitá vrstva, ktorá podporuje a spevňuje pokožku

- **Podkožné väzivo** (lat. subcutis) - podkožná vrstva tuku, ktorá zásobuje predošlé vrstvy živinami a izoluje telo.



Obr. 2.2: Zloženie kože [8]

Vlastnosti kože sa počas života menia, u detí je koža jemná, suchá a bez vrások alebo škvŕn, a u starších ľudí postupom života vznikajú vrásky, vyrážky, ale aj pribúda ochlpenie, ktoré je hustejšie, dlhšie a obsahuje viac pigmentu. Tieto zmeny sa prejavujú vyše na častiach kože, ktorá bola vystavená vetru alebo slnku a navyše bez ochrany rôznych prostriedkov ako sú opaľovacie krémy alebo oblečenie [8]. Ďalším dôvodom vzniku sú aj kožné choroby, zranenia alebo druh zamestnania, napr. drevorubač bude mať iný povrch kože ako programátor.

Pokožka

Pokožka je najvrchnejšia vrstva kože, ktorá má hlavne ochrannú funkciu. Hrúbka pokožky nie je jednotná na celom tele, napr. na dlani a chodidlách je pokožka hrubšia. Pokožka sa všeobecne dá rozdeliť na nižšiu vrstvu živých buniek a povrchovú vrstvu mŕtvych buniek. Nové bunky sa vytvárajú mitózou v nižšej vrstve kde dochádza ku kontaktu so škárou a postupne sa presúvajú na povrch kde tvoria zrohovatenú vrstvu. Počas tohto presunu sa postupne plnia keratínom a na povrchu odumierajú. Pokožka sa dá mikroskopicky rozdeliť na 5 vrstiev:

- **Bazálna** - v tejto vrstve prebieha mitóza buniek pokožky, keratinocytov.
- **Ostnatá** - svoj názov táto vrstva získala, kvôli ostnatému výzoru buniek, ktoré ju tvoria. Tento tvar je zapríčinený veľkým množstvom desmozomov.
- **Zrnitá** - bunky tejto vrstvy obsahujú zrnitú látku zvanú keratohyalín.
- **Lesklá** - táto vrstva sa dá hlavne pozorovať v oblasti dlane a chodidla.

- **Rohová** - je tvorená odumretými bunkami plnými keratínu.

Ďalšou dôležitou súčasťou pokožky sú melanocyty, ktoré vytvárajú melanín, pigment, ktorého množstvo určuje sfarbenie pokožky. Počet týchto buniek je rovnaký pre všetky rasy a je to približne 1000 – 2000 buniek na milimeter štvorcový. Zmena farby pokožky nie je spôsobená väčším množstvom týchto buniek, ale ich zvýšenou funkciou [8]. Takáto zmena farby sa dá využiť pre detekciu živosti prostredníctvom optických skenerov.

Škára

Škára tvorí najväčšiu časť kože a zaistuje fyzickú ochranu. Je zložená z viacerých typov tkanív, hlavne kolagénu, s materiálmi nazývanými glykozaminoglykány, ktoré uchovávajú veľké množstvo vody, tým zachovávajú elasticitu kože. Sieť elastického tkaniva zachováva kožu napnutú a aj jej návrat do pôvodného stavu po natiahnutí. V škáre sú vo vlasových folikulách hlboko ukotvené vlasy. Škára je zásobená živinami z ciev, ktoré ňou prechádzajú, tieto živiny sú ďalej difúziou predané pokožke. Nachádzajú sa tu aj nervové zakončenia a kožné nervové orgány, vďaka ktorým človek vníma bolesť, teplo a chlad [8]. Žili, ktoré prechádzajú touto vrstvou je možné nasnímať pod špecifickým osvetlením.

Podkožné väzivo

Podkožné väzivo je najspodnejšia časť kože. Táto časť má viacero funkcií, spája zvyšok kože so svalmi a kosťami, izoluje telo na ochranu voči chladu a reguluje teplotu na ochranu voči teplu. Ďalej má tlmiacu funkciu aby sa koža plynulo hýbala po svaly pod ňou a tlmenie nárazov aby obmedzila poškodenie svalov, orgánov a kostí pred poškodením. V tejto časti kože sa taktiež vytvárajú a ukládajú tukové bunky [18].

Povrch kože a využitie v biometrii

Povrch pokožky je pokrytý jamkami od potných žliaz a vlasových folikul, ktoré sa zvyknú nazývať póry a navyše je povrch zbrázdnený pretínajúcimi sa čiarami, ktoré mu dodávajú charakteristický vzor. Tieto čiary idú po rôznych trasách, ale ich usporiadanie v rámci jednej časti postupuje podľa rovnakého plánu. Tieto vzory sú u každého jednotlivca veľmi podobné, ale ich detaily sú jedinečné. Kvôli svojej jedinečnosti sa tieto vlastnosti dajú použiť pre biometriu. Najviac sa využívajú odtlačky prstov, pretože majú najvýraznejšie črty a dajú sa jednoducho získať. Čiary na pokožke sú spravidla vytvorené pred narodením, rôzne udalosti ako fyzické poškodenie alebo ochorenia kože ich môže narušiť. Povrch pokožky sa mení aj vplyvom času, v pokročilom veku začnú vznikať vrásky a vyrážky, ktoré podstatne zmenia výzor dlane či tváre [8].

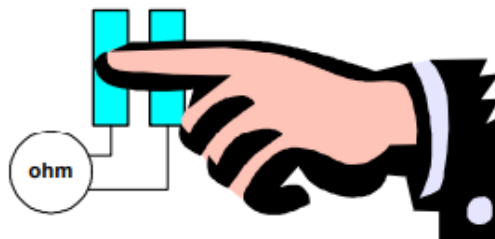
2.4 Existujúce riešenia

Existuje veľké množstvo riešení detekcie živosti, avšak nie všetky sú v reálnom prostredí vhodné. V nasledujúcej časti sú bližšie spomenuté iba metódy detekcie živosti pre dľaň a prst, pretože zámerom tejto práce je detekcia živosti dlane.

2.4.1 Elektrické vlastnosti kože

Táto metóda je založená na rozdielnych elektrických vlastnostiach kože a iných materiálov. Tento systém pozostáva z elektródového systému a elektrickej vyhodnocovacej jednotky viz

obr. 2.3, čiže spadá do hardvérových metód. Vodivosť ľudskej kože je založená na vlhkosti, ktorú ovplyvňujú biologické vlastnosti, niektorí ľudia majú suchú pokožku iní majú nadmernú tvorbu potu. Túto vlastnosť taktiež ovplyvňujú vlastnosti prostredia ako je teplota a vlhkosť ovzdušia. Z tohoto dôvodu dosahuje ľudská koža hodnoty od $20\text{ k}\Omega$ do $20\text{ M}\Omega$. Tieto hodnoty majú priveľký rozsah na to aby boli použiteľné a nedali sa jednoducho obísť útočníkom, napr. navlhčením umelého prstu do solného roztoku alebo do slín [5]. Kvôli týmto problémom nie je toto riešenie vhodné pre detekciu živosti. Avšak aj tento princíp je využívaný u niektorých senzorov pre detekciu prítomnosti prstu a zahájenie snímania.



Obr. 2.3: Meranie vodivosti kože [5]

2.4.2 Meranie teploty

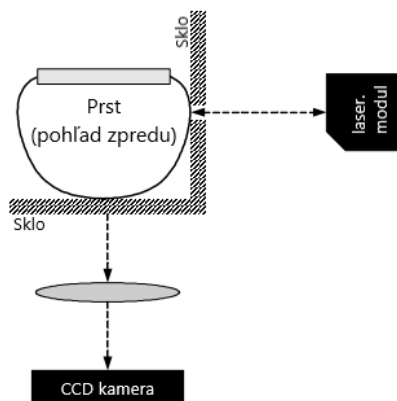
Metóda je založená na zmeraní povrchu prstu počas odobrania odtlačku. Pre zmeranie teploty sa využíva termálna kamera, takže je to taktiež hardvérová metóda. Povrch ľudskej kože dosahuje hodnoty v rozmedzí $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na výslednú teplotu taktiež vplýva teplota prostredia a ľudia s problémami s prietokom krvi majú nižšiu priemernú teplotu povrchu kože. Z tohto dôvodu treba rozšíriť pôvodný rozsah. Navyše pokiaľ útočník používa veľmi tenký falošný odtlačok nalepený na vlastnom prste tak výsledok merania je iba o $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ nižší [5]. Z tohto sa dá jednoznačne vyvodiť, že táto metóda nie je vhodná pre použitie.

2.4.3 Meranie pulzu

Metóda je založená na meraní zmien vzdialeností medzi bodmi na pokožke pri pravidelnom prúde krvi. Jednotlivé bunky sa zväčšujú a zmenšujú v pravidelných intervaloch, keď do nich prichádza krv. Tieto zmeny sú v rádoch niekoľkých mikrometrov. Tieto zmeny sa merajú buď kamerou cez makro objektív alebo laserovým modulom. Systém s využitím laseru je zobrazený v obr. 2.4, kde snímanie pomocou laseru prebieha v rovnakom čase ako snímanie odtlačku kamerou [5]. Táto metóda je veľmi presná a spoľahlivá aj keď vyžaduje dlhší čas.

2.4.4 Zistenie saturácia krvi kyslíkom

Systém je založený na zistení saturácie krvi kyslíkom a podľa toho sa určí či je priložená skutočná ruka alebo anorganický falzifikát. Systém pozostáva z dvoch LED diód a fototranzistorov na zaznamenanie množstva pohlteneho svetla. Jedna dióda vyžaruje červené svetlo o vlnovej dĺžke 650 nm a druhá infračervené o vlnovej dĺžke 900 nm . Výpočet je založený na skutočnosti, že okysličená krv absorbuje vyše červeného a menej infračerveného svetla, a slabo okysličená krv absorbuje málo červeného a veľa infračerveného svetla. Táto



Obr. 2.4: Schéma systému merania pulzu [5]

jedinečná vlastnosť krvi sa dá využiť na rozlíšenie medzi skutočnou rukou a falzifikátom [6] [21].

2.4.5 Detekcia potu

Metóda je založená na prítomnosti až 600 potných žliaz na palec štvorcový na povrchu ľudskej kože. Tieto potné žľazy vytvárajú pravidelne pot, čím vzniká postupné tmavnutie výsledného odtlačku v rozmedzí niekoľkých sekúnd ako je možné pozorovať v obr. 2.5. Tento jav vyžaduje pomerne dlhý kontakt prstu so skenerom. Na úkol toho je táto metóda veľmi spoľahlivá a tento jav je veľmi náročné reprodukovat' na falzifikáte [6].



Obr. 2.5: Tmavnutie odtlačku vplyvom času [6]

2.4.6 Detekcia skreslenia kože

Táto metóda je založená na postupnom skreslení odtlačku prstu pri postupnej rotácii prstu po skenery. Toto skreslenie vzniká zmenou tlaku na jednotlivé časti prstu pri jeho pohybe. Takéto skreslenie je ťažké reprodukovat' falošnými odtlačkami, pretože materiál pre falzifikáty nevytvára dostatočne podobné skreslenie odtlačku. Toto platí aj pre materiály, ktoré svojou konzistenciou pripomínajú ľudskú kožu ako napr. silikón. Táto metóda má vysokú úspešnosť detekcie falzifikátov, ale pomerne často nesprávne vyhodnotí skutočný odtlačok ako falzifikát. Vo väčšine prípadov to je spôsobené nesprávnym postupom užívateľa, z toho dôvodu je táto metóda vhodnejšia pre zabezpečenie miest kde je prednejšia bezpečnosť ako prívetivosť pre užívateľov [1].

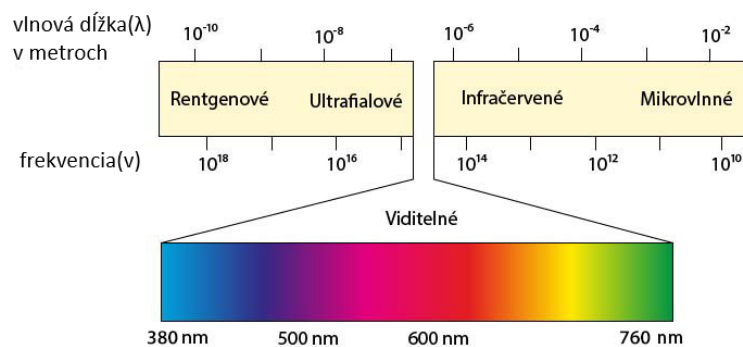
Kapitola 3

Analýza multi-spektrálnych snímok

Táto kapitola je zameraná na predstavenie základných informácií o svetelnom spektre, jeho rozdelení a význame jednotlivých častí. Pri konci sú zhrnuté všetky dôležité črty, ktoré sa dajú využiť na detekciu živosti a časti spektra, pri ktorých sú zachytené.

3.1 Základy svetelného spektra a jeho vplyv na kožu

Svetelné spektrum je rozsah frekvencií elektromagnetického žiarenia, ktoré je rozdelené podľa svojej vlnovej dĺžky a energie. Hodnoty tohto rozsahu sa pohybujú od menej ako 1 Hz po vyše ako 10^{25} Hz . Jednotlivé rozsahy sú iba približné a v rôznych publikáciách sa od seba odlišujú. Človek je schopný vidieť z celého spektra iba hodnoty v rozmedzí $400 - 790\text{ THz}$ čo zodpovedá vlnovej dĺžke $380 - 760\text{ nm}$ ako je možné vidieť na obr. 3.1. Pre detekciu živosti sú zaujímavé iba tri a to ultrafialové, viditeľné a infračervené svetlo [20].



Obr. 3.1: Svetelné spektrum [4]

3.1.1 Ultrafialové svetlo

Ultrafialové svetlo (UV) má vlnovú dĺžku v rozmedzí $10 - 400\text{ nm}$. UV svetlo sa ešte ďalej rozdeľuje do troch kategórií:

- **UVA** - ktorého vlnová dĺžka dosahuje hodnoty od 400 nm do 315 nm , taktiež označované ako čierne svetlo. Tento druh spôsobuje spustenie fluorescenčných vlastností niektorých materiálov, toto sa využíva na overenie pravosti obrazov alebo bankoviek.
- **UVB** - s vlnovou dĺžkou $315 - 280\text{ nm}$. Tento druh spôsobu všetky javy na organizmoch ako je opaľovanie a tvorba vitamínu D.
- **UVC** - s vlnovou dĺžkou $280 - 100\text{ nm}$. Táto časť UV žiarenia sa k nám od slnka nedostane. Tento druh UV žiarenia sa využíva na sterilizáciu, kvôli svojim baktericídnym vlastnostiam. Pre tento účel sa najviac využíva svetlo o vlnovej dĺžke $260 - 280\text{ nm}$.

Prírodným zdrojom tohto svetla je slnko. Väčšina žiarenia je pohltaná ozónovou vrstvou v nižšej stratosfére. Žiarenie, ktoré sa k nám dostane je z 99 % tvorené typom UVA. Ultrafialové žiarenie má nízku penetračnú schopnosť, čo spôsobuje, že ovplyvňuje iba vrchnú časť kože človeka. Toto žiarenie spôsobuje opálenie, čiže spustenie melanínu v hlbších vrstvách kože, spálenie pokožky a pri prehnanom ožiarení môže zapríčiniť až karcinogénne zmeny. UV žiarenie spôsobuje aj tvorbu vitamínu D a využíva sa aj na terapiu pri rôznych ochoreniach [10].

3.1.2 Viditeľné svetlo

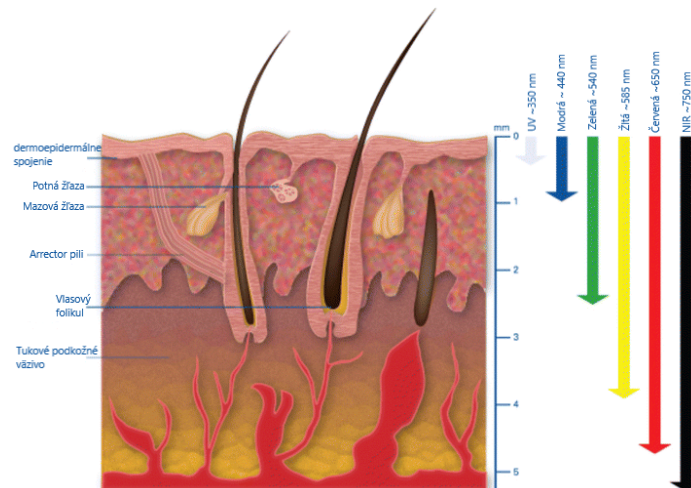
Pod viditeľné svetlo spadá žiarenie, ktoré je možné pozorovať zrakom. Tento rozsah začína na vlnovej dĺžke 380 nm kde hraničí fialové a UV svetlo, a končí pri 760 nm kde hraničí červené a IR svetlo. Viditeľné svetlo sa ešte ďalej delí na jednotlivé farby, nie všetky farby sú zastúpené, pretože niektoré vznikajú zmiešaním viacerých vlnových dĺžok ako napr. biele svetlo, ktoré pozostáva z celého viditeľného spektra. Jednotlivé farby a vlnové dĺžky sú fialová farba ($380 - 450\text{ nm}$), modrá ($450 - 485\text{ nm}$), tyrkysová ($485 - 500\text{ nm}$), zelená ($500 - 565\text{ nm}$), žltá ($565 - 590\text{ nm}$), oranžová ($590 - 625\text{ nm}$) a červená ($625 - 750\text{ nm}$) [20].

3.1.3 Infračervené svetlo

Infračervené (IR) svetlo sa nachádza medzi červeným svetlom a mikrovlnným žiarením, približný rozsah je od 750 nm po 1 mm . IR svetlo sa ďalej delí na blízke, v rozmedzí $750 - 2500\text{ nm}$, stredné ($2.5 - 50\text{ }\mu\text{m}$) a ďaleké ($50 - 1000\text{ }\mu\text{m}$). IR žiarenie nie je viditeľné ľudským okom, ale dokážeme ho vnímať ako pocit tepla na koži [9]. Kvôli svojej vysokej vlnovej dĺžke preniká hlbšie do pokožky a vďaka tomu je možné pozorovať aj žili.

3.1.4 Vplyv svetla rôznej vlnovej dĺžky na kožu

Svetlo rôznych vlnových dĺžok preniká do rôznej hĺbky kože a tým pádom vplýva na rôzne časti kože. Tento jav vzniká, pretože koža obsahuje chromofóry, ktorých koeficient rozptylu a absorpcie závisí od vlnovej dĺžky svetla. Najhlbšie preniká blízke infračervené svetlo (NIR), a najmenej preniká ultrafialové svetlo (UV) [2], viz obr. 3.2.



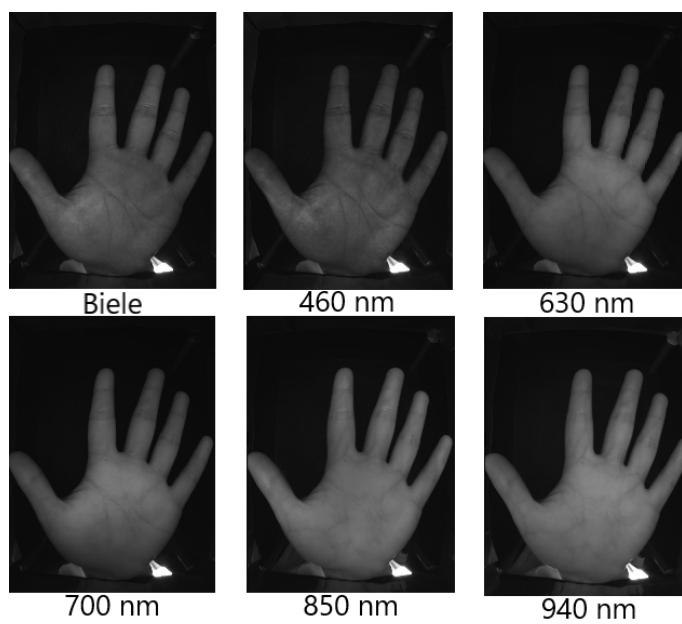
Obr. 3.2: Ilustrácia prenikania svetla rôznej vlnovej dĺžky do ľudskej kože. [2]

3.2 Využitie v detekcii živosti

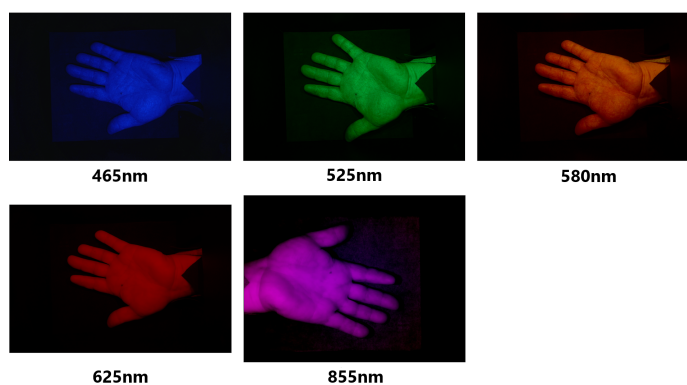
Snímky dlaní, ktoré boli analyzované pochádzajú z databázy CASIA Multi-Spectral Palmprint Image Database V1.0. V tejto databáze sa nachádza 7200 snímok, ktoré pochádzajú od 100 rôznych ľudí. Všetky snímky sú uložené ako 8-bitové súbory formátu JPEG v odtieňoch šedej. Každá ruka bola snímaná pod svetlom šiestich rôznych vlnových dĺžok a to 460 nm , 630 nm , 700 nm , 850 nm , 940 nm a pod bielym svetlom. Každá vzorka bola snímaná 2 krát po 3 snímkoch, časový interval medzi jednotlivým snímaním bol aspoň mesiac. Séria šiestich snímok je zobrazená v obr. 3.3.

Druhá skúmaná databáza bola vytvorená v rámci bakalárskej práce [12] študentom Marekom Hlavačkom. Táto databáza obsahuje 78 vzoriek, snímky sú uložené vo formáte PNG a sú v dvoch rôznych farebných schémach a to RGB a RGBA. Každá ruka bola snímaná pod svetlom piatich rôznych vlnových dĺžok a to 465 nm , 525 nm , 580 nm , 625 nm a 855 nm . Séria piatich snímok je zobrazená na obr. 3.4.

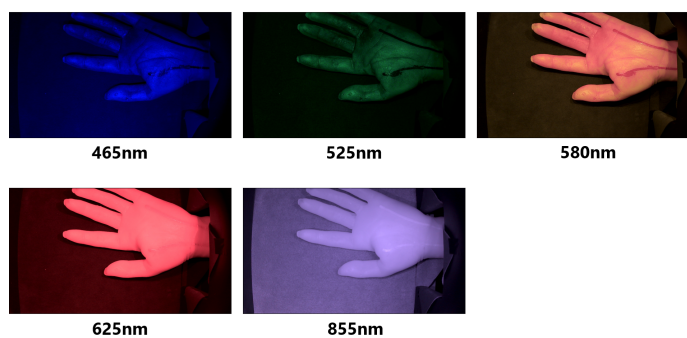
Posledná databáza bola poskytnutá vedúcim tejto bakalárskej práce a obsahuje kontrolnú sadu 18 vzoriek a sadu falzifikátov pozostávajúcich z 52 vzoriek. Snímky z tejto databázy sú vo formáte JPG a každá ruka bola rovnako ako u databázy Hlavačka snímaná pod svetlom s vlnovou dĺžkou 465 nm , 525 nm , 580 nm , 625 nm a 855 nm . Séria piatich snímok falzifikátov je zobrazená na obr. 3.5.



Obr. 3.3: Šesť snímkov ruky pod svetlom rôznych vlnových dĺžok z databázy CASIA.



Obr. 3.4: Päť snímkov ruky pod svetlom rôznych vlnových dĺžok z databázy Hlavačka.



Obr. 3.5: Päť snímkov falzifikátov pod svetlom rôznych vlnových dĺžok.

Významné črty multi-spektrálnych snímok dlane

Pre detekciu živosti sú najzaujímavejšie dve črty ruky a to odtlačok dlane, čiže čiary na povrchu dlane, ktoré sú jedinečne usporiadané, a žili v nižšej vrstve kože ruky. Ako môžeme pozorovať v obr. 3.3, povrch dlane je najvýraznejší pri vlnovej dĺžke 460 nm a žili pri 940 nm [19]. Využitie iba jedného črtu je nedostatočné, pretože taký systém nemusí byť odolný ani voči falzifikátom vytlačeným na papier. Vytlačený falzifikát môže obsahovať iba snímok získaný pod svetlom jednej vlnovej dĺžky, čiže pri kontrole črt, ktoré sú viditeľné pri rôznych vlnových dĺžkach dokážeme detegovať takýto druh falzifikátu. Plne umelý falzifikát celej ruky alebo prstu sme schopný detegovať pri vyššej vlnovej dĺžke, pretože nemá rovnaké spektrálne vlastnosti ako koža a ani nebude možné pozorovať žili. Systém, ktorý kontroluje prítomnosť žíl pri vysokých vlnových dĺžkach a povrch dlane pri nízkych je schopný detegovať falzifikát vytlačený na papier a falzifikát v tvare celej umelej ruky alebo prstu.

Pri použití snímku pri vlnovej dĺžke 850 nm sú žili menej výrazné, to môže byť dôležité pri detekcií podvrhu, ktorý využíva veľmi tenký falzifikát, ktorý je umiestnený na ruke útočníka. Na dokázanie tejto teórie je však nutné analyzovať taktiež multi-spektrálne snímky rôznych falzifikátov.

Kapitola 4

Návrh

Táto kapitola sa zameriava na návrh riešenia jednotlivých častí detekcie živosti. Každá časť je ďalej rozdelená na rôzne spôsoby ich riešenia. Návrh je rozdelený na prvotnú úpravu snímok, segmentáciu ruky zo snímok, extrakciu dôležitých črt a nakoniec vyhodnotenie či sa jedná o falzifikát. Na konci kapitoly sú zhrnuté všetky použité technológie.

4.1 Prvotná úprava snímok

Predtým ako sa bude so snímkami pracovať ich treba upraviť na jednotný formát, čím sa zaručí menšia náročnosť vytvorenia, ale aj vykonania jednotlivých operácií nad danými obrázkami. Dodané databázy obsahujú veľkú škálu snímok, ktoré sú rôznych rozlíšení, formátov ako aj farieb, z tohoto dôvodu vzniká nutnosť vykonať prvotnú úpravu aby sa táto rôznorodosť čo najviac zmenšila, ale aby v rámci toho nedošlo k strate kvality snímok. Jednotlivé kroky pre dosiahnutie tohto sú:

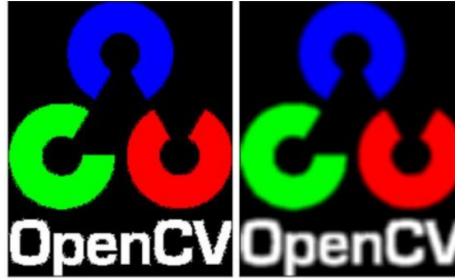
- **Rovnaké rozlíšenie** - zmena skupiny snímok na rovnaké rozlíšenie zjednoduší prácu s nimi, hlavne v prípade keď sú ruky v snímkoch rovnako orientované a v rovnakej pozícii. V takomto prípade by malo stačiť vytvoriť jednu masku, ktorá bude aplikovaná na všetky snímky v jednej skupine. V opačnom prípade síce nebude možné vytvoriť jednu masku pre celú skupinu, ale táto úprava by mohla zjednodušiť následné operácie, ktoré sa budú vykonávať pre získanie dôležitých črt z jednotlivých snímok.
- **Rovnaká farebná schéma** - dodané databázy obsahujú obrázky rôznych farebných schém, presnejšie RGB, RGBA a v odtieňoch šedej. Pre zjednodušenie práce s nimi je potrebné previesť všetky snímky do rovnakého formátu. Najvhodnejšie je previesť ich do obrázku v odtieňoch šedej, pretože to zajedno urýchli prácu so snímkami, nakoľko má každý pixel iba jednu hodnotu a nie tri alebo štyri, ako aj umožní využitie väčšej škály knižníc, pretože väčšina je schopná pracovať iba so šedo-tónovými obrázkami.

Odstránenie šumu

Odstránenie šumu sa nepoužíva iba v prvotných úpravách, ale dá sa využiť aj v neskorších fázach spracovania snímok, dá sa to využiť pred každým náročnejším spracovaním obrazu ako je napr. detekcia hrán. Odstránenie šumu sa získa konvolúciou obrázku s filtrom, v tomto prípade sa jedná o dolnú priepust, ktorá odstráni vysoko-frekvenčný obsah, šum alebo hrany. Metódy odstránenie šumu, ktoré boli otestované:

- **Spriemerovanie** - je to najjednoduchšia metóda odstránenia šumu. Podstatou tejto metódy je konvolúcia obrázku s normalizovaným boxovým filtrom, príklad takéhoto filtra je obr. 4.1. Hodnota každého pixlu obrázku sa zmení na priemer získaní z jeho okolia, veľkosť okolia je daná veľkosťou filtra. Výsledok tejto metódy je zobrazený na obr. 4.1.

$$K = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.1)$$



Obr. 4.1: Naľavo je pôvodný obrázok a napravo výsledok po spriemerovaní[17].

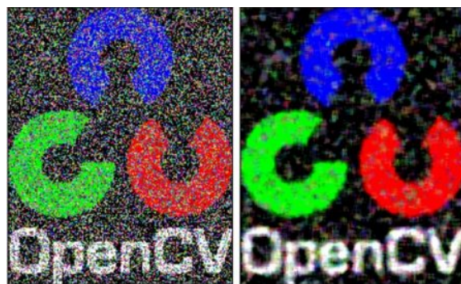
- **Gaussovské rozmazanie** - táto metóda je podobná ako spriemerovanie, ale namiesto boxového filtra je použité gaussovské jadro 4.2. Príklad výsledku tohto rozmazania je obr. 4.2. Táto metóda rozmazanie je veľmi rozšírená a používa sa hlavne v počítačovej grafike buď pre efekt rozmazania.

$$K = \begin{bmatrix} 0.0625 & 0.125 & 0.0625 \\ 0.125 & 0.25 & 0.125 \\ 0.0625 & 0.125 & 0.0625 \end{bmatrix} \quad (4.2)$$



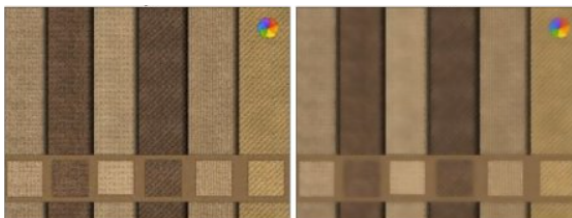
Obr. 4.2: Naľavo je pôvodný obrázok a napravo výsledok po gaussovskom rozmazaní [17].

- **Mediánové rozmazanie** - táto metóda je podobná ako spriemerovanie, ale namiesto toho aby sa počítal priemer v nejakom okolí zistí sa medián z tohto okolia a tým sa nahradí pixel v strede okolia. Mediánové rozmazanie je najvhodnejšie na filtrovanie tzv. šumu soľ a korenie. Príklad takejto filtrácie je na obr. 4.3.



Obr. 4.3: Naľavo je pôvodný obrázok so šumom a napravo výsledok po mediánovom rozmazaní[17].

- **Bilaterálne filtrovanie** - narozdiel od predošlých metód toto filtrovanie nerozmaže hrany. Je založený na gaussovskom rozmazaní, ale navyše má druhú gaussovskú funkciu, ktorá kontroluje intenzitu pixlov v danom okolí a sú rozmazané iba pixly podobnej intenzity. Avšak kvôli tejto pridanej funkcií je táto metóda viacej časovo náročná, ale v prípade, že je potreba zachovať hrany tak je najvhodnejšia. Výsledok tejto metódy je zobrazený na obr. 4.4.



Obr. 4.4: Naľavo je pôvodný obrázok a napravo výsledok po bilaterálnej filtrácii [17].

4.2 Segmentácia ruky zo snímku

Pre segmentáciu ruky som vyskúšal viacero metód. Prahovanie a detekcia hrán pochádza z publikácie [7] a detekcia kontúr z článku [14]. Podstatou všetkých týchto metód je vytvorenie masky, ktorá obsahuje iba hodnoty 0 a 1, čiže na binárny obrázok. Maska je následne aplikovaná na pôvodnú snímku pomocou logického AND. Tým sa odstránia všetky menej dôležité časti zo snímok.

Prahovanie

Prahovanie je najjednoduchšia a najmenej výpočtovo náročná. Podstatou prahovania je určenie hranice T (**Threshold**), často označovanej aj ako prah, všetko rovné a menšie ako táto hodnota je zmenené na 0 a všetko väčšie je zmenené na 1. Rozdeľuje sa na globálne a lokálne prahovanie. Pri globálnom prahovaní sa použije rovnaká hranica pre celý vstupný obrázok a pri lokálnom je obrázok rozdelený na menšie časti a pre každú časť sa vypočíta hranica zvlášť. Zoznam vyskúšaných variant prahovania:

- **Globálne prahovanie s strednou hodnotou** - v tomto prípade je T rovné 127 pre 8-bitové šedo-tónové obrázky. Táto hodnota sa dá ďalej ešte pozmeniť, pričítaním alebo odčítaním statickej hodnoty, toto môže dopomôcť v prípade ak je stredová hodnota moc nízka alebo moc vysoká. Táto metóda je vhodná iba v prípade rovnakého

nasvietenia celého obrázku. Takáto situácia sa v praxi veľmi často nevyskytuje, preto je využitie tejto metódy obmedzené.

- **Otsuho binarizácia** - táto metóda spadá do kategórie globálneho prahovania, ale na rozdiel od predošlej metódy kde treba hodnotu T zvoliť je táto hodnota získaná automaticky. Výpočet tejto hranice spočíva v analýze histogramu obrázku, ktorý je ideálne bimodálny, čiže má dva vrcholy v histograme, podľa ktorých je vybratá ideálna hodnota, ktorá sa nachádza približne v strede. Vzťah pre výpočet tejto hranice je 4.3, pre ktorý taktiež platia vzťahy 4.4,4.5,4.6 [16].

$$\sigma_w^2(t) = q_1(t)\sigma_1^2(t) + q_2(t)\sigma_2^2(t) \quad (4.3)$$

$$q_1(t) = \sum_{i=1}^t P(i) \quad q_2(t) = \sum_{i=t+1}^I P(i) \quad (4.4)$$

$$\mu_1(t) = \sum_{i=1}^t \frac{iP(i)}{q_1(t)} \quad \mu_2(t) = \sum_{i=t+1}^I \frac{iP(i)}{q_2(t)} \quad (4.5)$$

$$\sigma_1^2(t) = \sum_{i=1}^t [i - \mu_1(t)]^2 \frac{P(i)}{q_1(t)} \quad \sigma_2^2(t) = \sum_{i=t+1}^I [i - \mu_2(t)]^2 \frac{P(i)}{q_2(t)} \quad (4.6)$$

Detekcia hrán

Detekcia hrán je založená na zvýraznení miest kde dochádza k veľkej zmene intenzity. K dosiahnutiu tohto výsledku sa využíva konvolúcia skúmaného obrázku a jednej zo známych konvolučných matíc určených pre detekciu hrán. Medzi známe konvolučné matice patrí Robinsonov 4.7, Robertssovov 4.8 a Laplaceov 4.9 operátor [7].

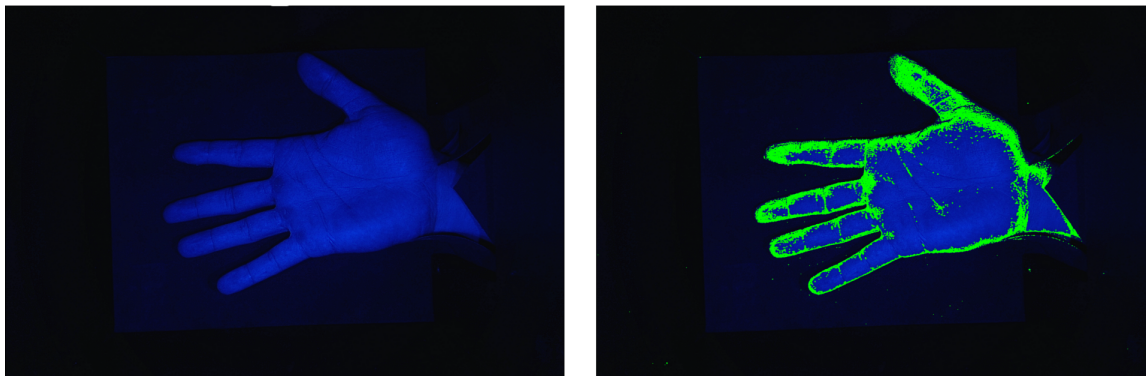
$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

$$h_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}, h_2 = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

Detekcia kontúr

Kontúra je krivka, ktorá spája všetky body, ktoré majú rovnakú intenzitu alebo farbu, ohraničujúcich nejaký objekt. Táto metóda sa využíva pri analýze tvarov alebo pri detekcii a rozpoznaní objektov [15]. Po získaní hranice objektu je možné daný objekt vyplniť a tým získať masku daného objektu. Táto metóda je užitočná k oddeleniu objektov od pozadia, v našom prípade bude objekt ruka. Príklad výsledku po aplikovaní tejto metódy je zobrazený na obr. 4.5.



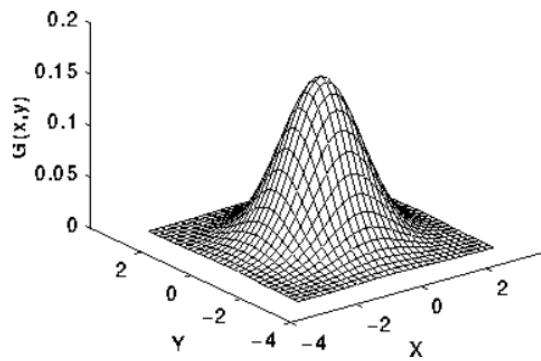
Obr. 4.5: Pôvodný snímok naľavo a príklad výsledku detekcie kontúr napravo.

4.3 Extrakcia dôležitých črt

K extrakcii dôležitých črt sa dá použiť už spomenutá metóda prahovania 4.2. Táto metóda sa dá kombinovať s gaussovským rozmazaním 4.1 pre elimináciu šumu, ktorý snímky obsahujú. Výsledok po tomto postupe by mal obsahovať zvýraznené čiary na pokožke pri aplikovaní na snímky získané pri nasvietení ruky svetlom s nízkou vlnovou dĺžkou a pri svetle s vysokou vlnovou dĺžkou by mali byť zvýraznené žily, ktoré sa nachádzajú v škáre 2.3. Podobný postup pre extrakciu črt sa využíva aj v overení totožnosti pomocou biometrie, kde je najskôr odstránený šum zo vzoriek a následne je aplikované prahovanie pre zvýraznenie črt [7]. Medzi metódy prahovania, ktoré sú vhodné pre zvýraznenie črt môže v určitých prípadoch byť aj už spomenuté globálne prahovanie, ale skôr sa využíva jedna z týchto dvoch metód:

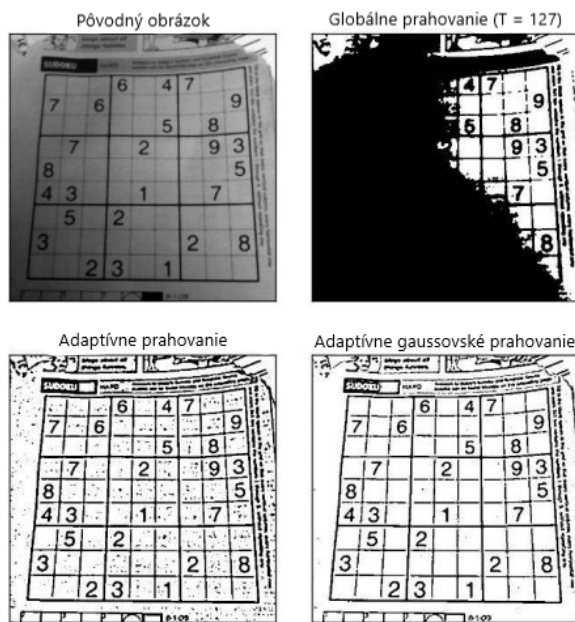
- **Adaptívne prahovanie** - táto metóda spadá pod lokálne prahovanie, pretože hodnota prahu T sa počíta zvlášť pre každý pixel obrázku. Toto je výhodné pri nerovnomernom nasvietení obrázku. Výpočet hodnoty T spočíva v získaní priemeru hodnôt všetkých susedných pixlov v nejakom malom okolí.
- **Adaptívne gaussovské prahovanie** - rozdiel medzi touto metódou a predošlou je, že pred výpočtom priemeru je jednotlivým pixelom v okolí priradená váha podľa gaussovho rozdelenia 4.10 [11] a až následne je spočítaný priemer. Zobrazenie gaussovho rozdelenia v 2D priestore je zobrazený na obr. 4.6.

$$[H]G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}} \quad (4.10)$$



Obr. 4.6: Zobrazenie gaussovho rozdelenia pre 2D priestor [11].

Výsledok po jednotlivých metódach prahovania je zobrazený na obr. 4.7. Z porovnania je zrejmé, že v tomto prípade je globálne prahovanie, kvôli nerovnomernej intenzite svetla na povrchu snímaného objektu nepoužiteľné. Adaptívne a gaussovské prahovanie je už vhodné pre použitie.



Obr. 4.7: Príklad výsledku rôznych metód prahovania.¹

¹OpenCV Image Thresholding

Kapitola 5

Implementácia

Táto kapitola je zameraná na popis implementácie jednotlivých častí programu pre detekciu živosti z multispektrálnych snímok. V prvej časti sú popísané všetky kroky, ktoré treba vykonať aby sa dalo so snímkami pracovať. Následne všetky otestované a použité metódy segmentácie ruky. V ďalšej časti sú popísané vyskúšané a aj vhodné kroky pre extrakciu dôležitých črt zo snímok. V poslednej časti je vysvetlený spôsob porovnania snímok rôznych vlnových dĺžok, výsledky získané po analýze dodaných databáz a hraničné hodnoty použité pre rozlíšenie medzi skutočnými rukami a falzifikátmi.

5.1 Prvotné úpravy

V tejto časti budú rozpísané všetky kroky spomenuté v kapitole 4.1. Okrem týchto krokov bolo implementované aj zmenšenie rozlíšenia snímok pri tvorbe masky z dôvodu zníženia časovej náročnosti a tvorba viacerých masiek, ktorá je potrebná keď orientácia, ale hlavne poloha ruky nie je rovnaká vo všetkých snímkach. Odstránenie šumu nebolo v algoritme nakoniec použité ako prvotná úprava, ale až pri extrakcii dôležitých črt.

Prvým krokom je zistenie či je nutné vytvoriť zvlášť masku pre každý snímok alebo stačí jedna spoločná maska. Toto sa zistí pomocou funkcie `hash_comp`, ktorá porovná haš jednotlivých snímok medzi sebou a vráti najväčší rozdiel. Haš obrázkov je získaný pomocou funkcie `imagehash.average_hash`, ktorá je v knižnici `ImageHash`. Z analýzy všetkým databáz som zistil, že pokiaľ je rozdiel väčší ako 8 tak sa už jedná o rozdielne snímky a je nutné vytvoriť masku zvlášť pre každý snímok. V takomto prípade sa nastaví príznak `separate_masks` a tým sa prechádza cez iné vetvy funkcie, ktoré zaručia správne vytvorenie a použitie masiek.

Akonáhle sa zistí, či treba vytvoriť zvlášť masky je treba rozlíšenie všetkých použitých snímok zmeniť tak aby bolo totožné. Na toto sa použije funkcia `cv.resize` z knižnice `OpenCV`, pomocou ktorej sa zmení rozlíšenie snímky s nízkou a strednou vlnovou dĺžkou na rozlíšenie snímky vysokej vlnovej dĺžky. V ďalšom kroku je každá snímka prevedená do šedo-tónového obrázku, na to slúži funkcia `transform_to_greyscale`, ktorá obsahuje vetvenie, vďaka ktorému sa zavolá funkcia `cv.cvtColor` so správnymi argumentami, to je buď `cv.COLOR_RGB2GRAY` alebo `cv.COLOR_RGBA2GRAY` podľa toho či je spracovávaný obrázok s farebnou schémou `RGB` alebo `RGBA`.

Následne za účelom zníženia časovej náročnosti pri tvorbe masky je najskôr zistený rád rozlíšenia, teda koľko cifier má osa y snímok. Toto je zistené jednoduchým vzorcom 5.1, kde y je veľkosť osy y a výsledok q je ešte zaokrúhľený nahor. Pokiaľ je q väčší ako 3 teda

osa y je väčšia ako 1000 tak je potrebné zmenšiť jednotlivé snímky pred výpočtom masky. Pre zmenšenie snímok sú aplikované vzorce 5.2 na osu y a osu x čím sa ich veľkosť upraví tak aby bola v rádoch stoviek. Tento kvocient je ešte ďalej zmenšený tak aby aspoň jedna z osí bola väčšia ako 400, táto veľkosť zaručí, že na výslednej maske budú jednotlivé prsty rozdelené aj keď je medzi nimi iba pár centimetrový rozdiel. Hodnota 400 bola získaná testovaním a porovnaním výsledných masiek.

$$q = \log_{10} y \quad (5.1)$$

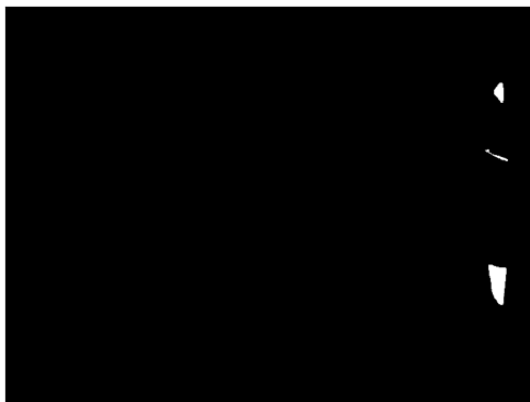
$$y/10^{q-2} \ \& \ x/10^{q-2} \quad (5.2)$$

5.2 Segmentácia ruky

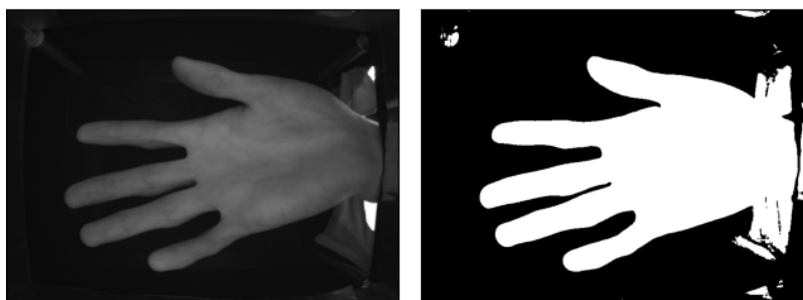
V tejto sekcii sú zobrazené výsledky použitia metód z odseku 4.2 ako aj zdôvodnenie prečo sú niektoré z nich nevhodné. Všetky príklady výsledku použitia jednotlivých metód sú aplikované na snímky z databázy CASIA. Najvhodnejšia z týchto skúmaných metód je detekcia kontúr, ktorá bola implementovaná do výsledného algoritmu.

Prahovanie

- **globálne prahovanie** - táto metóda nie je vhodná v našom prípade pretože intenzita svetla na časti ruky v snímkoch nie je totožná a tým vzniká veľký rozdiel medzi stredom dlane a koncami prstov. Pre aplikáciu tejto metódy sú použité dve funkcie a to `np.average()` z knižnice NumPy, pomocou ktorej sa získava hodnota T , ktorá je v tomto prípade priemer hodnôt všetkých pixlov snímky, narozdiel od použitia strednej hodnoty 127 je tento spôsob vhodnejší pre väčšiu škálu snímok a taktiež pri snímkoch nízkej vlnovej dĺžky je maximálna hodnota ruky často menej ako 127. V prípade použitia hodnoty 127 by to orezalo valnú väčšinu ruky ako je možné pozorovať na obr. 5.1. Druhou použitou funkciou je `cv.threshold`, ktorá je použitá pre aplikovanie prahovania na snímku, táto metóda je súčasťou knižnice OpenCV. Na obr. 5.2 je naľavo zobrazený pôvodný obrázok a napravo je výsledok po prahovaní s priemernou hodnotou, kde je vidieť veľa iných objektov po krajoch obrázka ako aj svetlo z otvoru, cez ktorý je vložená ruka.

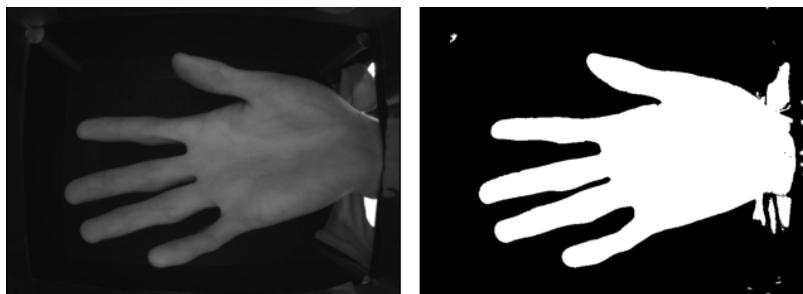


Obr. 5.1: Výsledok prahovania s hodnotou 127.



Obr. 5.2: Pôvodná snímka naľavo a výsledok po prahovaní s priemernou hodnotou napravo.

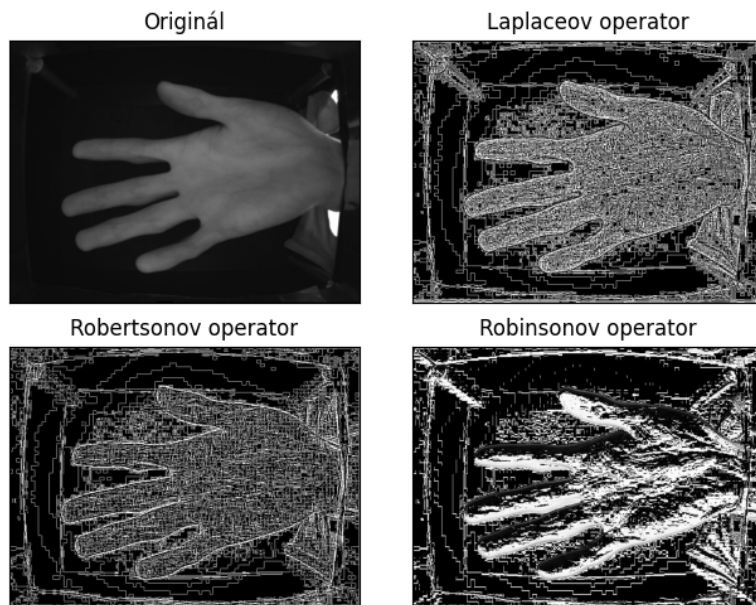
- **Otsuho binarizácia** - táto metóda je vhodnejšia ako predošlá, pretože množstvo artefaktov po okrajoch snímky a v oblasti zápästia výrazne klesol. Toto množstvo je stále priveľké a stále vyžaduje aplikáciu iných metód na ich odstránenie. Funkcia na realizáciu otsuho binarizácie je rovnaká ako pre predošlú metódu, cv. `threshold`, len v tomto prípade je spustená s argumentom cv. `THRESH_OTSU`. Výsledok je zobrazený na obrázku 5.3.



Obr. 5.3: Pôvodná snímka naľavo a výsledok po otsuho binarizácii napravo.

Detekcia hrán

Táto metóda sa dá aplikovať pomocou funkcie `ndimage.convolve()` z knižnice `SciPy`. Výsledok po aplikovaní Laplaceovho, Robertsonovho a Robinsonovho operátora je zobrazený na obr. 5.4. Jednotlivé výsledky nie sú vhodné pre použitie pre segmentáciu ruky pretože obsahujú veľa hrán zachytených z pozadia.



Obr. 5.4: Pôvodná snímka naľavo a výsledok po detekcii hrán s Laplaceovým operátorom napravo.

Detekcia kontúr

Detekcia kontúr sa dá aplikovať pomocou dvojice funkcií z knižnice `OpenCV`. Tieto funkcie sú `cv.findContours` a `cv.drawContours`, navyše sa dá druhej funkcií predať ako argument pre šírku kontúr `-1`, čím daná funkcia vyplní daný objekt, pokiaľ je uzatvorený. Pre získanie lepšieho výsledku sa najskôr na snímku aplikuje Otsuho binarizáciu spomenutú v kapitole 5.2. Ďalší krok je použitie funkcie `cv.findContours`, ktorá vráti zoznam oblastí a ten je zoradený podľa hodnoty `cv.contourArea` zostupne, tým je získaný zoznam kde na prvom mieste je oblasť s najväčšou plochou. Táto plocha je potom predaná ako argument do funkcie `cv.drawContours`, ktorá ako som už spomínal dostane číslo `-1` ako hodnotu argumentu `thickness`, tým čím výsledná oblasť je vyplnená, pokiaľ je uzavretá. Pri tomto môže vzniknúť problém keď ruka začína na hranici obrázku, tým pádom funkcia nepočíta takúto oblasť ako uzatvorenú a nevyplní ju. Riešením tohto problému je funkcia `blacken_edges`, ktorá vytvorí 1 pixel hrubý čierny rám okolo celého obrázku. Výsledok tohto procesu je zobrazený na obr. 5.5. Tento výsledok je najvhodnejší zo všetkých skúmaných metód, pretože orezanie ruky je spoľahlivé, po okrajoch snímky a v okolí ruky sa nenachádzajú žiadne samostatné artefakty. Jediný problém je v oblasti zápästia, tomu sa avšak nedá vyhnúť, pretože príčinou je svetlo prenikajúce z vonkajšku snímacieho zariadenia, ktoré je jeden z problémov databázy `CASIA`.



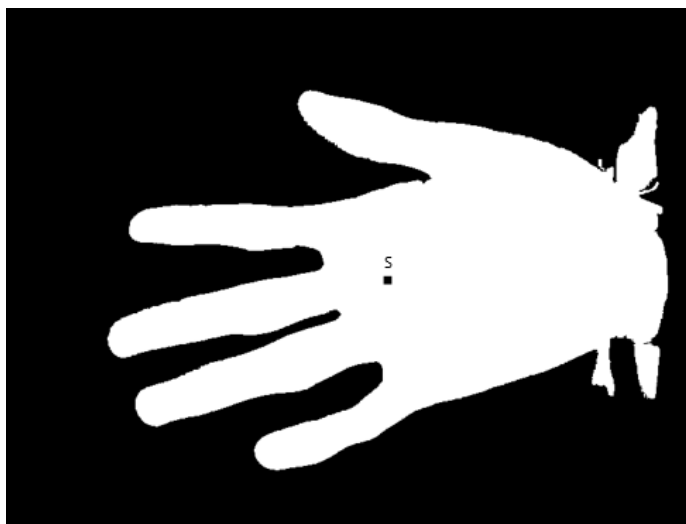
Obr. 5.5: Pôvodná snímka naľavo a výsledok po detekcii kontúr napravo.

5.3 Extrakcia dôležitých črt

Extrakcia dôležitých črt pozostáva z dvoch hlavných častí a to vytvorenie výrezu dlane a analýzy výrezu. Pred prvým krokom vytvorenia výrezu je znova použitá funkcia, ktorú som spomenul v odseku 5.1 a to `blacken_edges`, ktorá je použitá pre vytvorenie čierneho rámu okolo obrázka. Tento krok je dôležitý pretože v prípade, že sa nachádza biely pixel na hrane obrázku môže dojsť k chybe v nasledujúcich krokoch.

Vytvorenie výrezu dlane

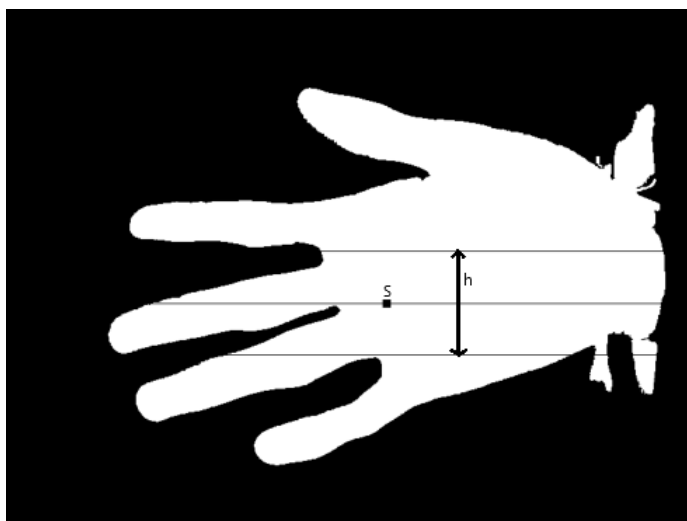
Vytváranie výrezu prebieha v rámci funkcie `get_palm_cuttout`, ktorá sa skladá z troch krokov. Prvým krokom je získanie prvotného stredy ruky, pre jeho výpočet je použitá funkcia `get_basic_middle`. Toto je jednoduchá funkcia, ktorá nájde extrémny ruky, teda nájde najvyššiu hodnotu na ose x a y pre obrázok obsahujúci masku získanú pomocou hľadania kontúr, ktoré bolo vysvetlené v odseku 5.2. Spriemerovaním maxima a minima pre jednotlivé osy sa získa prvotný stred. Pozícia tohto bodu je zobrazená na obr. 5.6.



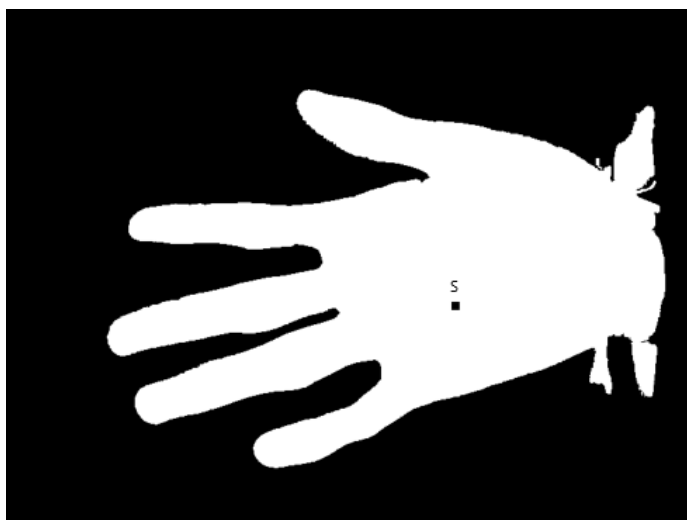
Obr. 5.6: Zobrazenie pozície prvotného stredy S na snímke ruky.

Druhý krok je úprava tohto prvotného stredy aby jeho poloha bola bližšie k skutočnému stredy dlane, pretože ako je možné pozorovať na už spomenutom obrázku sa momentálne nachádza v blízkosti začiatkov prstov a vertikálne je bližšie k palcu. Tento krok sa realizuje

prostredníctvom funkcie `adjust_middle`. V prvej časti tejto funkcie sa upraví vertikálna pozícia stredu tým, že sa získajú hodnoty najbližších hraníc dlane na ose y z pôvodného stredu. Po tejto časti nasleduje horizontálna úprava pozície stredu. Toto prebieha podobne ako úprava vertikálnej pozície, ale v tomto prípade sa nehľadá iba na priamke, ale prehladáva sa oblasť. Takéto prehladávanie je síce časovo náročnejšie, ale vďaka tomu dokáže správne upraviť stred aj v prípade, že by tento stred bol položený tak, že priamka rovnobežná s osou x s počiatkom v tomto bode by prechádzala veľkou časťou prstu predtým než by narazila na jeho hranicu. Takýto prípad a aj ilustrácia skúmanej oblasti je zobrazená na obr. 5.7. Výška oblasti, označená h je rovná $\frac{1}{5}$ veľkosti osy y , táto hodnota bola najvhodnejšia z testovaných hodnôt. Výsledok po horizontálnej úprave pozície stredu je zobrazený na obr. 5.8.



Obr. 5.7: Zobrazenie problematickej pozície vypočítaného stredu dlane a ilustrácia skúmanej plochy.



Obr. 5.8: Zobrazenie konečnej pozície stredu S na snímke ruky.

V treťom kroku sa získava výrez okolo stredu získaného z predošlých krokov. Toto sa deje v rámci funkcie `get_cuttout`, v ktorej sa nachádza cyklus, ktorý postupne zväčšuje štvorec až kým nenájde čierny pixel, teda hranicu ruky. Následne je vytvorená maska, ktorá obsahuje iba tento štvorec, ktorá je následne zlúčená s maskou ruky pomocou logickej operácie `AND`. Výsledný výrez, ktorý je vytvorený aplikovaním konečnej masky na snímku ruky je zobrazený na obr. 5.9.

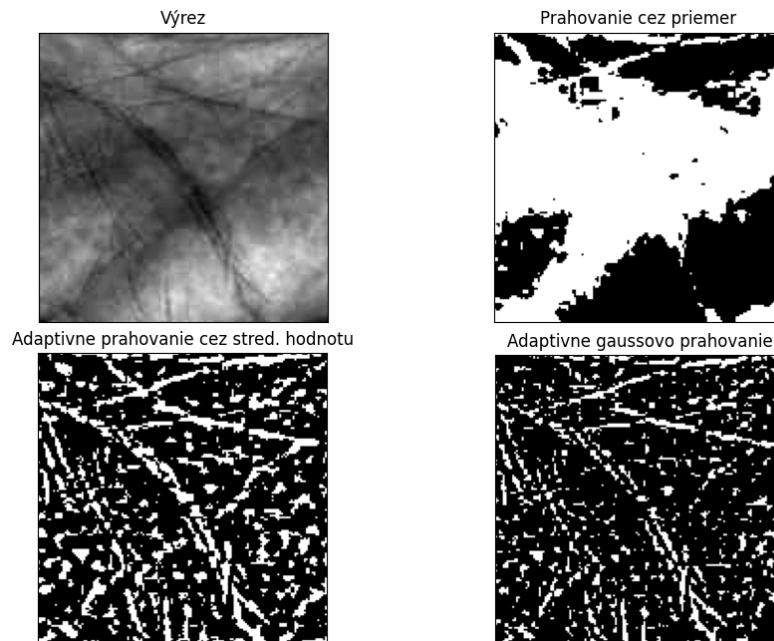


Obr. 5.9: Zobrazenie výrezu dlane.

Analýza výrezu

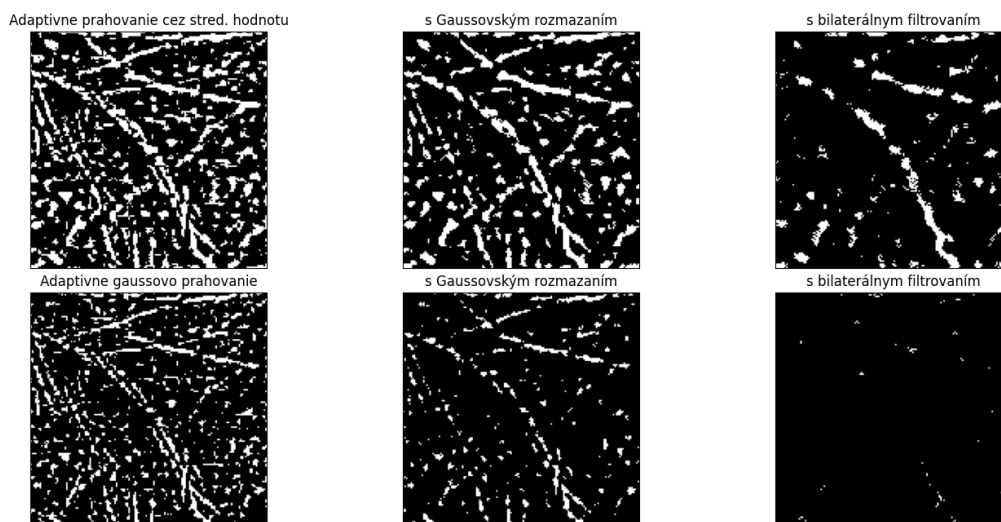
Pre analýzu výrezu boli vyskúšané metódy prahovania spomenuté v kapitole 4.3. V tomto prípade bolo použité inverzné prahovanie, čiže hodnoty pod hranicou sú zmenené na 1 a hodnoty nad sú zmenené na 0, pretože v tomto kroku je potrebné zvýrazniť črty namiesto zvyšku obrázku. Tieto črty sú v prípade nízkej vlnovej dĺžky čiary na povrchu ruky a v snímku s vysokou vlnovou dĺžkou ide o žily. Obidva tieto črty majú nižšiu hodnotu ako pokožka, preto bolo potrebné použiť inverzné prahovanie, ktoré sa dá jednoducho aplikovať predaním argumentu `cv.THRESH_BINARY_INV` funkcií prahovania z knižnice `OpenCV`. Medzi otestované metódy pre extrakciu črt patrí aj globálne prahovanie s priemerom, ale ako už bolo spomenuté v 5.2, táto metóda je veľmi nepraktická a ako je možné pozorovať na obr. 5.10, výsledok nie možné použiť pre porovnanie. Zvyšné dve metódy adaptívneho prahovania ponúkajú lepší výsledok, tieto metódy sú:

- **adaptívne prahovanie** - je vhodnejšia metóda než globálne prahovanie, ale stále nie je výsledok vhodný, kvôli veľkému množstvu zachyteného šumu, ktorý značne znehodnocuje konečné porovnanie. Pre aplikovanie tohto prahovania bola použitá funkcia `cv.adaptiveThreshold` s argumentom `cv.ADAPTIVE_THRESH_MEAN_C`.
- **adaptívne gaussovské prahovanie** - je taktiež vhodnejšia metóda než globálne prahovanie, rovnako ako predošlá metóda, ale stále nie je výsledok vhodný, kvôli veľkému množstvu zachyteného šumu. Pre aplikovanie tohto prahovania bola použitá rovnaká funkcia `cv.adaptiveThreshold` s argumentom `cv.ADAPTIVE_THRESH_GAUSSIAN_C`.



Obr. 5.10: Výrez a prahovanie cez priemer na prvom riadku, na druhom riadku je adaptívne prahovanie cez stredovú hodnotu a adaptívne gaussovské prahovanie.

Ako je možné pozorovať v obr. 5.10 ani jedna z metód prahovania nevytvorí výsledok bez veľkého množstva šumu, z tohoto dôvodu je treba tieto prahovania kombinovať s jednou z metód odstránenia šumu z odseku 4.1. Otestované boli hlavne dve metódy, pretože spriemerovanie nie je dostatočne presné a spôsobilo by priveľké skreslenie výsledku. Mediánové rozmazanie nebolo taktiež použité, pretože nie je vhodné pre túto situáciu. Prvou otestovanou metódou odstránenia šumu je gaussovské rozmazanie. Táto metóda sa dá na snímku aplikovať pomocou funkcie `cv.GaussianBlur`. Druhou je bilaterálne filtrovanie. Pre túto metódu bola použitá funkcia `cv.bilateralFilter`. Výsledok bez použitia filtrovania a s použitím jednotlivých filtrov je zobrazený na obr. 5.11. Z tohto sa dá vyvodiť, že gaussovské rozmazanie odstráni iba časť šumu, to ale stále nevytvára dostatočne čistý výsledok. Na rozdiel od toho, bilaterálne filtrovanie odstráni skoro všetok šum, čím výsledok obsahuje iba zvýraznené čiary na pokožke alebo žili, iba s malým množstvom šumu. Ďalej pri porovnaní jednotlivých metód prahovania je jednoznačné, že použitie adaptívneho prahovania so stredovou hodnotou je najvhodnejšie, pretože pri použití gaussovského prahovania je výsledok skoro prázdny.



Obr. 5.11: Na prvom riadku je adaptívne prahovanie cez stredovú hodnotu a jeho kombinácie s Gaussovským rozmazaním, a bilaterálnym filtrovaním, a na druhom riadku je adaptívne gaussovské prahovanie, a jeho kombinácie s rovnakými filterami ako predošlé prahovanie.

5.4 Rozhodnutie z výsledku porovnania

Pre porovnanie bolo treba zvoliť hodnotu z výsledku extrakcie dôležitých črt, pomocou ktorej by sa dali jednotlivé snímky porovnať. Hodnota, ktorú som zvolil je pomer zvýraznených črt k celému obrázku, čiže podiel bielych pixlov s celkovým počtom pixlov. Použitie pomeru namiesto iba počtu bielych pixlov je potrebné, pretože v prípade, keď sa vytvára maska zvlášť pre každý snímok, tak nie je zaručená rovnaká veľkosť výrezov a tým by sa celkový výsledok znehodnotil.

Pre porovnanie boli použité snímky troch rôznych vlnových dĺžok a to 460 nm alebo 525 nm , 630 nm , a 940 nm alebo 850 nm ak nebola k dispozícii snímka s takou vlnovou dĺžkou. Dĺžka 460 nm bola zvolená, pretože spadá do ultrafialového svetla, čiže je pod ním najviac výrazný povrch pokožky a tým aj všetky čiary na ňom. Pri tejto vlnovej dĺžke nastal problém u všetkých databáz okrem CASIA, ako je možné pozorovať v tabuľke 5.1. Tento problém nastal, kvôli tomu že rozdiel intenzity medzi črtami a zvyškom ruky je tak malý, že ho zvolené prahovanie nedeteguje. Z tohoto dôvodu bola pre tieto databázy použitá vlnová dĺžka 525 nm . Dĺžka 940 nm , prípadne 850 nm , bola zvolená, pretože spadá do infračerveného svetla, tým preniká do najhlbších vrstiev kože. Vďaka tomu sú viditeľné žily a povrch pokožky je skoro neviditeľný. Medzi týmito dvoma dĺžkami je najvýraznejší rozdiel vo výsledku extrakcie črt. S týmito dvomi boli porovnané aj snímky získané pri svetle o vlnovej dĺžke 630 nm , teda pri červenom svetle, čo je približne v strede medzi ultrafialovým a infračerveným svetlom. Priemerné hodnoty získané zo snímkov jednotlivých vlnových dĺžok sú zobrazené v tabuľke 5.1. Z tabuľky sa dá taktiež vyvodiť, že pre skutočné ruky má najväčšiu hodnotu výsledok pri ultrafialovom svetle a s klesajúcou vlnovou dĺžkou svetla klesá aj množstvo črt v snímkach.

Databáza	Priemerná hodnota výsledku						
	460 nm	525 nm	580 nm	630 nm	700 nm	850 nm	940 nm
CASIA	0.097	X	X	0.027	0.02	0.014	0.006
Hlavačka	0.018	0.105	0.08	0.005	X	0.008	X
Kontrolná	0.02	0.118	0.08	0.022	X	0.013	X
Falzifikáty	0.0428	0.116	0.116	0.092	X	0.0461	X

Tabuľka 5.1: Tabuľka priemerných hodnôt výsledkov z analýzy snímok jednotlivých vlnových dĺžok.

Pre zistenie či ide o falzifikát alebo nie boli otestované tri vlastnosti. Prvou vlastnosťou je nerovnosť medzi výsledkami jednotlivých snímok. Táto vychádza z postupného znižovania hodnoty výsledku s nižšou vlnovou dĺžkou. Presnejšie ide o tri základné vzťahy a ich kombinácie zobrazené na 5.3, kde UV je výsledok pre snímok pri ultrafialovom svetle, Z je pri červenom svetle a IR je pri infračervenom svetle. Všetky štyri databázy boli otestované s týmito predpokladmi a percentuálne množstvo vzoriek, ktoré jednotlivé predpoklady nespĺnili je zobrazený v tabuľke 5.2. Z týchto výsledkov je možné vybrať jedno, ktoré je možné použiť pre testovanie falzifikátov a to $UV > Z \wedge UV > IR$, ktoré už zahŕňa prvé dva vzťahy, ktoré je taktiež možné použiť pre porovnanie. Pri použití tohto pravidla dochádza k chybnému zamietnutiu iba v prípade 2 snímok z databázy CASIA. Z databázy falzifikátov je avšak zistený falzifikát iba v 7.7% prípadov, čo nie je dostatočné množstvo aby sa tento spôsob dal označiť ako funkčný.

$$\begin{aligned}
 & UV > Z \\
 & UV > IR \\
 & Z > IR \\
 & UV > Z \wedge UV > IR \\
 & UV > Z \wedge Z > IR
 \end{aligned} \tag{5.3}$$

Databáza	Množstvo vzoriek, ktoré nespĺňajú nerovnosť (%)				
	$UV > Z$	$UV > IR$	$Z > IR$	$UV > Z \wedge UV > IR$	$UV > Z \wedge Z > IR$
CASIA	0	0.2	13	0.2	13.1
Hlavačka	0	0	29.5	0	34.6
Kontrolná	0	0	5.9	0	5.9
Falzifikáty	1.9	5.8	19.2	7.7	21.1

Tabuľka 5.2: Tabuľka percentuálneho množstva vzoriek z jednotlivých databáz, ktoré nespĺnili jednotlivé nerovnosti.

Druhý spôsob porovnania vychádza z analýzy extrémov výsledkov jednotlivých databáz. Maximálne a minimálne hodnoty pre jednotlivé vlnové dĺžky sú zobrazené v tabuľke 5.3. Z týchto hodnôt sa dajú vyvodiť tri hranice, ktoré boli ešte testovaním posunuté. Tieto hranice sú horné hranice pri červenom a infračervenom svetle s hodnotou 0.1 pri červenom svetle a 0.07 pri infračervenom. Pri ultrafialovom svetle to je dolná hranica o hodnote 0.015. Výsledok testovania falzifikátov je zobrazený v tabuľke 5.4. Pri použití všetkých troch hraníc je algoritmus schopný detegovať 53.8% falzifikátov. Množstvo chybné zamietnutých snímok je 1 z kontrolnej databázy, žiadna z databázy Hlavačka a 13 z CASIA. Tieto chybné zamietnutia sú iba v prípade približne 1% všetkých snímok živých rúk, čo nespôsobuje

žiadny problém. Tieto výsledky nie sú dostačujúce, ale v kombinácií s inými spôsobmi sa dá dosiahnuť lepších výsledkov.

Databáza	Extrémy hodnôt výsledku					
	460 nm a 525 nm		630 nm		850 nm a 940 nm	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
CASIA	0.02	0.231	0.005	0.118	0.001	0.093
Hlavačka	0.06	0.228	0	0.006	0	0.003
Kontrolná	0.001	0.2	0.004	0.063	0	0.076
Falzifikáty	0.004	0.416	0	0.272	0	0.156

Tabuľka 5.3: Tabuľka extrémov hodnôt výsledkov z analýzy snímok jednotlivých vlnových dĺžok.

Množstvo zachytených falzifikátov (%)			
$Z > 0.1$	$IR > 0.07$	$UV < 0.015$	Celkom
34.6	40.4	5.8	53.8

Tabuľka 5.4: Tabuľka výsledku testovania hraníc získaných z analýzy extrémov výsledku.

Tretí spôsob je porovnávať nie výsledky samotné pomery medzi nimi. Presnejšie sa jedná o extrém týchto troch vzťahov 5.4. Výsledok tejto analýzy je zobrazený v tabuľke 5.5. Z týchto výsledkov je možné vytvoriť pravidlá, podľa ktorých by mohlo byť možné detegovať falzifikáty. Zo získaných miním je možné stanoviť hranicu pre každý pomer, pretože výsledky u falzifikátov jasne dosahujú nižších hodnôt ako u skutočných rúk. U maxím to avšak nie je možné, pretože vždy existuje aspoň jedna databáza, ktorá dosahuje vyššie hodnoty ako boli zistené u falzifikátov. Tieto hranice, boli ešte testovaním zvýšené aby detegovali viacej falzifikátov aj za cenu chybnnej detekcie. Hranice, ktoré boli následne otestované so všetkými snímkami falzifikátov sú zhrnuté v týchto troch nerovnostiach 5.5. Pokiaľ namerané hodnoty zo skúmanej vzorky spĺňajú aspoň jeden z týchto vzťahov tak sa jedná o falzifikát. Výsledky z testovania týchto pravidiel na falzifikátoch sú zobrazené v tabuľke 5.6, kde Kombinácia znamená použitie s druhým spôsobom. Kombinácia s prvým spôsobom je zbytočná, pretože tieto hranice už pokrývajú funkčné pravidlá z prvého spôsobu porovnávania. Z testovania je zrejme, že tento spôsob sám o sebe nie je dostatočný, ale spoločne s predošlým algoritmom je možné dosiahnuť lepších výsledkov. Z tohto sa dá usúdiť, že najvhodnejšia metóda detekcie živosti je kombinácia tejto a predošlej metódy kde úspešnosť detekcie falzifikátov dosahuje 69.2 % a množstvo snímok, ktoré boli nesprávne zamietnuté je 3 z Kontrolnej databázy, 11 z databázy Hlavačka a 120 z CASIA, čo tvorí približne 10.3 % zo všetkých vzoriek. Toto množstvo ešte stále nie je dostatočné na to aby to spôsobilo problém v použití.

$$\frac{UV}{IR} \ \& \ \frac{UV}{Z} \ \& \ \frac{Z}{IR} \tag{5.4}$$

Databáza	Extrémy pomerov hodnôt výsledku					
	UV/IR		UV/Z		Z/IR	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
CASIA	0.82	150.3	1.2	10.52	0.376	17.8
Hlavačka	36.555	34512	22.56	52436	0.022	47.941
Kontrolná	1.203	2920.5	1.428	13.055	0.304	512.25
Falzifikáty	0.041	340.063	0.989	117.914	0.004	21.023

Tabuľka 5.5: Tabuľka extrémov pomerov hodnôt výsledkov z analýzy snímok medzi jednotlivými vlnovými dĺžkami.

$$\begin{aligned}
\frac{UV}{IR} &< 1 \\
\frac{UV}{Z} &< 1.9 \\
\frac{Z}{IR} &< 0.2
\end{aligned}
\tag{5.5}$$

Množstvo zachytených falzifikátov (%)				
UV/IR < 1	UV/Z < 1.9	Z/IR < 0.2	Celkom	Kombinácia
5.8	38.5	3.8	44.2	69.2

Tabuľka 5.6: Tabuľka výsledku testovania pravidiel získaných z analýzy pomerov výsledkov a ich kombinácia s druhým spôsobom detekcie.

5.5 Zhodnotenie algoritmu

Vlnové dĺžky skúmaných snímok boli zvolené na základe teoretických znalostí o vlastnostiach kože a prenikania svetla do nej, a po viacerých testoch je možné tento výber hodnotiť ako vhodný. Výhodou tohto algoritmu je veľká škála použitia, pretože dokáže pracovať s rôznymi typmi snímok. V rámci farebnej schémy je schopný spracovať šedo-tónové, RGB a RGBA snímky. Výber algoritmu pre segmentáciu ruky zo snímok bol založený na testovaní viacerých postupov, z ktorých bol zvolený ten najvhodnejší. Tento spôsob segmentácie je schopný správne oddeliť ruku od pozadia skoro vo všetkých skúmaných vzorkách, jediný problém nastal pri troch snímkach z databázy CASIA, ale toto množstvo je zanedbateľné a nemá vplyv na konečný výsledok. Pre ďalšie zhodnotenie existujú dva parametre chybovosti a to chybné prijatie, a chybné zamietnutie. Pri použití pravidiel, ktoré boli navrhnuté v odseku 5.3 dochádza k chybnému zamietnutiu iba pri 10.3% testovaných vzoriek. Narozdiel k chybnému prijatiu dochádza pomerne často a to v 30.8% prípadov. Z tohoto dôvodu je výsledný algoritmus hodnotený ako funkčný s výhradami. V tomto ohľade treba zdôrazniť, že falzifikáty boli vyrobené za účelom obísť takýto systém, teda napodobujú chovania ľudskej ruky. K dosiahnutiu tohto výsledku boli skombinované informácie získane z troch rôznych databáz s odlišnými vlastnosťami ako je napr. typ kamery, zaostrenie a osvetlenie. Možné vylepšenie by pozostávalo z analýzy ďalších vlastností snímok, ktoré by boli vhodné pre rozšírenie samotného rozhodovania či sa jedná o falzifikát.

5.6 Použité knižnice

Python¹ je vysoko-úrovňový, interpretovaný, dynamicky typovaný skriptovací jazyk. Tento jazyk podporuje viaceré programovacie paradigmy a to štrukturované, objektovo-orientované a funkcionálne programovanie. Tento jazyk bol zvolený kvôli jeho širokému využitiu pre analýzu dát a veľké množstvo knižníc zameraných na analýzu a prácu s dátami obrázkov.

OpenCV² je open source knižnica zameraná na spracovanie obrázkov. Knižnica obsahuje veľkú škálu optimalizovaných funkcií pre počítačové videnie a strojové učenie. Táto knižnica je použitá v algoritme pre skoro všetky operácie prevádzané na obrázkoch, hlavne prahovanie a detekcia kontúr.

ImageHash³ je knižnica na hašovanie obrázkov v Pythone. Namiesto kryptografických hašovacích algoritmov kde malá zmena produkuje úplne odlišný výsledok slúži pre určenie či obrázky vyzerajú skoro rovnako.

NumPy⁴ je open source projekt zameraný pre numerické počítanie v Pythone. V algoritme sa používa pre prácu s 2D poliami.

Python Image Library⁵ ponúka funkcie pre spracovanie obrázkov, v algoritme je použitý pre prácu s funkciami z knižnice ImageHash.

SciPy⁶ je open source knižnica pre Python, ktorá je zameraná pre vedecké a technické počítanie. Táto knižnica bola použitá pre konvolúciu matíc.

¹<https://www.python.org/>

²<https://opencv.org/>

³<https://pypi.org/project/ImageHash/>

⁴<https://numpy.org/>

⁵<https://pillow.readthedocs.io/en/stable/>

⁶<https://scipy.org/>

Kapitola 6

Záver

Cieľom tejto práce bolo navrhnúť a implementovať algoritmus pre detekciu živosti zo snímok rúk osvietených svetlom rôznych vlnových dĺžok.

Pre dosiahnutie tohto cieľa bolo potrebné naštudovať informácie o ľudskej koži, jej vlastnosti a časti. Taktiež bolo potreba naštudovať správanie a pozorovateľné zmeny týchto častí pri vystavení ultrafialovému, viditeľnému a infračervenému svetlu. Na základe týchto informácií bolo zistené, že rôzne spektrá svetla prenikajú do odlišných hĺbok kože, čím sa mení aj snímaný povrch.

Z tohto zistenia bol navrhnutý algoritmus pre detekciu živosti, ktorý využíva viacero metód, ktoré sa používajú pri biometrii za účelom nájdania najvhodnejšieho spôsobu. Otestované metódy sa skladajú z prahovania, detekcie hrán a detekcie kontúr, ktoré sú ďalej rozšírené o metódy odstránenia šumu ako je gaussovské rozmazanie a bilaterálne filtrovanie.

Prvým cieľom bolo navrhnutie a implementovanie algoritmu pre oddelenie ruky od pozadia. Implementovaný algoritmus bol zložený z prahovania a následnej detekcie kontúr, vďaka ktorej bolo možné úspešne oddeliť ruku od pozadia.

Hlavným cieľom bolo zistenie kritických vlastností snímok falzifikátov ako aj skutočných rúk, podľa ktorých by bolo možné tieto dva rozlíšiť. Zo získaných informácií o prenikaní svetla do pokožky boli zvolené tri vlnové dĺžky, ktoré boli skúmané. Porovnanie týchto snímok pozostávalo z dvoch hlavných kritérií a to stanovením hornej hranice množstva črt na povrchu skúmanej ruky pri červenom a infračervenom svetle, pretože falzifikáty mali podstatne vyššie hodnoty. Druhé kritérium boli rozdiely medzi jednotlivými snímkami, kde falzifikáty dosahovali nižšie hodnoty ako skutočné ruky.

Skúmané databázy pozostávali z 1300 vzoriek skutočných rúk a 52 vzoriek falzifikátov. Výsledný algoritmus bol schopný detegovať 36 falzifikátov z 52 dostupných s iba 10.3% chybnou detekciou u skutočných rúk. Možným rozšírením tohto algoritmu je zistenie a analýza ďalších kritických vlastností snímok, ktoré by dokázali detegovať falzifikát.

Literatúra

- [1] ANTONELLI, A., CAPPELLI, R., MAIO, D. a MALTONI, D. Fake finger detection by skin distortion analysis. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*. 2006, zv. 1, č. 3, s. 360–373. DOI: 10.1109/TIFS.2006.879289.
- [2] ASH, C., DUBEC, M., DONNE, K. a BASHFORD, T. Effect of wavelength and beam width on penetration in light-tissue interaction using computational methods. *Lasers in Medical Science*. November 2017, zv. 32. DOI: 10.1007/s10103-017-2317-4.
- [3] BABU, A., PAUL, V. a BABY, D. E. An investigation of biometric liveness detection using various techniques. In: Sahrdaya College of Engineering & Technology. *2017 International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC)*. 2017, s. 2. DOI: 10.1109/ICISC.2017.8068745. ISBN 978-1-5090-4715-4.
- [4] CHMEL, I. L. a HAMERNÍK, I. I. *Fotovoltaika, fototermika* [online]. Střední průmyslová škola elektrotechnická a informačních technologií Brno, 2016 [cit. 2022-01-15]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/91/01.html>.
- [5] DRAHANSKY, M. Experiments with Skin Resistance and Temperature for Liveness Detection. In: *2008 International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing*. IEEE, 2008, s. 1075–1079. DOI: 10.1109/IIH-MSP.2008.219. ISBN 978-0-7695-3278-3.
- [6] DRAHANSKY, M. *Advanced Biometric Technologies*. intechopen, 2011 [cit. 2021-12-27]. Dostupné z: <https://www.intechopen.com/chapters/17746>.
- [7] DRAHANSKÝ, M. *Biometrie*. 1. vyd. Brno: M. Dražanský], 2011. ISBN 978-80-254-8979-6.
- [8] EBLING, F. J. G. a MONTAGNA, W. *Human skin* [online]. Britannica, 2021 [cit. 2022-01-19]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/human-skin>.
- [9] ENCYCLOPAEDIA, T. E. of. *Infrared radiation* [online]. Britannica, 2020 [cit. 2022-01-18]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/infrared-radiation>.
- [10] ENCYCLOPAEDIA, T. E. of. *Ultraviolet radiation* [online]. Britannica, 2021 [cit. 2022-01-15]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/ultraviolet-radiation>.
- [11] FISHER, R., PERKINS, S., WALKER, A. a WOLFART, E. *Gaussian Smoothing* [online]. 2003 [cit. 2022-03-18]. Dostupné z: <https://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/gsmooth.htm>.

- [12] HLAVAČKA, M. *Bezkontaktní zařízení pro multispektrální snímání rukou*. Brno, CZ, 2021. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Dostupné z: <https://www.fit.vut.cz/study/thesis/23461/>.
- [13] JAIN, A. K., FLYNN, P. a ROSS, A. A. *Handbook of Biometrics*. 1. vyd. Springer, Boston, MA, 2008. ISBN 978-0-387-71041-9.
- [14] MAINDOLA, G. *4 Image Segmentation Techniques in OpenCV Python* [online]. [cit. 2022-02-10]. Dostupné z: <https://machinelearningknowledge.ai/image-segmentation-in-python-opencv/>.
- [15] OPENCV. *Contours : Getting Started* [online]. OpenCV, 2022 [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: https://docs.opencv.org/3.4/d4/d73/tutorial_py_contours_begin.html.
- [16] OPENCV. *Image Thresholding* [online]. OpenCV, 2022 [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: https://docs.opencv.org/4.x/d7/d4d/tutorial_py_thresholding.html.
- [17] OPENCV. *Smoothing Images* [online]. OpenCV, 2022 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: https://docs.opencv.org/4.x/d4/d13/tutorial_py_filtering.html.
- [18] PROFESSIONAL, C. C. medical. *Hypodermis (Subcutaneous Tissue)* [online]. Cleveland Clinic, 2021 [cit. 2022-01-19]. Dostupné z: <https://my.clevelandclinic.org/health/body/21902-hypodermis-subcutaneous-tissue>.
- [19] RAMALHO, M., SINGH, S., CORREIA, P. L. a SOARES, L. D. Secure multi-spectral hand recognition system. In: *2011 19th European Signal Processing Conference*. 2011, s. 2269–2273. ISBN 978-1-7281-6232-4.
- [20] STARK, G. *Light* [online]. Britannica, 2021 [cit. 2022-01-15]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/light>.
- [21] TEAM, L. professional. *Measuring the Oxygen Content of Blood with LEDs* [online]. LED professional, 2019 [cit. 2022-01-10]. Dostupné z: <https://www.led-professional.com/products/featured/measuring-the-oxygen-content-of-blood-with-leds>.
- [22] TUSSY, K. A., WOJEWIDKA, J. a ROSE, J. *Biometric Liveness Detection Explained* [online]. Liveness.com, 2021 [cit. 2021-11-02]. Dostupné z: <https://liveness.com/>.