



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ

DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

EXTRAKCE OBLIČEJE ZAKRYTÉHO MASKOU

EXTRACTION OF FACE COVERED BY A MASK

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

DOMINIK KRIŽKA

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Prof. Ing., Dipl.-Ing. MARTIN DRAHANSKÝ, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce



22085

Student: **Křižka Dominik**
Program: Informační technologie
Název: **Extrakce obličeje zakrytého maskou**
Extraction of Face Covered by a Mask
Kategorie: Umělá inteligence
Zadání:

1. Prostudujte literaturu týkající se použití infračerveného osvětlení, ultrazvuku a THz vln pro nasnímání zakrytých předmětů, zejména lidského obličeje.
2. Navrhněte metody snímání zakrytého (maskovaného) obličeje, zejména za využití infračerveného osvětlení a THz vln.
3. Nasnímejte menší databázi obličejů osvětlených infračerveným osvětlením a THz vlnami - tedy obličeje zakryté různými maskami, nezakryté a ve viditelném světle.
4. Navrhněte a implementujte algoritmický postup pro zvýraznění a extrakci obličeje u nasnímaných obrázků z databáze. Za využití porovnávacího algoritmu (např. Neurotechnology) srovnajte tyto extrahované obličeje s klasickými fotkami obličeje daných osob.
5. Dosažené výsledky shrňte a diskutujte možná rozšíření.

Literatura:

- Cocker T.L. et al. *Terahertz Imaging with Ultimate Resolution*. In: Progress in Electromagnetic Research Symposium (PIERS). IEEE, 2016. pp. 3339-3339.
- Eaton S.L. et al. *Quantitative Imaging of Tissue Sections using Infrared Scanning Technology*. Journal of Anatomy, 2016, 228.1: 203-213.
- Li S.Z., Jain A.K. *Handbook of Face Recognition*. 2nd Edition, Springer, p. 698, ISBN 978-0-85729-931-4.

Podrobné závazné pokyny pro vypracování práce viz <http://www.fit.vutbr.cz/info/szz/>

Vedoucí práce: **Drahanský Martin, prof. Ing., Dipl.-Ing., Ph.D.**
Vedoucí ústavu: Hanáček Petr, doc. Dr. Ing.
Datum zadání: 1. listopadu 2018
Datum odevzdání: 15. května 2019
Datum schválení: 1. listopadu 2018

Abstrakt

Bakalárska práca sa zaoberá viacerými spôsobmi na extrakciu maskovanej tváre za pomoci terahertzového a infračerveného žiarenia.

Pre vyriešenie problému bola vytvorená špeciálna databáza fotografií dvanástich ľudí podľa pripravených požiadaviek. Na nich prebiehala analýza pomocou troch prístupov. Prvý využíva ORB a SIFT deskriptory na identifikáciu tváre. Deskriptorom sa nepodarilo úspešne extrahovať maskovanú tvár. Druhý je prediktor zameraný na hľadanie orientačných bodov tváre. Pri nemaskovanej tvári dokáže vyznačiť kontúry tváre pomerne dobre, ale čím viac je tvár maskovaná, tým je vyznačenie orientačných bodov tváre nepresnejšie. Posledný prístup kóduje tváre do číselnej podoby a porovná ich medzi sebou. Úspešnosť výsledkov závisí hlavne od kvality modelu, ktorý bol vytrénovaný na princípe neurónových sietí.

Prínosom tejto bakalárskej práce spočíva vo vykonaných experimentoch. V nich sa ukázalo, že za určitých podmienok môže využitie IR žiarenia s technikou porovnania kódovaných tvárí pomôcť k odhaleniu tváre maskovanej pomocou šatky alebo kukly.

Abstract

The bachelor thesis focuses on numerous techniques of extraction of a face covered by a mask, with assistance of the terahertz and infrared radiation.

In order to resolve the issue, a database with photos of twelve people was created with various levels of face cover. The face extraction is then attempted with three techniques. First method uses ORB and SIFT descriptors on the face recognition. Descriptors were unable to successfully extract the masked face. The second technique utilizes a facial landmark predictor. During the recognition of an unmasked face, the predictor is able to correctly represent regions of the face. With increased levels of coverage on face, it gets progressively more difficult to find facial landmarks correctly and inaccuracies occur. The last approach encodes the faces to numeric format and compares them between each other. The success rate of the extraction depends primarily on the quality of the model, which was trained on the neural network principle.

The main contribution of the bachelor thesis, lies in the carried out experiments. In some cases of experiments, the identity of faces covered by scarf or balaclava were successfully revealed with usage of the infrared radiation and face encoding technique.

Klíčové slová

detekcia tváre, maskovanie tváre, terahertzové vlnenie, infračervené vlnenie, spracovanie obrazu

Keywords

face detection, face covering, terahertz radiation, infrared radiation, image processing

Citácia

KRIŽKA, Dominik. *Extrakce obličeje zakrytého maskou*. Brno, 2019. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Prof. Ing., Dipl.-Ing. Martin Drahanský, Ph.D.

Extrakce obličeje zakrytého maskou

Prehlásenie

Prehlasujem, že som túto bakalársku prácu vypracoval samostatne pod vedením pána Prof. Ing., Dipl.-Ing. Martina Drahanského, Ph.D.. Uviedol som všetky literárne pramene a publikácie, z ktorých som čerpal.

.....
Dominik Križka
7. mája 2019

Podakovanie

V prvom rade by som sa veľmi rád chcel poďakovať svojmu vedúcemu bakalárskej práce pánovi Prof. Ing., Dipl.-Ing. Martinovi Drahanskému, Ph.D. a pánovi kpt. Martinovi Spurnému za ich čas, ktorý mi venovali. Poďakovanie patrí aj pánovi Radekovi Zachovalovi zo spoločnosti Siemens, ktorý mi umožnil testovanie na kamere pracujúcej na THz vlnách. Ďalšou osobou, ktorej by som sa chcel poďakovať je pán Ing. Tomáš Goldmann, ktorý mi venoval svoj čas a ochotne sprístupnil IR osvetľovací modul, kde som mohol nasnímať databazu maskovaných tvárí. Na záver by som sa chcel poďakovať úplne všetkým, ktorí ma podporovali nielen pri písaní bakalárskej práce, ale dodávali mi energiu počas celého štúdia.

Obsah

1	Úvod	3
2	Teoretický úvod	5
2.1	Terahertzové vlnenie	5
2.1.1	Základné informácie	5
2.1.2	Popis testovacieho zariadenia	6
2.1.3	Alternatívne zariadenia	8
2.2	Infračervené vlnenie	9
2.2.1	Základné informácie	9
2.2.2	Popis testovacieho zariadenia	9
2.2.3	Alternatívne zariadenia	11
2.3	Ultrazvukové vlnenie	12
2.3.1	Základné informácie	12
2.3.2	Alternatívne zariadenia	13
2.4	Existujúce riešenia extrakcie tváre	14
2.4.1	Disguised Face Identification (DFI)	14
3	Návrh	16
3.1	Extrakcia tváre pomocou všeobecných deskriptorov	16
3.1.1	Detekcia tváre – Haar cascade detektor	16
3.1.2	Definícia deskriptorov	18
3.1.3	Deskriptory na princípe Histogramu orientovaných gradientov (HOG)	18
3.1.4	Základný princíp SIFT deskriptora	18
3.1.5	Popis binárnych deskriptorov	19
3.1.6	Základný princíp ORB binárneho deskriptora	19
3.1.7	Implementácia všeobecných deskriptorov	21
3.2	Extrakcia tváre pomocou vycvičeného prediktora na získanie orientačných bodov tváre	21
3.2.1	Detekcia tváre – Hog detektor	22
3.2.2	Informácie o prediktore na získanie orientačných bodov tváre	22
3.2.3	Princíp prediktora na získanie orientačných bodov tváre	22
3.2.4	Implementácia prediktora na získanie orientačných bodov tváre	23
3.3	Extrakcia tváre pomocou kódovania tváre z obrázku	24
3.3.1	Detekcia tváre	25
3.3.2	Úvod do kódovania tváre z obrázku	25
3.3.3	Tréningový proces modelu kódovania tváre z obrázku	25
3.3.4	Popis kódovania tváre z obrázku	26
3.3.5	Implementácia kódovania tváre z obrázku	27

3.4	Vytvorenie vlastnej databázy snímok pomocou IR osvetľovacieho modulu . . .	28
4	Experimenty	30
4.1	Terahertzové vlnenie	30
4.1.1	Základné informácie o priebehu experimentov	30
4.1.2	Kontrolný experiment	31
4.1.3	Maskovanie pomocou šiltovky a slnečných okuliarov	32
4.1.4	Maskovanie pomocou šiltovky, šatky cez tvár a kapucne	33
4.1.5	Maskovanie pomocou šiltovky, slnečných okuliarov a kapucne	33
4.1.6	Maskovanie pomocou slnečných okuliarov a kapucne	34
4.1.7	Identifikácia tváre pomocou nasnímaného materiálu	34
4.1.8	Zhrnutie experimentov s použitím THZ vlnenia	35
4.2	IR osvetľovací modul	36
4.2.1	Základné informácie o priebehu experimentov	36
4.2.2	Maskovanie pomocou kukly	37
4.2.3	Maskovanie pomocou šatky na tvár	41
4.2.4	Maskovanie pomocou šatky na tvár a slnečných okuliarov	43
4.2.5	Maskovanie pomocou šatky na tvár, slnečných okuliarov, šiltovky a kapucne	45
4.2.6	Zhrnutie experimentov s použitím IR osvetľovacieho modulu	46
5	Záver	48
	Literatúra	50
A	Obrázky z experimentov	53
B	Tabuľky porovnania tvárí	62
C	Obsah CD	75

Kapitola 1

Úvod

V dnešnej dobe počúvame o zvyšujúcej sa kriminalite na každom rohu z rôznych zdrojov. Napríklad z televízie, časopisov, internetu, od priateľov... Kriminalita sa vyskytuje v rôznych formách od vražd až po krádeže. Kriminálnici sú čoraz prefikanejší a investujú množstvo svojho úsilia a energie na to, aby vymysleli taký plán, ktorý im zabezpečí úspešnú protizákonnú akciu, pri ktorej splnia svoj cieľ a polícia ich nevypátra. Rýchlosť akou sa dostávajú moderné technológie do našich životov je enormná. Všetky moderné technológie musia mať aj kvalitné zabezpečenie. Nie vždy sa to však podarí. Túto skutočnosť si všimli aj lupiči, ktorý sa snažia vyťažiť maximum aj z týchto bezpečnostných dier.

Táto bakalárska práca bude zameraná na zlodějov bankomatov. Bankomaty sú taktiež obľúbené miesta kriminálnikov, pretože sú pomerne jednoducho dostupné a nestojí pri nich 24 hodín denne ochrankár, ktorý by mal bankomaty neustále pod dohľadom. Väčšinou sú bankomaty chránené kamerovým systémom. To však nie je dostatočná ochrana, pretože ak príde k bankomatu maskovaný zločinec, napríklad v šiltovke a okuliároch počas leta, keď vonku svieti slnko, tak sa to považuje za normálne oblečenie a páchatel ešte nevzbudzuje podozrenie. Zatiaľ môže nejakým nenápadným spôsobom dostať do bankomatu napríklad nejaké čítacie zariadenie. Pokiaľ sa mu to podarí, tak identifikácia tohto páchatela pomocou kamery na bankomate bude náročná. V inom prípade môžu ísť maskovaní lupiči priamo po peniazoch. V minulosti boli zaznamenané krádeže bankomatov pomocou propánbutánu a kyslíka. Tieto plyny páchatelia priviezli k bankomatu a pomocou hadíc pustili plyn priamo do bankomatu. Po následnom výbuchu si lupiči prišli na obrovský balík peňazí. Zachovali sa kamerové záznamy, ale z nich nebolo možné lupičov identifikovať, pretože boli dokonale zamaskovaný.

Cieľom tejto bakalárskej práce bude odhaliť páchatelovú tvár, ktorú má zakrytú maskovaním. Podľa informácii Polície ČR patrí k najčastejším maskovaniam pri tejto trestnej činnosti práve rôzne kombinácie bežne dostupných predmetov. Napríklad šiltovka, kapucňa, okuliare, šatka cez tvár a kukla. Na odhalenie tváre pod maskovaním sa bude využívať terahertzové vlnenie a infračervené vlnenie. V praxi sa žiadne so spomínaných žiarení na ochranu bankomatov nevyužíva. Z toho dôvodu sa táto bakalárska práca bude snažiť o čisto experimentálne metódy, ktoré by mohli v budúcnosti pomôcť odradiť kriminálnikov od tohto druhu zločinu a zároveň lepšie ochrániť financie, aby sa nedostali do cudzích rúk. Pod pojmom odhaliť páchatelovú tvár sa myslí nájsť spôsob, pri ktorom by sa za pomoci spomínaných žiarení porovnala maskovaná tvár páchatela s databázou nemaskovaných tvári a následne by bola na základe výsledkov porovnania určená práve hľadaná tvár páchatela pod maskou.

Bakalárska práca sa v kapitole teoretického úvodu **2** zaoberá podrobným vysvetlením pojmov terahertzové, infračervené a ultrazvukové vlnenie. Popisujú sa tu zariadenia, za pomoci ktorých bola vytvorená databáza fotografií dvanástich ľudí podľa dopredu pripravených scenárov. Táto databáza sa následne využíva pri samotných experimentoch. Spomínajú sa tu aj alternatívne zariadenia, ktoré neboli v tejto práci testované, ale boli by zaujímavé ich vyskúšať. V kapitole návrh **3** tu je rozpísaný môj pohľad na danú problematiku. Nachádzajú sa tu moje myšlienkové pochody ako som uvažoval pri návrhu riešenia problému aj spôsoby, ktorými som sa danú problematiku snažil riešiť. Spomenutá je tu aj samotná implementácia jednotlivých spôsobov riešenia. Následne sú spôsoby riešenia otestované na vlastnej databáze fotografií. Každá technika odhalenia maskovanej tváre v kombinácii s konkrétnym maskovaním má svoje špecifiká, ktoré sú všetky podrobnejšie popísané v kapitole experimenty **4**. V poslednej kapitole záver **5** sú zhrnuté najdôležitejšie poznatky z celej bakalárskej práce a rýchle a prehľadné zhodnotenie výsledkov.

Kapitola 2

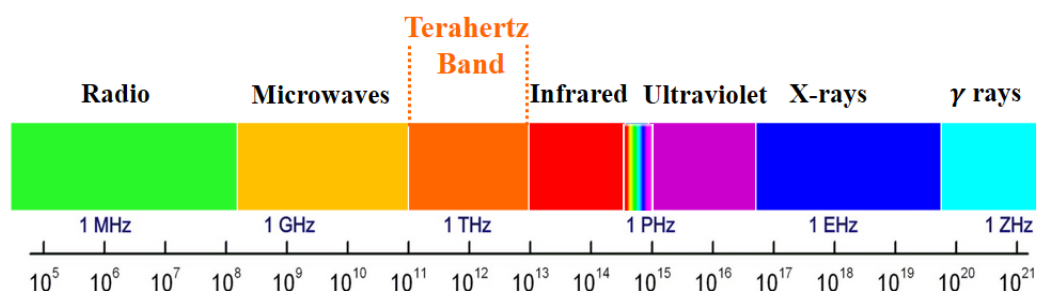
Teoretický úvod

2.1 Terahertzové vlnenie

2.1.1 Základné informácie

Termín terahertzové vlnenie sa začal spomínať v polovici 70. rokov 20. storočia. V nasledujúcich rokoch vykonávali vedci a výskumníci rôzne experimenty na zistenie ako toto vlnenie vlastne funguje, akým spôsobom by sa s ním dalo pracovať a aké možnosti jeho využitia by mohlo mať v budúcnosti. V roku 1989 Martin van Exter predstavil terahertzovú časovo-spektrálnu spektroskopiu (THz-TDS). Tento objav opäť zvýšil záujem vedcov o výskumy v oblasti terahertzového žiarenia. Na tomto princípe sa začal jednoduchý výskum vrátane extrakcie materiálových parametrov. Následne Hu a Nuss v roku 1995 začali využívať zobrazovací systém na získanie dvojrozmerných obrazov, ktorý fungoval na princípe vytvorenia obrazu objektu v frekvenčnom rozsahu terahertzového vlnenia. Od tohto momentu sa využívanie terahertzového vlnenia v rôznych oblastiach pohybuje veľmi rýchlo dopredu.[34]

Terahertzové vlny, inak pomenované aj ako T-vlny alebo teravlny, sa v rozdelení podľa elektromagnetického spektra na obrázku 2.1 nachádzajú medzi mikrovlnným a infračerveným žiarením. Rozsah terahertzového vlnenia je v rozmedzí 100 GHz – 3 THz. Vlnová dĺžka pre terahertzové vlnenie je v rozmedzí 1 mm – 0,1 mm.[1]



Obr. 2.1: Terahertzové vlnenie v elektromagnetickom spektre¹.

Za terahertzové vlnenie sa ešte považuje aj vlnenie na hranici 100 GHz. Pri týchto hodnotách by mohli byť získané zaujímavé výsledky pri riešení identifikácie tváre pod maskou-

¹Prevzaté z <https://bwn.ece.gatech.edu/projects/teranets/fig/spectrum1.png>

vaním, ale v praxi sa tieto hodnoty veľmi často nevyužívajú. Dôvodom je veľká citlivosť na vonkajšie prostredie. Výsledky ovplyvňujú ľubovoľné osvetlenia vrátane slnečného žiarenia. Namerané hodnoty by nemuseli byť skreslené v miestnostiach bez vplyvu denného svetla. Najlepšia možnosť by bola takéto zariadenie otestovať v praxi.

Terahertzové vlny nie sú pre ľudský organizmus a ani pre životné prostredie škodlivé. To je obrovská motivácia prečo sa snažiť hľadať využitie práve v tomto terahertzovom vlnení. Pomocou terahertzového vlnenia by sa mohli získať podobné informácie ako napríklad pomocou škodlivého röntgenového žiarenia. Röntgenové žiarenie totiž patrí do skupiny ionizačného žiarenia, ktoré je zdraviu škodlivé pre ľudský organizmus. Našou úlohou by malo byť sa ho snažiť eliminovať a hľadať alternatívne riešenia, ktoré nie sú zdraviu škodlivé pre človeka.[4]

Terahertzové vlny ľahko prenikajú cez rôzne materiály ako napríklad látka, papier, drevo a umelá hmota. Pri terahertzovom vlnení sú obrovské možnosti jeho využitia. Podľa spôsobu využitia sa v zariadení prispôsobuje frekvencia a vlnová dĺžka. Terahertzové vlnenie má veľmi nízku energiu. Z toho dôvodu nie je veľmi jednoduché toto vlnenie detekovať. Na detekciu tohto vlnenia sú potrebné drahé detektory.[3]

2.1.2 Popis testovacieho zariadenia

Testovanie prebiehalo na špecializovanom zariadení zobrazenom na obrázku 2.2 pracujúcom na princípe terahertzových vĺn. Základné informácie o terahertzovom vlnení sú popísané v sekcii 2.1.1.



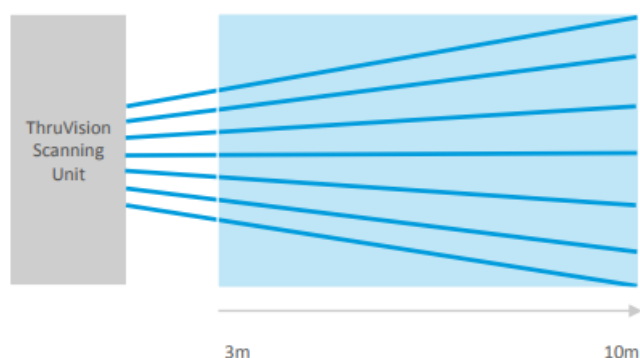
Obr. 2.2: Terahertzové zariadenie, na ktorom prebiehali experimenty.

Vďaka spoločnosti Siemens mi bolo poskytnuté na testovanie špecializované zariadenie na detekciu skrytých predmetov pracujúce na využívaní terahertzových vĺn. Snímacie zariadenie je pomerne veľké. Má tvar kvádra s rozmermi 65 cm × 55 cm × 20 cm a hmotnosť 24 kg. Na napájanie využíva štandardné napätie alebo je možné aj externé 24V Bauer napájanie. Podobne ako bolo spomenuté v sekcii 2.1.1 terahertzové vlnenie má veľmi nízku energiu

a kvôli tomu zariadenie potrebuje aj kvalitný detektor terahertzového vlnenia. Tieto drahé komponenty držia cenu tohto zariadenia v hodnote niekoľkých miliónov českých korún.

Zariadenie využíva technológiu pomenovanú ako ThruVision. Jedná sa o jednu z najvyspelejších pasívnych² technológií na detekciu skrytých predmetov pri kontrole ľudí. Vďaka výskumom a rôznym testovaniam sa ukázalo, že ideálne výsledky toto zariadenie dosahuje pri frekvencii 0,25 THz. Táto hodnota je pevne daná a nedá sa meniť. Pri tejto hodnote je vo výslednom zobrazení oblečenie transparentné a rôzne skryté predmety sú v kontraste, aby ich bolo možné odhaliť. Nevýhodou je, že táto frekvencia je nastavená za účelom zakrytia anatomických častí tela, aby nevznikali obavy o stratu osobných údajov.[10] Znižovaním frekvencie ku hodnote 0,1 THz by pri konečnom zobrazení zostalo transparentné oblečenie a začali by byť transparentné aj ostatné predmety. Táto skutočnosť by mohla mať pozitívny vplyv na riešenie problému detekcie tváre pod maskovaním. Na druhú stranu by aj svetlo z vonkajšieho prostredia začalo čoraz viac ovplyvňovať výsledky.

Zariadenie poskytuje veľkú hĺbku ostrosti a umožňuje ideálne zobrazenie vo vzdialenosti približne 3 metre až 10 metrov ako je zobrazené na obrázku 2.3. Táto vyššia vzdialenosť na detekciu skrytých predmetov je vytvorená zámerne, aby mohlo prejsť cez zariadenie viac ľudí zároveň a zároveň, aby mala ochranka viac času na zareagovanie v prípade, že by mal niekto pri sebe napr. zbraň.



Obr. 2.3: Ideálna vzdialenosť na detekciu skrytých predmetov³.

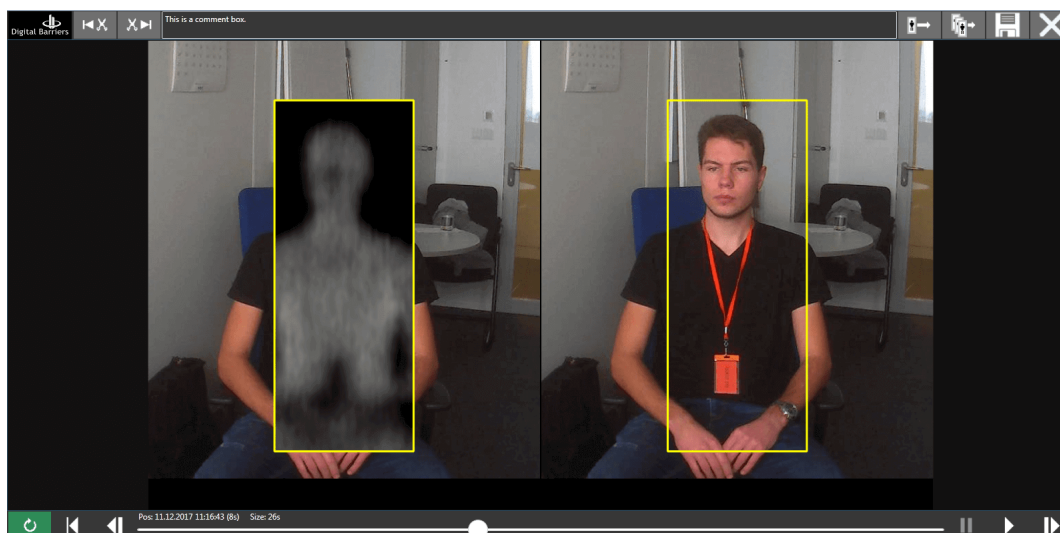
Predmety ako napríklad ľudské telo, zvieratá, rastliny, nerasty, plasty... Vyžarujú energiu v podobe THz. Táto vyžarovaná energia je priamoúmerná ich teplote. Preto je dôležité, aby teplota prostredia bola aspoň o 1°C väčšia alebo menšia ako hľadaný predmet. Na základe toho je možné osobu s predmetom detekovať v prostredí. Zariadenie si na základe senzorov automaticky určilo teplotné rozdiely na snímanej časti terahertzovými vlnami a podľa toho si upravovalo minimálnu a maximálnu teplotu, aby bolo rozloženie farieb skenovanej osoby na obrazovke ideálne na detekciu skrytých predmetov. Nastavenie teplotného rozsahu sa dá na zariadení nastaviť aj ručne. Tieto nastavenia teplotného rozsahu sa menili počas vyhotovovania snímok pomocou terahertzového žiarenia v snahe získať čo najlepšie výsledky.[7]

Na tomto zariadení sa dajú v reálnom čase sledovať osoby, ktoré môžu skrývať určité predmety. Zariadenie vytvára okrem aktuálnej situácie vytvára aj záznam alebo snímky.

²Detektor zachytáva energiu, ktorú vyžaruje ľudské telo, objekty a prostredie

³Prevzaté z http://www.stirlingglobal.com.au/wp-content/uploads/2016/03/SG_DB-ThruVision-Tech-FinalE.pdf

Na prezeranie je potrebný software ThruViewer, ktorý pracuje na Windowse. ThruViewer má užívateľské rozhranie vyobrazené na obrázku 2.4, ktoré zobrazuje zábery na pravej strane obrazovky z pohľadu obvyčajnej kamery pre lepšiu orientáciu, ktorý človek skrýva nejaký predmet a na ľavej strane obrazovky zábery z terahertzového detektora na detekciu skrytých predmetov.



Obr. 2.4: Ukážka užívateľského prostredia v programe ThruViewer.

Tento záznam je v špeciálnom formáte .thr, ktorý sa dá prehrať v programe ThruViewer. Program ponúka možnosť exportu videa do formátu .avi alebo dokáže exportovať aktuálny záber ako obrázok vo formáte .jpg. Vizuálny spôsob vykreslenia záberov z terahertzového snímača si môže užívateľ programu zvoliť z viacerých farebných schém pri živom sledovaní. Na výber sú napríklad čierno-biela schéma zobrazená na obrázku 4.2, bielo-čierna schéma, modro-biela schéma na obrázku A.1, modro-červená schéma na obrázku 2.4, zeleno-čierna schéma. . . Na samotnú detekciu skrytých predmetov nemá farebná schéma žiadny vplyv. Ide hlavne o individuálne potreby osoby, ktorá sleduje aktuálny záznam, aby sa mu to príjemne pozeralo a netrpeli pri tom veľmi oči.[6]

2.1.3 Alternatívne zariadenia

Na testovanie bolo k dispozícii zariadenie na princípe THz vlnenia od Siemensu, ktoré je špecializované na detekciu skrytých predmetov. Toto zariadenie funguje na základe výskumov zameraných na detekciu skrytých predmetov iba na frekvencii 0,25 THz. V prípade výskumnej činnosti pri hľadaní potenciálu využiteľnosti THz žiarenia pri extrakcii tváre by bolo zaujímavé vyskúšať nejaké snímacie THz zariadenie, ktoré má nastaviteľný frekvenčný rozsah a sledovať, aký vplyv to môže mať na zobrazenia tváre s a bez maskovania.

Jednou z možných alternatívnych možností zariadení pracujúcich na THz žiarení by mohla byť THz kamera MICROXCAM-384I-THZ. Táto kamera je primárne zameraná na prehliadky balíkov, kontrolu kvality materiálov, kontrolu potravín, bezpečnostné kontroly. . . Táto kamera je rozmerovo maličká a to konkrétne 61 mm × 61 mm × 65 mm. Najväčším pozitívum tejto kamery je to, že jej frekvenčný rozsah nie je napevno daný, tak ako tomu bolo pri zariadení, na ktorom prebiehalo testovanie. V prípade tohto alternatívneho

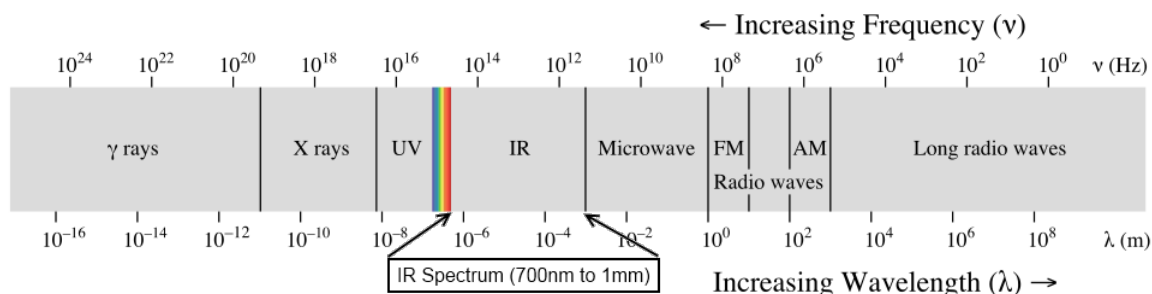
THz zariadenia je k dispozícii frekvenčný rozsah v rozmedzí od 0,094 THz do 4,25 THz. V tomto rozsahu by bolo možné vykonať veľké množstvo meraní. Otestovať aký vplyv by mala zmena frekvencie na získané snímky maskovanej a nemaskovanej tváre. Nevýhodou je nižšie rozlíšenie 384 x 288 pixelov. V rámci výskumnej činnosti to rozlíšenie nie je veľmi dôležité. Dôležitejšie je aký vplyv by mala zmena frekvencie na výsledky.[15]

2.2 Infračervené vlnenie

2.2.1 Základné informácie

Infračervené zariadenie objavil britský astronóm sir William Herschel v roku 1800. Herschel cez sklenený hranol rozložil slnečné svetlo na samostatné komponenty. Následne meral teplotu rôznych farieb, ktoré boli vytvorené za pomoci skleneného hranolu. Začal merať teplotu farieb fialového, modrého, zeleného, žltého, oranžového a červeného svetla. Vtedy zistil, že teplota farieb týmto smerom narastá. To ho však neuspokojilo a zistil niečo viac. Pokračoval v meraní teploty za červenou farbou. Výsledkom merania bolo to, že v oblasti za červenou farbou bola teplota najvyššia. Týmto spôsobom zistil, že za viditeľným červeným svetlom sa nachádza akési voľným okom neviditeľné svetlo. Vďaka jeho umiestneniu vo farebnom spektre bolo nazvané ako infračervené žiarenie.[28]

Infračervené žiarenie je súčasťou elektromagnetického žiarenia. Nachádza sa medzi Terahertzovým žiarením a viditeľným svetlom ako je vidno na obrázku 2.5. Má frekvencie od približne 300 GHz do približne 400 THz. Vlnové dĺžky sa pohybujú približne od 740 nm do 1 mm. Tieto hodnoty sa môžu líšiť, pretože nie sú úplne presne definované. Ľudia sa s ním stretávajú veľmi často v každodennom živote a ani si to neuvedomujú. Toto žiarenie je neviditeľné pre ľudské oči, ale ľudia ho môžu cítiť vo forme tepla.[20]



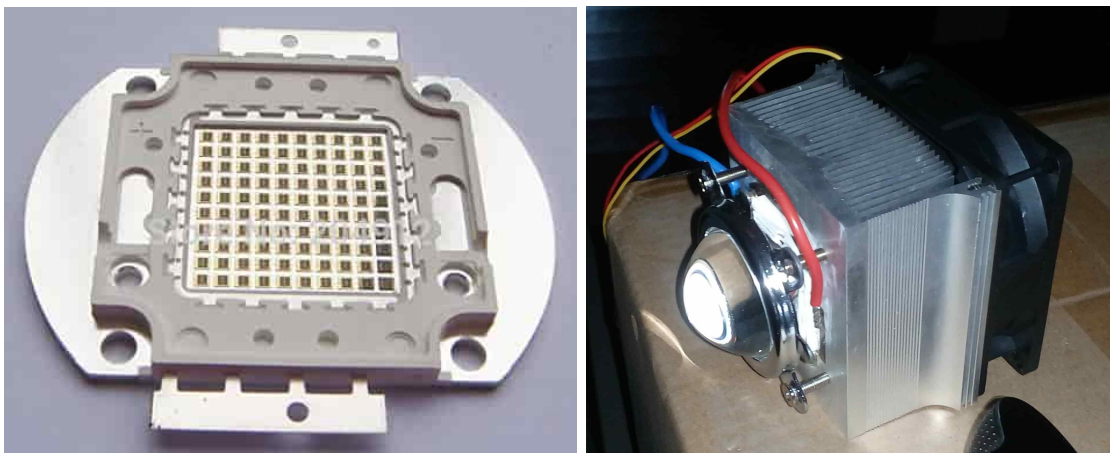
Obr. 2.5: Ukážka rozsahu infračerveného žiarenia⁴.

2.2.2 Popis testovacieho zariadenia

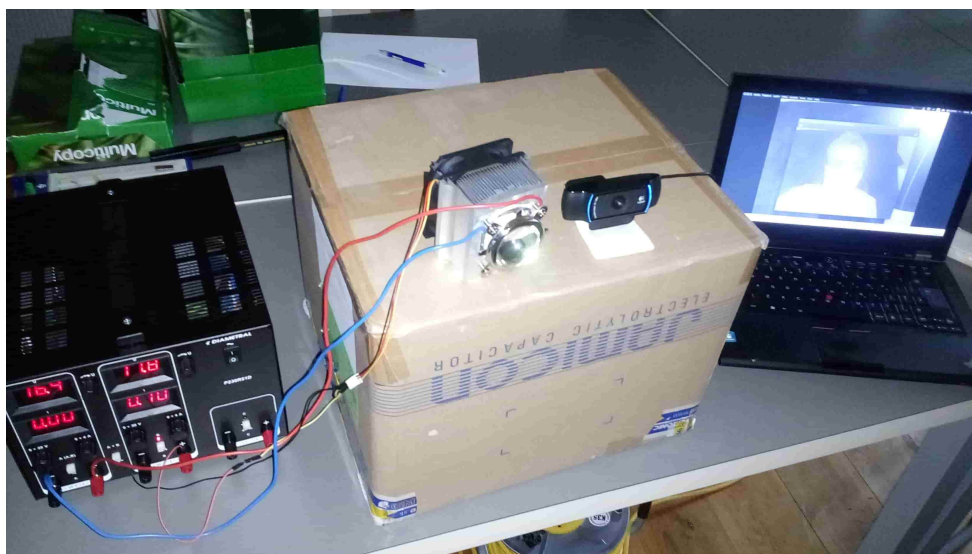
Testovanie na základe infračerveného vlnenia popísaného v časti 2.2.1 prebehlo pomocou IR osvetľovacieho modulu vyobrazeného na obrázku 2.6. IR osvetľovací modul je vybavený pasívnym a aktívnym chladením, aby sa zamedzilo jeho prehriatiu. Výsledné IR žiarenie je navyše koncentrované do tvaru kužela pomocou pridania šošovky na zlepšenie výsledkov merania. Napájanie chladenia a IR osvetľovacieho modulu bolo vykonávané pomocou laboratórneho zdroja. Súčasťou testovacej zostavy na obrázku 2.7 je okrem IR osvetľovacieho

⁴Prevzaté z <https://cdn.sparkfun.com/assets/7/8/9/8/2/512bccd7ce395f4d47000000.png>

modulu s chladením, šošovky, zdroja napätia aj kamera, ktorá je pripojená k notebooku. Na testovanie som využíval tri rozdielne kamery. Prvou kamerou bola klasická webkamera s IR filtrom. Druhou kamerou bola čiernobiela kamera DMM 37UX252-ML bez IR filtra. Posledná kamera bol fotoaparát z mobilu, ktorý slúžil na vytvorenie kontrolných fotografií bez použitia IR žiarenia. Pomocou kamier boli vytvorené testovacie snímky zahalenej tváre s rôznym najčastejšie sa vyskytovaným maskovaním.



Obr. 2.6: IR osvetľovací modul⁵.



Obr. 2.7: Testovacia zostava s využitím IR osvetľovacieho modulu.

Technická špecifikácia IR modulu obrázok 2.6:

- Značka: Led World
- Vlnová dĺžka: 850nm

⁵Prevzaté z <https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/51stQZD1kML.jpg>

- Príkon: 100W
- Napájacie napätie: 14V – 17V
- Napájací prúd: 3500mA

2.2.3 Alternatívne zariadenia

Infračervené žiarenie využíva viacero prístrojov špecializovaných v rôznych oblastiach. Testovanie prebiehalo pomocou IR osvetľovacieho modulu, ktoré vyžarovalo IR vlnenie s myšlienkou presvietenia materiálu, ktorý maskoval tvár so snahou dosiahnuť viditeľné kontúry tváre. Alternatívou pri zariadeniach využívajúcich IR žiarenie sú napríklad termokamery.

Termokamera funguje na princípe bezdotykového merania teploty. Všetky predmety na našej planéte vyžarujú elektromagnetické žiarenie, ktoré termokamera svojím detektorom zachytí a na základe teplotného rozsahu ich vykreslí pomocou určitého farebného spektra na displej. Intenzita elektromagnetického žiarenia je závislá na povrchovej teplote objektu, ktorý toto žiarenie produkuje. Meraním intenzity žiarenia sa dá stanoviť povrchová teplota objektu. Pri meraní s termokamerami sa využíva pojem tepelné žiarenie, aby sa to odlíšilo od ostatných elektromagnetických žiarení.

Princíp tepelného žiarenia pri termokamerách

Tepelné žiarenie telies popisuje tzv. Planckov vyžarovací zákon, ktorý bol sformulovaný v roku 1900 Maxom Planckom. Intenzita vyžarovania rastie štvrtou mocninou povrchovej teploty telesa.

Ďalším zákonom pri tepelnom žiarení je Stefanov-Boltzmannov zákon. Všetko okolo nás vyžaruje tepelné žiarenie. Dokonca aj predmety, ktoré považujeme za veľmi studené (kocka ľadu) vyžarujú veľké množstvo energie vo forme tepelného žiarenia. Pomocou tohto zákona sa dá vypočítať celková intenzita žiarenia objektu I pomocou vzťahu:

$$I = \epsilon \sigma T^4 \quad (2.1)$$

pričom emisivita ϵ je bezrozmerná veličina ktorá vyjadruje schopnosť povrchu telesa vyžarovať elektromagnetické žiarenie. Môže nadobúdať hodnoty $0 < \epsilon < 1$. Emisivity jednotlivých materiálov je možné dohľadať v tabuľkách emisív materiálov. Nasleduje Stefanova-Boltzmannova konštanta $\sigma = 5,670400 \cdot 10^{-8} \text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ a termodynamická teplota T v kelvinoch. Výsledkom je intenzivita žiarenia objektu I [Wm^{-2}].[\[8\]](#)

Konštrukcia termokamier

Konštrukcia termokamier je podobná ako konštrukcie klasických kamier a fotoaparátov. Objektív premieta dopadajúce tepelné žiarenie na detektor žiarenia, kde sa zmeria jeho intenzita, ktorá je následne pomocou elektroniky pre spracovanie obrazu prevedená do určitého farebného spektra. Tento výsledné zobrazenie sa nazýva termogram. Čo sa týka detektorov termokamier, tak sa najčastejšie využívajú dva základné druhy. Prvým sú tepelné detektory. Jedná sa o najpoužívanejšie detektory. Momentálne sa využíva v cca 95% termokamerách. Samotný detektor funguje na princípe zmeny elektrických vlastností v závislosti na intenzite dopadajúceho IR žiarenia. Druhý detektor, ktorý sa využíva hlavne na výskumné účely kvôli jeho vyššej citlivosti sa nazýva fotónový detektor. Tento detektor

pracuje na princípe počítania fotónov. To mu zaručuje, že je citlivejší, ale vyžaduje chladenie, čo spôsobuje celkovú vyššiu hmotnosť zariadenia. Bežne sa nevyužívajú pretože sú mnohonásobne drahšie ako kamery s tepelným detektorom.[18]

Návrh na testovanie termokamery

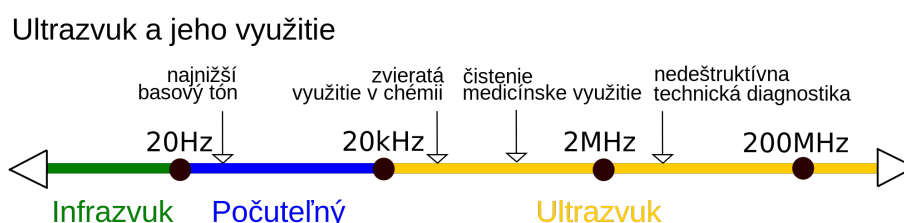
Ako bolo spomenuté v tejto časti o alternatívnych zariadeniach pracujúcich na IR žiarení, tak by možno bolo zaujímavé vyskúšať aké výsledky by vznikli pri využití rôznych termokamier a aký by mali vplyv na zobrazenie maskovanej a nemaskovanej tváre. Pri termokamerách je možné meniť napríklad teplotný rozsah a detektor samotného IR žiarenia. Otestovanie tohto prístupu so snahou o extrakciu tváre pomocou termokamier nie je súčasťou praktickej časti samotnej bakalárskej práce.

2.3 Ultrazvukové vlnenie

2.3.1 Základné informácie

Ultrazvuk vo všeobecnosti pracuje na princípoch akustiky. Jeho objavenie vychádza najmä z vývoja a pochopenia akustiky ako takej. Štúdium akustiky pravdepodobne začalo gréckym filozofom Pythagorom v 6. storočí pred Kristom, ktorý experimentoval s vlastnosťami vibračných strún. Za ním nasledovali vo vývoji akustiky ďalšie známe osobnosti našej histórie ako napríklad Aristoteles, Vitruvius, Boethius, Galileo Galilei... Éra moderného ultrazvuku sa začala okolo roku 1917, keď Langevinovo použil ultrazvukové vlnenie na detekciu ponoriek. Odvtedy sa táto oblasť enormne rozrástla. Vznikli rôzne spôsoby využitia ultrazvukového vlnenia vo vede, priemysle, medicíne a ďalších oblastiach.[2]

Ultrazvuk je mechanické vlnenie s frekvenčným rozsahom približne 20 kHz – 40 MHz. Rozdelenie zvuku je zobrazené na obrázku 2.8. Ľudské ucho ultrazvuk nepočuje. Ultrazvuk sa nachádza nad maximálnym prahom ľudského počutia. Ultrazvuk sa môže šíriť pevným, kvapalným aj plynným prostredím. Toto vlnenie sa šíri prostrediami s určitou rýchlosťou a s určitou energiou. Na základe intenzity vlnenia I môže mať deštruktívne alebo nedeštruktívne účinky. V prípade nedeštruktívnych účinkov má ultrazvukové vlnenie nižšiu intenzitu a nemení fyzikálne ani chemické vlastnosti prostredia, ktorým prechádza.[32]



Obr. 2.8: Grafický náhľad na spektrum zvuku⁶.

Akustický výkon P je akustická energia E vytvorená zdrojom a prenesená prostredím za jednotku času t . Matematický zápis je:

$$P = \frac{E}{t} \quad (2.2)$$

⁶Prevzaté z

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/43/Ultrasound_range_diagram_png_%28sk%29.svg

Intenzita ultrazvukového vlnenia I sa definuje ako veľkosť výkonu P , ktorý prechádza plochou S , ktorá je kolmá na smer šírenia vlnenia. Na fyzikálne popísanie tejto definície existuje matematický zápis:

$$I = \frac{P}{S} \quad (2.3)$$

pričom P [W] je akustický výkon, S [m²] je plocha, ktorou prechádza vlnenie a I [Wm⁻²] je intenzita vlnenia.[24]

2.3.2 Alternatívne zariadenia

Ultrazvukové vlnenie sa spomína v tejto bakalárskej práci ako ďalší z možných spôsobov, ktorým by bolo možné extrahovať maskovanú tvár. Samotné využitie ultrazvuku je v dnešnej dobe veľmi široké. Využíva sa napríklad v priemysle, medicíne, lodnej doprave, kozmetike... Bolo by veľmi zaujímavé otestovať aké snímky maskovanej tváre by bolo možné získať, keby sa použili špecializované zariadenia ako napríklad sonar alebo 3D ultrazvuk z medicíny. Tieto zariadenia sú vyvíjané, aby dosahovali čo najlepšie výsledky vo svojej oblasti zamerania. Nenašiel som informácie o tom, že by sa niekto pokúšal využiť lodný sonar alebo 3D ultrazvuk z medicíny na extrakciu tváre vo vzdialenosti niekoľkých desiatkach centimetrov od samotného zariadenia.

Ultrazvukové senzory

V tejto časti je popísaná všeobecná funkcionálna a základné princípy ultrazvukových senzorov, ktoré nemajú až také špecifické zameranie ako napríklad spomínaný 3D ultrazvuk v medicíne alebo sonar. Na dnešnom trhu je veľký výber rôznych senzorov s rôznymi parametrami.

Vo všeobecnosti ultrazvukové senzory prijímajú ultrazvukové vlnenie aj v prípade, že v rámci rozsahu senzorov nebol detekovaný žiadny objekt, pretože sa vlnenie môže odraziť aj od iných objektov, s ktorými nemusíme počítať. Dôležitým faktorom je vedieť v akom prostredí sa meranie vykonáva, aby bolo možné zistiť časovú reakciu vlnenia. Na základe ktorej sa dá kontrolovať, aby nedošlo k chybe pri práci IR senzorov. Neprekáža im napríklad hmla, dym ani hustý prach. Zmenou frekvencie ultrazvukového vyžarovaného signálu sa mení aj samotná vzdialenosť detekcie objektov.

Ultrazvukové senzory majú veľmi široké využitie. V niektorých prípadoch postačujú nižšie požiadavky na presnosť, čo samozrejme znižuje aj ich cenu. Ultrazvukový senzor ako taký ovplyvňuje teplota, vlhkosť, tlak... Existujú rôzne prístupy k tomu, ako sa s týmito problémami dá vysporiadať. Jedna z možností je zaobstarať si senzor, na ktorom sa tieto parametre dajú zadať manuálne alebo existujú prístupy, ktoré tieto informácie získavajú dynamicky za behu. Ďalej existujú senzory, na ktorých je možné nastaviť počet vyžarovaných impulzov, šírku ultrazvukovej vlny a tým určiť citlivosť samotného senzora.[17]

3D rekonštrukcia obrazu ultrazvukového žiarenia

3D rekonštrukcia obrazu ultrazvuku sa využíva hlavne pri spomínaných špecializovaných zariadeniach lodného sonaru a medicínskeho 3D ultrazvuku. Každá zo spomenutých oblastí má svoje špecifické prístupy na rekonštrukciu 3D obrazu na základe ultrazvukového vlnenia. Zjednodušene popísané sa jedná o prístup, ktorý získava 2D obrazy pomocou detektoru ultrazvukového žiarenia. Následne z nich vytvára 3D obraz tak, že tieto 2D obrazy dokáže

rýchlo spracovať a správne ich zobrazíť na pomyselnnej osi z, ktorá predstavuje tretí rozmer vo forme hĺbky obrazu. Vzhľadom na to, že sa jedná o veľké množstvo 2D obrázkov vsadených do priestoru, tak je možné s týmto záznamom aj ľubovoľne manipulovať a otáčať. Hlavnou otázkou ostáva, aké výsledky zobrazenia by vznikli využitím 3D rekonštrukcie obrazu z ultrazvuku pri maskovanej a nemaskovanej tvári.[33]

2.4 Existujúce riešenia extrakcie tváre

Extrakcia tváre pod maskovaním nie je v tejto dobe najbežnejší spôsob odhaľovania páchatelov trestných činností. Už len samotná identifikácia tváre bez maskovania a nájdenie identickej osoby v databáze fotografií nie je stále úplne stopercentne úspešná. Stále sa tam pri obrovskej databáze ľudí nájdu nejaké odchýlky. V takom prípade je však veľmi prínosné aspoň to, že sa zníži okruh podozrivých osôb a pomôže to rýchlejšie odhaliť zločinca. Ďalší problém pri tomto prístupe odhaľovania podozrivých je v tom, že fotografie kontrolných tvárí musia byť veľmi dobre zabezpečené, aby nenastalo zneužitie osobných údajov.

V praxi sa systém identifikácie tváre využíva v USA. Momentálne to funguje tak, že polícia, FBI alebo iné bezpečnostné zložky v prípade potreby hľadania podozrivej osoby si vyžiadajú jej fotografiu z úradu, ktorý má na starosti vodičské oprávnenia, poprípade z ďalších štátnych úradov zaoberajúcich sa evidenciou obyvateľstva. Túto získanú fotografiu vložia do porovnávacieho algoritmu. Konkrétny algoritmus, ktorý používajú sa mi nepodarilo nikde dohľadať. Z bezpečnostných dôvodov to je zrejme utajené. Tento algoritmus dokážu spustiť nad živými zábermi rôznych kamerových systémov. V prípade nájdenia zhody sú povolané bezpečnostné zložky, aby podozrivého zadržali. Pri tomto spôsobe sa často stáva, že vyhľadávací algoritmus sa pomýli a bývajú zadržaný aj nevinný ľudia.[9]

V prípade extrakcie maskovanej tváre je to trochu komplikovanejšie. Vzhľadom na to, že ešte ani v reálnych podmienkach samotné porovnanie tvárí bez maskovania ešte nie je úplne stopercentné. V prípade trestnej činnosti nie je samotná tvár jediný spôsob identifikácie osoby, tak sa v reálnom svete sa využívajú aj ďalšie spôsoby na odhalenia páchatela, ktoré majú momentálne vyššiu úspešnosť odhalenia. Napríklad to môžu byť odtlačky prstov na mieste činu, stopy DNA, svedkovia, ktorý si mohli všimnúť evidenčné číslo vozidla, na ktorom páchatel prišiel. . . Nepodarilo sa mi nájsť žiadne informácie o konkrétnom špecializovanom zariadení na identifikáciu maskovanej tváre, ktoré by využívalo nejaký druh žiarenia.

2.4.1 Disguised Face Identification (DFI)

Na tému extrakcie maskovanej tváre som našiel zaujímavý výskum, ktorý pristupuje k problematike iným spôsobom ako je tomu v tejto bakalárskej práci. Spomínaný výskum nevyužíva rôzne druhy žiarení na zvýraznenie kontúr tváre, ale snaží sa zamerať na potenciálne časti tváre, ktoré nie sú dobre maskované a tie využiť na úspešnú identifikáciu tváre.

Hlavný princíp identifikácie spočíva v tom, že na základe naučených poznatkov z priebehu tréningu pomocou neurónových sietí sa zameria na 14 kľúčových bodov, ktoré sú zobrazené na obrázku 2.9. Týchto 14 bodov je následne prepojených, aby vytvárali štruktúru hviezdnej siete, na ktorú sa aplikuje klasifikátor a následne sa vykonaná identifikácia tváre.

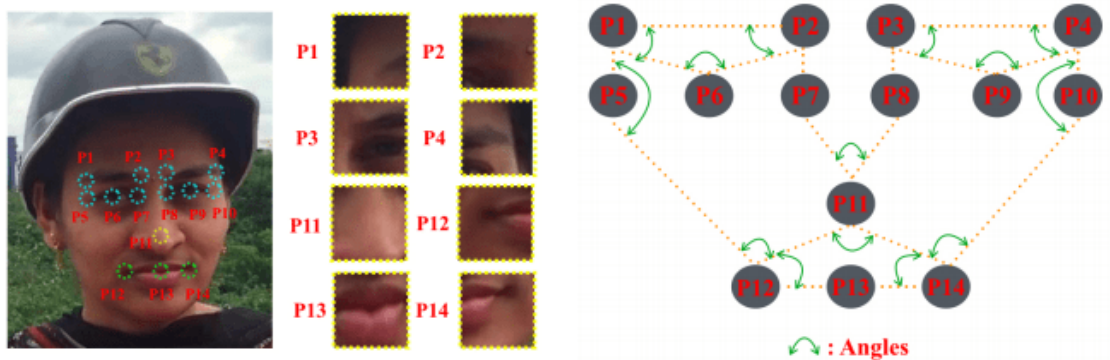
Jednou z najdôležitejších častí tejto práce je nájsť čo najspoľahlivejší spôsob na učenie modelu, aby sa mohli dosiahnuť čo najlepšie výsledky pri identifikácii tváre pod maskovaním. Samotný proces učenia funguje tak, že sa vyberie zakrytá tvár následne sa

porovná s piatimi rozdielnymi tvármi bez maskovania, pričom jedna z tých tvárí je práve identická tvár, ktorá sa skutočne nachádza pod maskovaním. Trénovanie prebieha pomocou priestorovej fúzie konvolučných neurónových sietí na 1000 tréningových obrázkoch, 500 validačných obrázkov a 500 testovacích obrázkov náhodne vybraných zo súboru skrytých tvárí.

Samotný výpočet podobnosti τ medzi maskovanou a nemaskovanou tvárou je vypočítaný zo štruktúry hviezdnej siete 2.9 14 kľúčových bodov na základe vzťahu:

$$\tau = \sum_i |\theta_i - \phi_i| \quad (2.4)$$

kde τ je podobnosť, θ_i reprezentuje orientáciu i -teho kľúčového bodu maskovanej tváre a ϕ_i reprezentuje príslušné uhly kľúčových bodov na nemaskovanej tváre.



Obr. 2.9: Umiestnenie 14 kľúčových bodov a ich prepojenie do štruktúry hviezdnej siete⁷.

Samotné výsledky výskumu ešte nedosahovali uspokojivé výsledky. V prípade použitia samotnej čiapky ako maskovania, tak tam bola miera odhalenia tváre na úrovni 83%. Pri použití samotnej masky bola úspešnosť identifikácie tváre na hodnote 67%. Pri kombinácii čiapky a šatky sa percentuálna úspešnosť znížila na 56%. V prípade, že si niekto pridal ku čiapke a šatke aj slnečné okuliare, tak sa úspešnosť správnej identifikácie tváre dostala na hodnotu iba 43%. [30]

Ďalšie aktuálnejšie informácie o tomto výskume sa mi nepodarilo nájsť. Jedna z možností prečo nie sú aktuálnejšie informácie dostupné môže byť to, že sa tento projekt podarilo dotiahnuť k veľmi dobrým výsledkom a tento prístup je utajený v rámci obáv z možného zneužitia. Druhá možnosť je taká, že sa napriek ďalšiemu úsiliu nepodarilo týmto prístupom dosiahnuť rapídne zlepšených výsledkov.

⁷Prevzaté z <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8265403>

Kapitola 3

Návrh

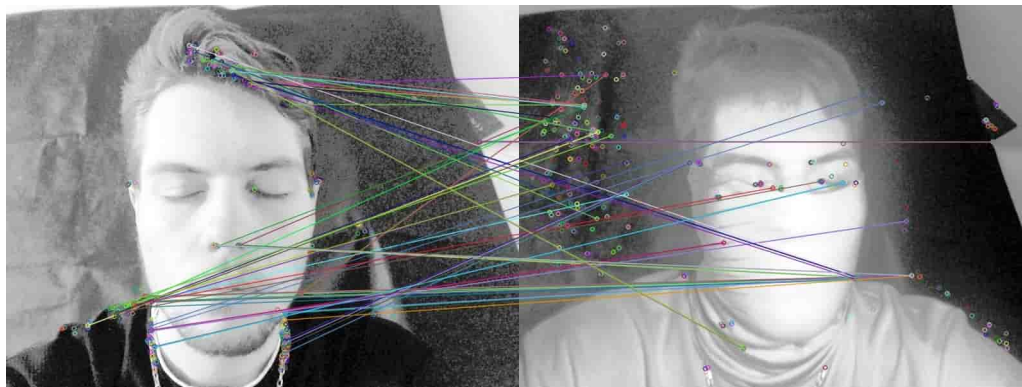
V tejto kapitole je venovaný priestor na načrtnutie návrhu a implementácie riešenia rozpoznania tváre, ktorá je schovaná za najpoužívanejším maskovaním. Na základe teoretických informácií, ktoré sú popísané v kapitole 2 a vykonaní vlastných experimentov v kapitole 4. Nachádzajú sa tu načrtnuté rôzne možné spôsoby riešenia danej problematiky so snahou dosiahnutia čo najlepších výsledkov. Implementácia je vykonaná pomocou skriptovacieho jazyka Python3[25] a s využitými knižnicami OpenCV verzie 3.4.2.16[23], dlib[16] a face_recognition[11].

3.1 Extrakcia tváre pomocou všeobecných deskriptorov

Táto časť je zameraná na extrakciu tváre pomocou všeobecných deskriptorov. Všeobecnými deskriptormi sú myslené deskriptory, ktoré nie sú špecializované na prácu s tvárou. Ich úlohou je detekovať kľúčové body na dvoch obrázkoch nezávisle od seba. Tieto body by mali byť zaujímavé na nasledovné spracovanie na základe ich vlastností. Podrobnejšie je to vysvetlené v časti 3.1.2. Dôležitou úlohou pred hľadaním samotných kľúčových bodov je vykonať proces detekcie tváre 3.1.1. Vďaka tomuto procesu je možné získať lepšie výsledky pri celkovej snahe o identifikáciu tváre pod maskovaním.

3.1.1 Detekcia tváre – Haar cascade detektor

Prvá vec, ktorá je dôležitá pri identifikácii maskovaného človeka je určenie jeho tváre na získaných fotografiách z miesta činu. Pokiaľ sa na fotografii presne neurčí oblasť výskytu tváre, tak to môže algoritmus, ktorý fotografiu porovnáva s referenčnou fotografiou, vyhodnotiť veľmi nepresne ako sa to stalo na obrázku 3.1. Na nasledujúcom obrázku je vidno, ako sa algoritmus zameral na vlasy a porovnával to práve s pozadím, ktoré malo podobné sfarbenie. Keďže sa jedná o maskované tváre, môže sa stať vo viacerých prípadoch, že algoritmus na detekciu tváre zlyhá. V tom prípade bude nasledujúci postup pri získavaní kľúčových bodov prebiehať na celej fotografii, čo môže spôsobiť spomínané nepresnosti. Alternatívnou možnosťou je túto maskovanú tvár ručne vyrezať a až po tomto úkone ju pustiť do procesu identifikácie, aby porovnávací algoritmus pracoval s časťou fotografie, kde sa nachádza iba tvár páchateľa a čo najmenšia časť okolia. Porovnávací algoritmus sa v tomto prípade môže vo väčšej miere zamerať na samotnú tvár a menej na nepodstatné pozadie.



Obr. 3.1: Príklad, v ktorom sa ORB deskriptor 3.1.6 zamerlal na pozadie.

Haar cascade algoritmus na detekciu tváre je súčasťou OpenCV knižnice. Sú v ňom využívané kaskádové klasifikátory z knižnice OpenCV. Kaskádové klasifikátory sú určené na detekciu rôznych objektov. Knižnica OpenCV má k dispozícii viacero klasifikátorov na detekciu tváre, ktoré sú vo formáte xml.[31] Testy na určenie najideálnejšieho klasifikátora boli vykonávané na vzorke nasnímaných záberov z nasnímanej databázy fotografií. Najlepšie výsledky z dostupných klasifikátorov v OpenCV knižnici dosahoval klasifikátor `haarcascade_frontalface_alt.xml`, s ktorým sú vykonávané detekcie tvárí. Ukázalo sa, že najlepšie výsledky pri detekcii tváre sa dosahovali, keď bola snímka prevedená do škály sivej.

```
face_cascade = cv2.CascadeClassifier('haarcascade_frontalface_alt.xml')
img = cv2.imread('name_image.jpg')
gray_img = cv2.cvtColor(img, cv.COLOR_BGR2GRAY)
x,y,w,h = face_cascade.detectMultiScale(gray_img, 1.1, 1)[0]
```

Výpis 3.1: Algoritmus na detekciu tváre pomocou kaskádového klasifikátora v Pythone.

Ďalšia časť, ktorú algoritmus 3.1 využíva je funkcia `detectMultiScale()`, ktorá obrázok v odtieňoch sivej na základe parametrov vyhodnocuje. Prvý parameter znamená, že sa bude pracovať s obrázkom v odtieňoch šedej. Druhý parameter sa nazýva `scale factor`. V použitom kaskádovom klasifikátore je definovaná určitá veľkosť tváre, pomocou ktorej sa detekuje tvár na mojej snímke. Na snímke môže byť tvár rôznych veľkostí. Parameter `scale factoru` zabezpečuje, aby bolo možné detekovať tvár rôznych veľkostí. Napríklad hodnota 1.1 znamená, že sa bude krok zmeny veľkosti porovnávania tvári bude meniť o 10%. Čím menšie číslo, tým väčšia šanca detekcie tváre. Na druhú stranu veľmi malé číslo môže mať za následok viac násobnú detekciu tej istej tváre. Tretí parameter sa nazýva `minNeighbors`. Tento parameter ovplyvňuje kvalitu detekovaných tvárí. Vyššia hodnota vedie k menšej detekcii tvárí, ale k vyššej kvalite. Na základe týchto parametrov sa vytvorí pole všetkých detekovaných tvárí. Pri identifikácii páchatela sa počíta iba s jednou tvárou, preto sa okamžite parametre prvej detekovanej tváre ukladajú do premenných `x, y, w, h`. Premenné `x,y` určujú počiatočný bod detekovanej tváre. Premenné `w,h` sú horizontálne a vertikálne posuvy od počiatočného bodu. Získané súradnice sú pripravené na ďalšie spracovanie.

3.1.2 Definícia deskriptorov

Deskriptory, inak povedané popisovače funkcií sú veľmi dôležité pri detekcii bodov a ich následnom vyhodnocovaní, aby sa zistilo či sa jedná o navzájom podobné časti. Každú časť obrázku je možné previesť na základe rôznych algoritmov práve na deskriptory, respektíve vektory. Tieto deskriptory vlastne zakódujú časť obrázku do číselnej podoby, na základe ktorej je možné tieto časti snímky porovnať. V ideálnom prípade by táto informácia bola pri transformácii obrazu invariantná, takže môžeme túto funkciu znova nájsť aj vtedy, ak je obraz určitým spôsobom transformovaný. Súčasťou OpenCV knižnice sú na jednej strane deskriptory založené na histograme orientovaných gradientov (HOG), medzi ktoré patrí napr. SIFT a SURF. Na druhej strane sú algoritmy založené na binárnych deskriptoroch, napríklad ORB, BRISK a FREAK.[26]

Základný princíp fungovania všetkých deskriptorov:

1. Detekovať kľúčové body v snímke (výrazné body).
2. Opísať každú oblasť okolo kľúčového bodu ako vektora funkcií pomocou deskriptora.
3. Porovnanie deskriptorov na základe určitého algoritmu.

3.1.3 Deskriptory na princípe Histogramu orientovaných gradientov (HOG)

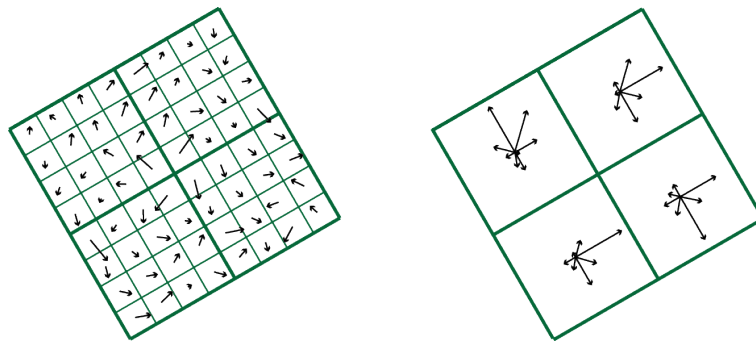
Histogram orientovaných gradientov (HOG) je deskriptor funkcií používaný na detekciu objektov. Algoritmus počíta výskyty gradientovej orientácie v určitých častiach snímky. Základná myšlienka je taká, že HOG sa snaží detekovať hrany na jednotlivých častiach snímky a môžu byť opísané rozložením gradientov intenzity alebo smerov hrán. HOG deskriptor je reprezentácia založená na gradiente, ktorá je invariantná pre zmeny tvaru a zmeny osvetlenia. Medzi najznámejšie patria napr. SIFT a SURF.[5]

3.1.4 Základný princíp SIFT deskriptora

Scale Invariant Feature Transform (SIFT) bol vyvinutý Davidom Lowom. Tento deskriptor sa využíva v počítačovom videní. Deskriptor SIFT je invariantný na rotácie, zmeny mierky obrazu a zmeny osvetlenia. Deskriptor SIFT obsahuje metódu na detekciu kľúčových bodov z obrazu na úrovni šedej, pri ktorej sa nahromadia údaje lokálnych smerov gradientov intenzít obrazu, aby sa získal sumárny popis lokálnych obrazových štruktúr v lokálnom okolí okolo každého kľúčového bodu.[19]

Základný princíp fungovania SIFT deskriptora na princípe HOG:

1. Detekovanie kľúčových bodov pomocou SIFT.
2. Okolo každého kľúčového bodu sa vytvorí oblasť o veľkosti 16x16 pixelov.
3. Vypočítajú sa gradienty pre každý pixel (orientácia a veľkosť).
4. Oblasť o veľkosti 16x16 pixelov sa rozdelí na 16 štvorcov o veľkosti 4x4 pixelov vid. obrázok 3.2.



Obr. 3.2: Grafický náhľad na tvorbu SIFT deskriptora¹.

5. Pre každý štvorec sa vypočíta histogram s gradientom vo ôsmich smeroch.
6. Spojením všetkých histogramov sa získa vektor so 128 dimenziami.

3.1.5 Popis binárnych deskriptorov

Binárne deskriptory sa nachádzajú ako súčasť OpenCV knižnice. Spoločná myšlienka binárnych deskriptorov je to, že väčšinu informácií môžeme zakódovať ako binárny reťazec iba pomocou porovnania intenzity obrázkov. To sa dá robiť veľmi rýchlo, keďže je potrebné vykonať iba porovnanie intenzít. Ak používame hammingovú vzdialenosť ako mieru vzdialenosti medzi dvoma binárnymi reťazcami, potom môže byť zhoda medzi dvoma deskriptormi vykonaná pomocou jedinej inštrukcie, pretože hammingova vzdialenosť sa rovná súčtu operácie XOR medzi dvoma binárnymi reťazcami. Obrovskou výhodou týchto binárnych deskriptorov je práve nízka výpočtová a pamäťová náročnosť. Táto skutočnosť sa dá dobre využiť napríklad pre zariadenia ako sú mobilné telefóny.[13]

3.1.6 Základný princíp ORB binárneho deskriptora

ORB binárny deskriptor je súčasťou knižnice OpenCV. Jedná sa o alternatívu k SIFT a SURF. ORB sa v podstate skladá z detektora kľúčových bodov FAST a deskriptora BRIEF s mnohými modifikáciami na zrýchlenie výpočtu so snahou funkčnosti na zariadeniach s čo najnižšou výkonnosťou.

Detektor FAST zisťuje orientáciu pomocou ťažiska intenzity. Jedná sa o jednoduché, ale účinné meranie, kde posunom intenzity ťažiska od jeho stredu získame vektor, ktorý sa použije k výpočtu orientácie. Definícia momentu bodu je:

$$m_{pq} = \sum_{x,y} x^p y^q I(x, y) \quad (3.1)$$

ťažisko sa za pomoci týchto momentov dá nájsť nasledovne:

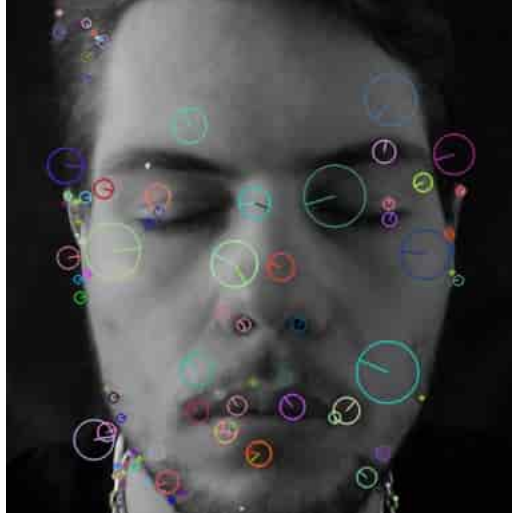
$$C = \left(\frac{m_{10}}{m_{00}}, \frac{m_{01}}{m_{00}} \right) \quad (3.2)$$

následne je vytvorený vektor zo stredu bodu do ťažiska intenzity. Orientáciu bodu získame:

$$\theta = \arctan 2(m_{01}, m_{10}) \quad (3.3)$$

¹Prevzaté z <http://www.scholarpedia.org/w/images/0/04/Sift-descr-ill.png>

na zlepšenie rotačnej invariantnosti tohto deskriptora musia byť momenty vypočítané s x a y nachádzajúce sa v kruhovej oblasti s polomerom r . Empiricky sa vyberie r . Body x a y sú v rozmedzí $[-r, r]$. Grafické znázornenie na obrázku 3.3 Ak sa $|C|$ blíži k nule, rozsah se stáva nestabilným, ale pri FAST sa to deje veľmi ojedinele.[14]



Obr. 3.3: Príklad grafického znázornenia vektorov smerujúcich zo stredu bodu.

Deskriptor BRIEF vyberie všetky detekované kľúčové body a prevedie ich na binárne znakové vektory tak, aby spolu mohli reprezentovať objekt. Binárny test τ je definovaný ako:

$$\tau(p, x, y) := \begin{cases} 1 & : p(x) < p(y) \\ 0 & : p(x) \geq p(y) \end{cases} \quad (3.4)$$

kde $p(x)$ je intenzita p v bode x . Táto vlastnosť je definovaná ako vektor n -binárnych testov:

$$f_n(p) := \sum_{1 \leq i \leq n} 2^{i-1} \tau(p, x_i, y_i) \quad (3.5)$$

Na základe rôznych experimentov pri ladení deskriptora BRIEF sa pre distribúciu testov využíva Gaussovo rozdelenie okolo stredu oblasti. Vektor binárnych funkcií, známy aj ako deskriptor binárnej funkcie, je vektorový prvok, ktorý obsahuje iba hodnoty 1 a 0. Veľkosť vektoru je stanovená na 256 bitov. Pred vykonaním testov sa vyhladí obraz a odstráni šum za pomoci integrálneho obrazu, kde každá testovacia oblasť o veľkosti okna s rozmermi 5×5 je nahradená oknom o veľkosti 31×31 pixelov. Ďalšou dôležitou časťou je zabezpečiť invarianciu deskriptora. Na tento účel sa využívajú detekované kľúčové body a ich orientácia. Pre každú sadu funkcií n -binárnych testov v bode (x_i, y_i) , definujte maticu $2 \times n$:

$$S = \begin{pmatrix} x_1, \dots, x_n \\ y_1, \dots, y_n \end{pmatrix} \quad (3.6)$$

s využitím orientácie oblasti θ a odpovedajúcej matice R_θ sa vytvorí pootočená matica S_θ z matice S :

$$S_\theta = R_\theta S \quad (3.7)$$

v tomto momente sa stáva natočeným BRIEF operátorom:

$$g_n(p, \theta) := f_n(p) | (x_i, y_i) \in S_\theta \quad (3.8)$$

kde sa diskretizuje uhol na prírastky o veľkosti 12 stupňov a vytvorí vyhľadávaciu tabuľku. Kým orientácia detekovaného kľúčového bodu θ je konzistentná naprieč pohľadmi, tak sa použije správna množina bodov S_θ na výpočet jeho deskriptora.^[29]

3.1.7 Implementácia všeobecných deskriptorov

Implementácia pri pokuse o identifikáciu tváre pomocou všeobecných deskriptorov je v jazyku Python. Pri tomto skripte bola využitá iba knižnica OpenCV, argparse a numpy, ktorá sa využíva na jednoduchšiu prácu s poliami súradníc. Na priloženom CD sa nachádzajú dva skripty. Prvý sa nazýva orb_detect_points.py, ktorý využíva ORB binárny deskriptor 3.1.6 a druhým je sift_detect_points.py, ktorý funguje na princípe SIFT deskriptora 3.1.4. Pri spúšťaní oboch skriptov je do argumentov nutné zadať testovací a kontrolný obrázok.

Princíp implementácie je v oboch skriptoch podobný. Prvá najdôležitejšia vec je detekcia tváre na vstupných snímkach. Obe snímky sa prevedú do odtieňov šedej, kde bolo experimentálne zistené, že sa dosahuje najpresnejšia detekcia tváre v obrázku. Na samotnú detekciu sa využíva Haar cascade detektor tváre 3.1.1, ktorý patrí do knižnice OpenCV. Následne sa podľa tejto detekovanej tváre obrázok oreže. V prípade, že sa tvár nepodarí detekovať, tak do nasledujúceho procesu pokračuje obrázok s rovnakými rozmermi ako prišiel na vstup. Následne sa z obrázku získa ORB alebo SIFT deskriptor. Na základe tohto deskriptora sa vyhodnotia kľúčové body obrázka. Uložia sa 4 obrázky. Kontrolný obrázok s kľúčovými bodmi a kontrolný obrázok s detailnejšie zobrazenými kľúčovými bodmi v podobe oblasti, z ktorej sa tento deskriptor získaval a jeho smer. Rovnakým spôsobom vzniknú aj dva testovacie obrázky. Pri ukladaní sa do terminálu vypíše počet kľúčových bodov pre každý obrázok. Následne ORB a SIFT vyhodnotí jednotlivé kľúčové body medzi sebou a pokúsi sa poprepájať čiarami medzi sebou tie, ktoré by mohli byť podobné. Každý bod je ohodnotený určitou vzdialenosťou na základe jednotlivých deskriptorov. Na záver sa jednotlivé vzdialenosti prejdú a odstránia sa spojenia bodov, ktorých vzdialenosť dosahuje v prípade ORB viac ako 0,89 a SIFT viac ako 0,85. Tieto vzdialenosti boli vyladené na základe výsledkov pri testovaní, aby sa v experimentoch 4.2.1 dalo ukázať, ako tento spôsob funguje a aby sa tam nenachádzalo veľmi veľa respektíve veľmi málo podobných bodov. V tomto okamihu sa na terminál vypíše počet podobných kľúčových medzi oboma obrázkami a následne sa aj grafické zobrazenie uloží v podobe obrázku.

3.2 Extrakcia tváre pomocou vycvičeného prediktora na získanie orientačných bodov tváre

V tejto časti sa nachádza ďalší návrh postupu spracovania nasnímaných fotografií z experimentov v snahe o získanie čo najlepších výsledkov. Oproti návrhu pomocou všeobecných deskriptorov 3.1 sa nasledujúci postup zameriava konkrétne na detekciu orientačných bodov tváre. Tento cielený prístup je implementovaný pomocou jazyka Python s využitím knižníc OpenCV a dlib.

3.2.1 Detekcia tváre – Hog detektor

Pri každom spôsobe extrakcie tváre je veľmi dôležitá detekcia tváre. Keďže na snímke môže byť tvár umiestnená v ľavom dolnom rohu, taktiež môže zaberat takmer celú obrazovku alebo sa môže stať, že na snímke bude viacero tvárí. Toto je jeden z dôvodov, prečo je krok s detekciou tváre taký dôležitý. Presne ako to bolo popisované v sekcii 3.1.1. Na obrázku 3.1 je na prvý pohľad vidno, že pokiaľ nie je jasne definované kde sa tvár nachádza, tak sa to prejaví aj na výsledku.

Pri detekcii tváre sa pri vyhodnocovaní experimentov využíva primárne tento Hog `frontal_face_detector`, ktorý je súčasťou knižnice `dlib`. Detektor sa následne aplikuje na snímku tváre, ktorá je prevedená do odtieňov šedej. Tento prevod snímky sa vykonáva z dôvodu, že tento Hog detektor `frontal_face_detector` dokáže v tomto farebnom spektre presnejšie vyhodnotiť či sa jedná o tvár alebo nie. Po aplikácii detektora na snímku vo farbách sivej sa získajú súradnice štvorca, ktorý reprezentuje danú tvár na snímke a môže pokračovať nasledujúce spracovanie orientačných bodov tváre 3.2.3. V prípade, že sa na snímke nachádza tak dobre zamaskovaná tvár, že sa Hog detektoru túto tvár nepodarí detekovať, tak sa využije ešte starší detektor tváre Haar cascade 3.1.1, ktorý sa pokúsi vykonať úspešnú detekciu tváre. V prípade, že aj tento pokus bude neúspešný, tak sa na ďalšie spracovanie fotografie nastaví pôvodné rozmery celej snímky. Pri pokuse o zlepšenie výsledku pri neúspešnej detekcii tváre sa fotografie orezali ručne.

3.2.2 Informácie o prediktore na získanie orientačných bodov tváre

Po úspešnom získaní oblasti tváre pomocou Hog detektora 3.2.1 alebo Haar detektora 3.1.1 nasledujú ďalšie úkony na získanie orientačných bodov tváre 3.2.3. Pred tým si treba ujasniť ako tento prístup funguje. Prvý prístup bol pomocou všeobecných deskriptorov 3.1, ktoré pracovali s vyhodnocovaním bodov v celej oblasti získanej od detektora tváre. Narozdiel od neho sa v tomto prístupe zameriava priamo na konkrétne časti tváre. Na princípe konvolučnej neurónovej siete (CNN) je založená funkcionálna tohto prístupu. Pri vyhodnocovaní experimentov sú použité dátové súbory, ktoré sú už vytrénované na určitej databáze tvárí. Pri experimentoch je použitý dátový súbor `shape_predictor_68_face_landmarks.dat`, ktorý je súčasťou knižnice `dlib`.

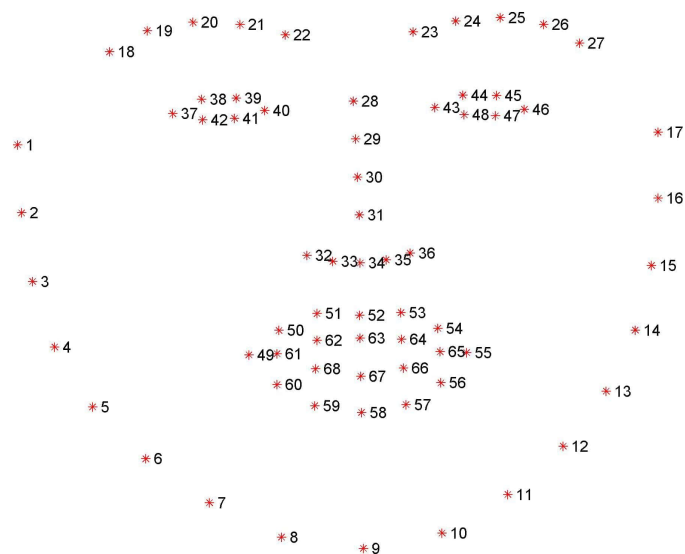
Orientačné body tváre sa dnes využívajú na rôzne účely. Vo väčšine prípadov sa jedná o tvárové filtre, rozpoznávanie emócií a podobne. Pri identifikácii tváre pod maskovaním je idea využiť tieto orientačné body tváre na jej identifikáciu. Jednotlivé pokusy o získanie čo najpresnejších výsledkov sú podrobnejšie rozpísané pri jednotlivých maskovania v časti 4.2.1.[22]

3.2.3 Princíp prediktora na získanie orientačných bodov tváre

Táto časť je zameraná na princíp fungovania dátového súboru `shape_predictor_68_face_landmarks.dat`, ktorý je súčasťou knižnice `dlib`. Tento dátový súbor je pomocou konvolučnej neurónovej siete (CNN) vytrénovaný tak, aby dokázal na jednotlivých tvárach rozpoznať 68 orientačných bodov tváre. Jednotlivé orientačné body tváre sú jednoznačne očíslované. Podľa týchto čísel sa jednotlivé súradnice dajú rýchlo vyhľadať v poli všetkých 68 orientačných bodov tváre. Graficky sú tieto body aj s číselným označením na obrázku 3.4.

Po inicializácii prediktora v pythone je následne prediktor spustený na vybraný obrázok tváre, na ktorom sa na základe svojich získaných skúseností snaží určiť jednotlivé orientačné body tváre podľa obrázku 3.4. Získaných 68 súradníc sa uloží do premennej. Následne sa

všetkých 68 súradníc zakreslí v podobe červených krúžkov do pôvodného obrázku. Tento obrázok sa uloží do vopred zvoleného priečinka a tento proces sa vykoná s ďalším obrázkom.



Obr. 3.4: Očíslované rozloženie 68 orientačných bodov tváre pre prediktor `shape_predictor_68_face_landmarks.dat`².

Ukážka funkcionality 68 bodového prediktora s dátovým súborom `shape_predictor_68_face_landmarks.dat` je zobrazená na kontrolnom obrázku 3.5 tváre bez použitia maskovania a bez použitia žiarenia. Na začiatok je vidno presná detekcia tváre vďaka detektoru 3.2.1, ktorá je zobrazená pomocou zeleného štvorčeka. Následne v detekovanej oblasti tváre 68 bodový prediktor na základe naučených poznatkov pomocou CNN našiel orientačné body tváre. Tieto body sú na snímke zobrazené pomocou červených krúžkov. Na prvý pohľad jednotlivé časti tváre súhlasia s nájdenými orientačnými bodmi tváre. Prediktor funguje na snímkach bez maskovania spoľahlivo. Cieľom skúmania pomocou nasledujúcich experimentov bude získať podobné výsledky, ktoré by mohli byť prínosné k určeniu orientačných bodov tváre. Podrobnejšie informácie a výsledky o jednotlivých experimentoch pri rôznych maskovaniach sú spracované v sekcii 4.2.1.

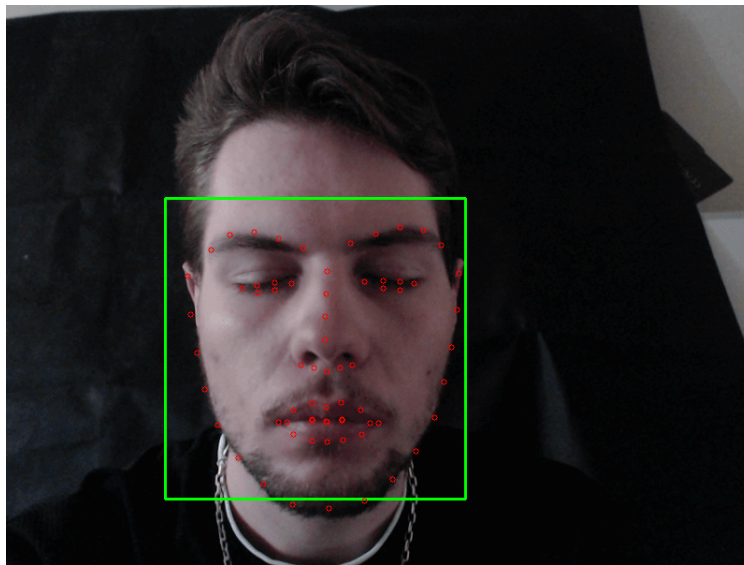
3.2.4 Implementácia prediktora na získanie orientačných bodov tváre

Jazyk Python je základom pri implementácii tohto prístupu na identifikáciu tváre pomocou prediktora na získanie orientačných bodov tváre. V Pythone sú využité napríklad knižnice `argparse`, `sys`, `os`, `re`, `OpenCV`, `dlib`... Na priloženom CD je k dispozícii skript s názvom `facial_landmarks.py`. Pri spúšťaní skriptu sa požadujú dva povinné vstupné argumenty a to zadanie zložky, v ktorej sa nachádzajú snímky maskovaných tvárí a druhým argumentom je zadanie zložky, do ktorej sa budú ukladať výsledné snímky po použití prediktora orientačných bodov tváre. Tretím nepovinným argumentom je prepínač `m`, ktorý preskočí proces detekcie tváre a nastaví oblasť tváre pre prediktor celú plochu snímky. Tento parameter sa

²Prevzaté z

https://www.pyimagesearch.com/wp-content/uploads/2017/04/facial_landmarks_68markup.jpg

dá použiť v prípade, ak sú na vstupe manuálne vystrihnuté tváre a proces detekcie tváre by tu bol už zbytočný.



Obr. 3.5: Aplikácia 68 bodového prediktora na kontrolný snímok tváre bez maskovania.

Po zadaní vstupných argumentov, v prípade že nie je zadáný prepínač `m` sa na aktuálnej snímke najprv hľadá tvár pomocou Hog detektoru tváre 3.2.1 z knižnice `dlib`. V prípade neúspešnej detekcie sa snímka skontroluje ešte aj starším Haar cascade detektorom tváre 3.1.1 z knižnice `OpenCV`. Pri neúspešnej detekcii tváre pomocou oboch detektorov tváre alebo pri zadaní prepínača `m` do argumentov skriptu, ktorý preskočí algoritmy na detekciu tváre sa použije celá snímka. Aby bolo vo výsledku jasné, s ktorou časťou snímky sa v nasledujúcom procese pracovalo, tak sa vyznačí ako zelený štvorec do výsledného obrázku. Následne sa použije 68 bodový prediktor orientačných bodov tváre 3.2.3. Získané orientačné body sa do obrázku zakreslia v podobe červených krúžkov. Na záver sa všetky snímky zo vstupnej zložky uložia do výstupnej zložky. Každá výsledná snímka, ktorá sa uloží do zložky je kvôli lepšej prehľadnosti pomenovaná názvom detektora, ktorý vykonal detekciu tváre a k tomu sa do názvu výslednej snímky pripojí pôvodný názov vstupnej snímky.

3.3 Extrakcia tváre pomocou kódovania tváre z obrázku

Nasledujúca časť sa zaoberá ďalším prístupom so snahou o identifikáciu tváre, ktorá je schovaná pod maskovaním. Na rozdiel od predchádzajúceho spôsobu, ktorý bol zameraný na hľadanie orientačných bodov tváre pomocou prediktora 3.2, tento prístup kóduje obrázok do 128 dimenzionálneho vektora. Údaje vo vektore sa nedajú ako v predchádzajúcich spôsoboch graficky zobrazit na spracovávanú snímku tváre. Nie je to možné práve kvôli spôsobu, ktorým vzniká spomínaný 128 bitový vektor. Implementácia tejto časti je pomocou jazyka Python s využitím knižnice `face_recognition`, ktorá zastrešuje časti knižnice `dlib`[11], ktoré súvisia s rozpoznávaním tvárí a sprehľadňuje prácu s nimi. Autorom tejto knižnice je Adam Geitgey a spadá pod MIT licenciu (slobodná softvérová licencia).

3.3.1 Detekcia tváre

Tak ako v každej časti, tak aj v tejto je veľmi dôležitá čo najpresnejšia detekcia tváre, aby boli dosiahnuté čo najlepšie výsledky. V aktuálnom prístupe ku problematike pomocou kódovania tváre z obrázka je dôležité, aby sa do časti kódovania dostala najdôležitejšia časť tváre. To bude mať za následok presnejšie výsledky.

Samotná detekcia tváre funguje primárne na princípe Hog detektora tváre 3.2.1, ktorý je súčasťou dlib knižnice. V prípade, že detektor tvár na fotografii nedokáže detekovať, tak dostane príležitosť sekundárny Haar cascade detektor tváre 3.1.1, ktorý je súčasťou knižnice OpenCV. Ak sa ani sekundárnemu detektoru nepodariť dostať priaznivé výsledky, tak následné spracovanie kódovania tváre zo snímky pracuje na celej ploche aktuálnej fotografie. Táto skutočnosť môže spôsobiť nepresné výsledky. Z tohto dôvodu sa takéto snímky odhadom ručne orežú na štvorec tváre, ktorý by mohol priniesť požadované výsledky. Na základe spracovania experimentov 4.2.1 sa ukáže, aký vplyv má manuálne orezanie na výsledok rozpoznávania tvárí.

3.3.2 Úvod do kódovania tváre z obrázku

Všeobecná otázka znie, že čo nás ako ľudí napadne pri hľadaní spôsobu, ktorým by sme boli schopný porovnávať dve rôzne tváre. Napríklad naše kritéria môže byť farba očí a pokožky alebo vzdialenosť medzi nosom a ústami. Možností čo nás napadne je viacero. Počítač však nepremýšľa tak ako človek. Z toho dôvodu nasledujúci spôsob kódovania tváre necháme čisto na počítač. Toho dosiahneme tak, že ho necháme nech sa s využitím konvolučných neurónových sietí sám naučí, ktoré parametre sú na detekciu tváre dôležité. Podstatou je to, aby si pri každej tvári na obrázku vygeneroval 128 meraní, ktoré si následne uloží do 128 dimenzionálneho vektora na ďalšie spracovanie.

Pri experimentovaní sa využíva na kódovanie tváre z obrázku vytrénovaný model dlib `_face_recognition_resnet_model_v1.dat`, ktorý je súčasťou knižnice dlib. V experimentoch sa k tomuto vytrénovanému modelu pristupuje cez použitú knižnicu `face_recognition`. Tento model bol vytrénovaný autorom Davisom Kingom na datasete, ktorý obsahoval cca 3 milióny obrázkov.[27] Základný princíp tréningu tohto modelu je popísaný v nasledujúcej časti 3.3.3.

3.3.3 Tréningový proces modelu kódovania tváre z obrázku

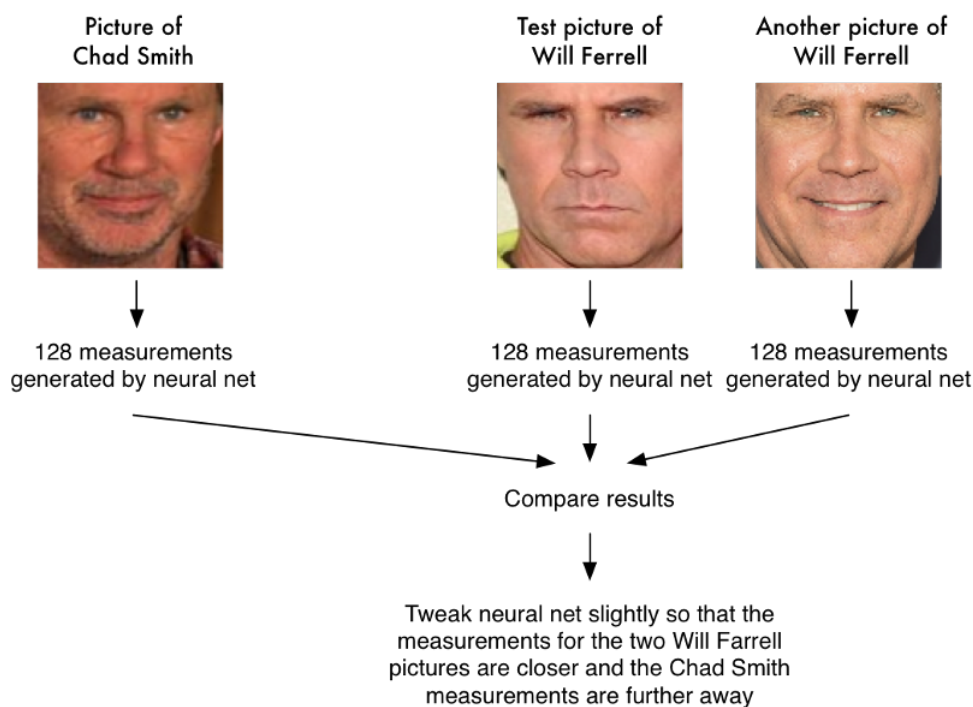
Všeobecne proces učenia na základe konvolučných neurónových sietí je veľmi náročný na hardvérové a časové požiadavky. Vytrénovaný model dlib `_face_recognition_resnet_model_v1.dat`, ktorý je použitý pri vyhodnocovaní podobnosti tvárí pri experimentoch 4.2.1 bol tréningovaný pri pohľade na 3 tváre naraz:

1. Obrázok tváre
2. Obrázok rovnakej tváre z iného pohľadu
3. Obrázok tváre inej osoby

Následne v procese učenia pomocou CNN algoritmus generoval pre každý obrázok 128 meraní. Následne tieto merania porovnával medzi spomínanými tromi obrázkami. Následne mierne upravuje neurónovú sieť, aby vygenerované merania medzi obrázkami rovnakej tváre dosahovali podobné hodnoty. Naopak porovnávaním medzi obrázkami medzi

rozdielnymi tvármi dosahovali vygenerované meranie čo najrozdielnejšie hodnoty. Schéma popisujúca tento proces učenia je zobrazená na obrázku 3.6.

Na vytrénovanie modelu, ktorý by takto dokázal kódovať tvár z obrázku je nutné tento proces vykonať niekoľko miliónov krát. Čím viac krát sa tento proces vykoná, tým budú výsledky presnejšie. Počas tohto procesu sa naučí generovať najvhodnejších 128 meraní pre každú tvár. Výhodou však je, že vytrénovanie modelu stačí vykonať len raz. Následne sa môže na základe naučených informácií opakovane používať aj na porovnávanie tvárí, ktoré sa v datasete tréningového procesu nenachádzali.[12]



Obr. 3.6: Schéma zobrazujúca princíp tréningovania modelu na kódovanie tváre z obrázku³.

3.3.4 Popis kódovania tváre z obrázku

Pri spúšťaní skriptu sa cez argumenty načíta databáza kontrolných tvárí a maskovaná fotografia, ktorú je treba identifikovať. Ako tomu bolo aj v predchádzajúcich častiach, tak je nutné detekovať tvár na obrázku. Pokiaľ sa z nejakého dôvodu tvár nepodarí detekovať, tak sa nastaví oblasť tváre na celú veľkosť snímky. Pri každej fotografii sa vygeneruje 128 meraní za pomoci vytrénovaného modelu 3.3.3 na kódovanie tváre z obrázku. Tieto merania sa nachádzajú v 128 dimenzionálnych vektoroch. Zoberú sa vektory dvoch snímok, ktoré sa navzájom medzi sebou porovnajú a vrátia Euklidovskú vzdialenosť. Táto získaná hodnota určuje či sa jedná o rovnaké tváre alebo nie. Všeobecne platí, že čím nižšia hodnota, tým väčšia pravdepodobnosť, že sa jedná o rovnaké tváre. Podľa skúseností a testovaní autora knižnice by výsledná hodnota Euklidovskej vzdialenosti pod 0.5 mala znamenať identickú osobu. Hodnota pod 0.6 by mala taktiež znamenať rovnakú osobu, ale nie je to úplne isté.

³Prevzaté z https://cdn-images-1.medium.com/max/800/1*n1R8VMYDRw3RN03JULYBpQ.png

3.3.5 Implementácia kódovania tváre z obrázku

Implementácia tohto prístupu na extrakciu tváre pod maskovaním je postavená na jazyku Python s využitím viacerých knižníc. Napríklad knižnice `face_recognition`, ktorá zastrešuje časti knižnice `dlib`, ktoré súvisia s rozpoznávaním tvárí a sprehľadňuje prácu s nimi. Ďalšími sú `OpenCV`, `numpy`, `sys`, `os`, `re`. . . Na priloženom CD sú k dispozícii 2 verzie skriptov.

Prvá verzia sa nazýva `distance_face_create_csv.py`. Na vstupe sa v podobe argumentov očakáva zložka s kontrolnými snímkami tváre, konkrétna snímka maskovanej tváre a prepínač `m` na ignorovanie algoritmov na detekciu tváre. Po spustení sa vykoná detekcia maskovanej tváre najprv pomocou HOG detektora tváre, ktorý je súčasťou knižnice `dlib`. V prípade, že by detekcia bola neúspešná, tak sa detekcia tváre vykoná pomocou staršieho Haar Cascade detektora tváre z knižnice `OpenCV`. V prípade, že ani tento detektor nedetekuje tvár, tak skript ako tvár určí oblasť celej snímky. Detekcia sa niekedy nemusí podať správne, pretože sa jedná o maskované tváre a detektory tváre sú primárne určené na detekciu nemaskovaných tvárí. V prípade neuspokojivých výsledkov detekčných algoritmov je možné do skriptu pridať manuálne orezanú tvár a tieto algoritmy na detekciu tváre preskočiť zadáním prepínača `m` do argumentov pri spúšťaní skriptu. Následne sa zobrazí snímka so zeleným štvorcom, ktorý ohraničuje detekovanú tvár. V prípade, že s detekciou nie sme spokojný, tak nám skript ponúkne možnosť napísať `quit` na ukončenie skriptu, aby sme mohli skúsiť ručne orezať snímku maskovanej tváre. Ak sme s detekciou spokojný, stačí stlačiť `enter` na pokračovanie skriptu. V Nasledujúcej časti skript vyhodnotí Euklidovskú vzdialenosť 3.3.4 medzi jednotlivými tvármi a vzostupne získané výsledky v podobe csv súboru sa nachádzajú v zložke, ktorá sa volá rovnako ako testovaná snímka. Obsahom csv súboru je názov kontrolnej snímky, detektor tváre, ktorý odhalil tvár a Euklidovská vzdialenosť medzi porovnávanými tvármi. Okrem csv súboru sa vytvorí aj zložka, v ktorej sa nachádzajú pre kontrolu snímky zo vstupnej databázy, na ktorých sú vyznačené zeleným štvorcom detekované časti tváre. Táto kontrola sa odporúča napríklad využiť v prípade, ak by sme mali záujem skontrolovať detekciu tvárí kontrolných snímok či náhodou nedošlo pri ich detekcii k chybe.

Druhá verzia skriptu sa nazýva `distance_face_create_more_csv.py`. Jednalo sa pokus trošku zrýchliť proces identifikácie tvárí v prípade, že by bolo k dispozícii viacero záberov maskovanej tváre. Rozdiel je vo vstupných parametroch. Prvý parameter obsahuje databázu kontrolných snímok. Druhý parameter obsahuje viacero snímok jedného maskovaného zločínca alebo všeobecne viacero maskovaných lupičov. Tretí parameter je voliteľný a jeho úlohou je preskočiť detekčné algoritmy tváre v prípade, že sú k dispozícii manuálne pripravené snímky na ďalšie spracovanie. To spočíva v tom, že každá snímka maskovanej tváre sa porovná s kompletnou databázou kontrolných tvárí a výsledky sa uložia do adresárovej štruktúry `results` a názov maskovanej snímky. Tu bude dostupný csv súbor s výsledkami a kontrolná zložka obsahujúca snímky so zelenými štvorčekmi, aby bolo jasné či získané výsledky sú správne. Vzhľadom na to, že detektory tváre nie sú určené na detekciu maskovaných tvárí a niekedy sa stáva, že detektor zaznamená na fotografii niečo iné ako maskovanú tvár. Vtedy sú výsledky porovnania tvárí nepoužiteľné. Z tohto dôvodu tento spôsob identifikácie viacerých tvárí naraz nemusí byť vždy úspešný. Na základe tohto zistenia táto druhá verzia nemusí tento proces identifikácie tváre zrýchliť tak ako sa predpokladalo. V prípade, že budú všetky maskované tváre orezané ručne, tak je možné použiť pri spustení skriptu prepínač `m`, ktorý preskočí algoritmy na detekciu tváre.

3.4 Vytvorenie vlastnej databázy snímok pomocou IR osvetľovacieho modulu

Tvorba vlastnej databázy ľudí nasnímaných pomocou IR osvetľovacieho modulu je dôležitou súčasťou tejto práce. Na začiatku som osvetľovací IR modul vyskúšal na sebe. Testovanie zahŕňovalo skúšanie IR osvetľovacieho modulu s rôznou intenzitou, s rôznym maskovaním, v rôznych vzdialenostiach, s viacerými kamerami. . . Všetky získané snímky a poznatky sa zanalyzovali a následne boli na nich postavené experimenty 4.2.1 s najčastejšie používaným maskovaním.

Na základe získaných poznatkov z experimentovania na vlastných fotografiách som sa rozhodol do výslednej databázy tvári nezahrnúť fotografovanie pomocou obyčajnej web kamery s IR filtrom a s použitím IR osvetľovacieho modulu, ktorý by musel pracovať na maximálnom prúde 3500 mA. Obrovská nevýhoda bola v tom, že žiarenie bolo veľmi silné. Pri vytváraní snímok som mal zatvorené oči, pretože IR žiarenie bolo veľmi nepríjemné pre oči aj keď som sa nepozeral priamo do IR osvetľovacieho modulu. V praxi by sa to preto veľmi ťažko využívalo. Ďalšie mínus by bolo, že by to znamenalo vyššie prevádzkové náklady. Muselo by sa zabezpečiť lepšie chladenie, ak by to malo pracovať dlhšiu dobu a podobne. Navyše pri použití kamery bez IR filtra boli dosiahnuté podobné výsledky na oveľa nižšom vstupnom prúde, ktorý sa pohyboval pod hranicou 700 mA. Na jednu stranu zariadenie nepracuje na plný výkon, ale hlavne IR žiarenie z IR osvetľovacieho modulu nie je nepríjemné pre oči a človek ich nemá tendenciu zatvárať. Narozdiel ako tomu bolo v prípade, keď IR osvetľovací modul pracoval naplno.



Obr. 3.7: Porovnanie maskovanej tváre s použitím IR osvetľovacieho modulu s prúdom 3,5A snímanej pomocou kamery bez a s IR filtrom.

Na obrázku 3.7 je pohľad na tváre, ktoré sú nasnímané pomocou IR osvetľovacieho modulu, ktorý pracoval pri prúde o maximálnej veľkosti 3500 mA. Žiarenie IR osvetľovacieho modulu bolo navyše veľmi nepríjemné, tak na oboch snímkach mám zavreté oči. Na ľavej strane sa nachádza snímka vyhotovená pomocou čiernobielej kamery bez IR filtra. Snímka je celá prepálená a zanikajú tam všetky kontúry tváre. Na pravo sa nachádza snímka vytvorená kamerou s IR filtrom, kde sú pri tomto silnom IR žiarení viditeľné určité kontúry tváre.



Obr. 3.8: Porovnanie maskovanej tváre s použitím IR osvetľovacieho modulu s prúdom cca 0,5A snímanej pomocou kamery bez a s IR filtrom.

Pre zmenu na nasledujúcom obrázku 3.8 sa jedná o maskované tváre, ktoré sú nasnímané pri IR žiarení z IR osvetľovacieho modulu, ktorý pracoval pri prúde cca 500 mA. To je zhruba 7-krát menej ako tomu bolo v predchádzajúcom prípade. Fotografia vľavo je nasímaná pomocou kamery bez IR filtra. Cez šatku je vidno presvitať obrysy nosa a úst. Podobné presvitanie kontúr nosa a úst je aj na obrázku 3.7 nasnímanom kamerou s IR filtrom, ale pri maximálnom prúde IR osvetľovacieho modulu. Na pravej strane obrázku 3.8 je snímka nasnímaná pomocou kamery s IR filtrom. Na prvý pohľad nie je vidno presvitať žiadne obrysy tváre a fotka vyzerá ako keby sa jednalo iba o kontrolnú fotografiu bez IR žiarenia.

Výsledná databáza sa nachádza na CD a skladá sa z 12 ľudí, ktorá obsahuje 6 chalanov a 6 dievčat. Každý zo zúčastnených sa v databáze nazýva písmenom od b po m. Databáza je rozdelená podľa písmen do zložiek. Nachádza sa tu aj zložka s menom control, v ktorej sa nachádzajú nemaskované snímky všetkých zúčastnených ľudí. Práve pri identifikácii maskovaných tvárí sa hľadá správna nemaskovaná tvár v zložke control medzi všetkými nemaskovanými tvármi. Každý človek má v databáze 11 druhov snímok. Tri kontrolné snímky bez maskovania a bez IR žiarenia pomocou mobilu, čiernobielej kamery bez IR filtra a menej kvalitného záberu z web kamery snímaného z väčšej vzdialenosti a pri nižšom rozlíšení. Mohlo by to reprezentovať situácie, keby bola k dispozícii databáza nemaskovaných podozrivých získaná napr. pomocou mestského kamerového systému, priemyselných kamier a podobne. Nasledujúcich 8 druhov snímok sa spája s konkrétnym scenárom maskovania. Pri každom scenári maskovania je vykonaná jedna kontrolná snímka mobilom bez použitia IR žiarenia a snímky s použitím IR osvetľovacieho modulu a čiernobielej kamery bez IR filtra.

Kapitola 4

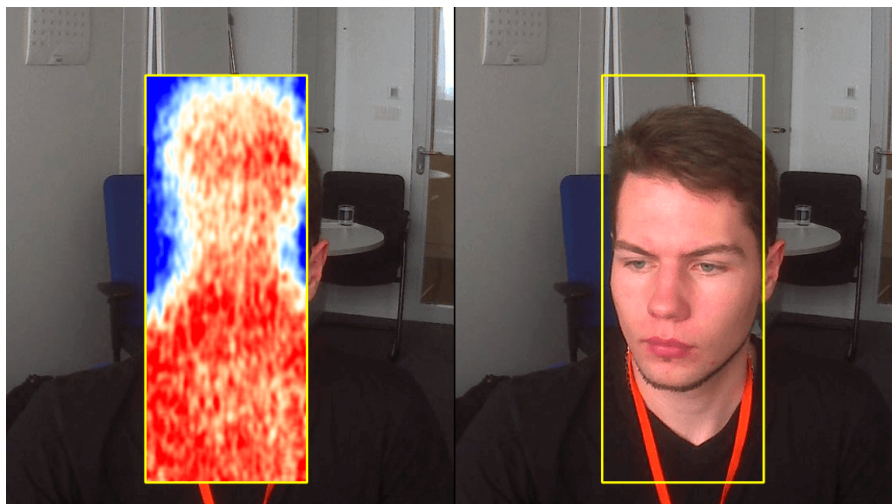
Experimenty

V tejto kapitole sú popísané praktické priebehy experimentov na princípe THz žiarenia 4.1 a pomocou IR žiarenia 4.2. Kapitola popisuje prácu s jednotlivými zariadeniami a následné vyhodnotenie jednotlivých experimentov na základe aplikácie rôznych prístupov na dosiahnutie čo najlepších výsledkov. Experimentálne nadobudnuté výsledky sú získané rôznymi nastaveniami zariadení, širokým spektrom použitých spôsobov a ich pozorovaním aký majú vplyv na výsledky. Pri všetkých experimentoch sú výsledky vyhodnocované na základe porovnania maskovaných tvárí s vytvorenými kontrolnými snímkami nemaskovaných tvárí.

4.1 Terahertzové vlnenie

4.1.1 Základné informácie o priebehu experimentov

V tejto časti sú popísané priebehy experimentov, scenáre maskovania pri testovaní a rôzne nastavenia terahertzového zariadenia. Jedná sa o špecializované zariadenie, takže sa tam nachádzajú obmedzené nastavenia. Všetky dostupné nastavenia boli upravované a testovaním sa zisťovali ich výhody a nevýhody. Pre ukážku vizuálneho zobrazenia výsledkov sú snímky vykonané v rôznych farebných schémach, ktoré sa spomínajú v sekcii 2.1.2.



Obr. 4.1: Vzdialenosť okolo 40 cm od snímacieho zariadenia.

Vzhľadom na to, že sa testovanie uskutočnilo v spoločnosti Siemens, tak som snímanie na terahertzovom zariadení podľa scenárov maskovania vykonával sám. Výber maskovania bol vytvorený kombináciou najčastejšie sa vyskytujúcich maskovaní pri trestných činnostiach. Maskovania pozostávali zo šiltovky, mikiny s kapucňou, okuliarov, šatky cez tvár a kukly.

Na základne pozorovania výsledkov pri experimentoch sa hľadala ideálna vzdialenosť snímania. Jeden z pokusov sa uskutočnil vo vzdialenosti cca 40cm od zariadenia. Pri pohľade na výsledok sa ukázalo, že je neuspokojivý. Vizualne to je zobrazené na obrázku 4.1. Snímacie zariadenie terahertzových vĺn ma vykreslilo trochu nezaostrene. Vzniká tam aj nepresnosť pri zobrazení medzi normálnou kamerou a THz detektorom, pretože podľa normálnej kamery je snímaná iba moja tvár, ale na ľavej strane je vidno, že detektor terahertzových vĺn detekuje väčšiu plochu v menšej kvalite, pretože zariadenie je prispôbené na detekciu skrytých predmetov vo vzdialenosti minimálne 3 metre od zariadenia. Po ďalších experimentoch sa ukázalo, že naozaj minimálna vzdialenosť, od ktorej sa zobrazovali korektne výsledky bola na hranici 3 metre od snímacieho zariadenia. Experimenty na detekciu tváre sa teda vykonávali vo vzdialenosti cca 3 metre od snímacieho zariadenia.

Scenáre maskovania

1. Žiadne maskovanie $\Rightarrow$ kontrola 4.1.2
2. Šiltovka + slnečné okuliare 4.1.3
3. Šiltovka + šatka cez tvár + kapucňa 4.1.4
4. Šiltovka + slnečné okuliare + kapucňa 4.1.5
5. Slnečné okuliare + kapucňa 4.1.6

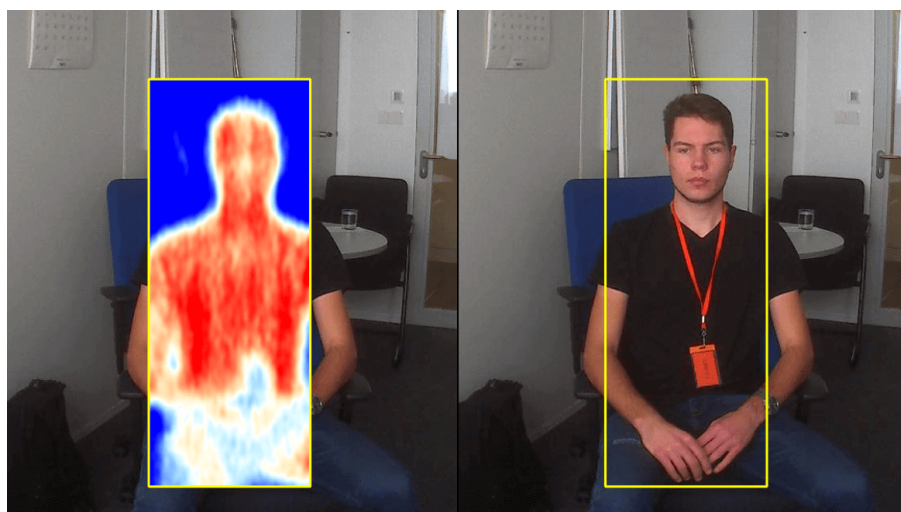
4.1.2 Kontrolný experiment

V tomto experimente nebolo zvolené žiadne maskovanie. Zameranie experimentu bolo na nasnímanie kontrolných záberov bez maskovania za použitia terahertzového žiarenia. Skúmalo sa akým spôsobom dokáže THz zariadenie zobraziť tvár bez maskovania, aby bolo možné tieto poznatky využiť pri vyhodnocovaní nasledujúcich snímok s maskovaním tváre pomocou THz zariadenia.

Kontrolných experimentov bolo vykonaných viacero s použitím rôznych nastavení so snahou získať čo najlepšie výsledky. Na demonštráciu boli vybraté dve najzaujímavejšie ukážky testov s použitím rôznych farebných schém. Na jednej strane je viditeľný vizuálny rozdiel medzi jednotlivými farebnými schémami, ale okrem zmeny farby sú tam rozdiely aj v ďalších nastaveniach. Ako bolo spomínané pri popise zariadenia v sekcii 2.1.2, tak pri tomto zariadení sa dá nastaviť aj manuálne teplotné rozmedzie. Pri týchto kontrolných experimentoch boli vykonávané testovania s týmto nastavením v snahe nájsť taký teplotný rozsah, aby bolo možné dostať aspoň nejakú podobu tváre, ktorá by sa mohla dať nejakým spôsobom porovnať s fotografiou normálnej tváre.

Na obrázku A.1 je použitá modro-biela farebná schéma. Nastavený tam je teplotný rozsah 34°C – 39°C. Toto teplotné rozmedzie bolo testované z dôvodu, že pokiaľ by sa detektor zameral na teplotnú škálu ľudského tela, tak by jednotlivé časti tváre mohli byť vykreslené viacerými odtieňmi farieb, podľa ktorých by sa mohli dať rozpoznať nejaké základné črty tváre, ktoré by mohli byť dôležité v nasledujúcom procese rozpoznávania tváre.

Pri pohľade na obrázok A.1 sa nachádza v oblasti nosa tmavomodrá škvrna. Táto škvrna tam vznikla práve kvôli malému teplotnému rozsahu. V deň testovania som bol trochu nachladnutý a mal som nádchu. Sople, ktoré sa nachádzali v nose spôsobili túto tmavomodrú škvrnu. Zabraňovali vyžarovaniu prirodzených terahertzových vĺn, ktoré telo normálne vyžaruje. V sekcii 2.1.2 sa spomínalo, že pri detekcii THz žiarenia zariadením je teplota priamoúmerná vyžarovanému THz žiareniu z predmetov. Z toho teda vyplýva, že sople pohltia časť THz žiarenia, ktoré telo vyžaruje do detektoru zariadenia. Na základe prijatého THz žiarenia určí detekované miesta, ktoré zodpovedajú teplotnému rozsahu $34^{\circ}\text{C} - 39^{\circ}\text{C}$ a zobrazí ich na monitore v zvolenej farebnej schéme. Keďže zachytená hodnota THz žiarenia z oblasti nosa nespadá do zvoleného teplotného rozsahu, tak sa zobrazuje ako tmavo-modrá farba. Touto farbou je zobrazené aj pozadie, respektíve plastová kartička, ktorú mám zavesenú na krku, opasok, mobil vo vrecku...



Obr. 4.2: Modro-červená farebná schéma zobrazenia.

Obrázok 4.2 na ukážku zobrazuje modro-červenú farebnú schému. Teplotný rozsah je nastavený na interval $25^{\circ}\text{C} - 39^{\circ}\text{C}$. Myšlienka tohto intervalu je, že v miestnosti bolo okolo 25°C . Otázka bola či to bude mať nejaký vplyv na výsledky zobrazenia tváre, keď sa minimálny prah teplotného rozsahu nastaví na hodnotu teploty prostredia. V tomto teplotnom rozsahu je vidno v oblasti nosa zmenu na výslednom zobrazení narozdiel od obrázku A.1, kde sa v oblasti nosa nachádzala jednofarebná modrá škvrna. Oblasť nosa je tento raz v odtieňoch červenej na rozdiel od kartičky a opasku, pretože spodný prah teploty je nastavený na 25°C . Sople v nose nepohltia toľko THz žiarenia vyžarovaného ľudským telom, ktoré by reprezentovalo teplotu okolo spodného prahu 25°C .

4.1.3 Maskovanie pomocou šiltovky a slnečných okuliarov

Na obrázku A.2 je použitá modro-biela farebná schéma na zobrazovanie výsledkov. Teplotný rozsah je nastavený hodnotami $34^{\circ}\text{C} - 39^{\circ}\text{C}$. Tento teplotný rozsah zodpovedá približne teplote ľudského tela. Pri porovnaní s kontrolným obrázkom A.1 bez maskovania sa predpokladalo, že výsledný obrázok bude vyzeráť podobne s nedostatkom v podobe nádchy. V tomto experimente to obmedzenie teplotného rozsahu z dola na hodnotu 34°C spôsobilo, že šiltovka s okuliarmi pohltili toľko THz žiarenia, že detektor THz žiarenia zaznamenal

tieto hodnoty pod nastaveným minimálnym prahom detekcie. Z toho dôvodu nevidíme celú polovicu hlavy.

Dôvodom prečo na obrázku A.2 nevidíme polovicu hlavy je ten, že zariadenie s technológiou ThruVision 2.2 funguje na pasívnom princípe detekcie THz žiarenia, ktoré vyžaruje ľudské telo, objekty. . . Keďže detekcia THz žiarenia v zariadení je priamoúmerná teplote, tak šiltovka spoločne s okuliarmi pohltí toľko THz žiarenia z oblasti hlavy, že hodnota výsledného THz žiarenia je priamoúmerná hodnote pod 34°C, ktorá je detekovaná na detektore THz žiarenia.

Na obrázku A.3 je zvolená modro-červená farebná schéma na zobrazovanie výsledkov. Teplotný rozsah je nastavený na rozsah 25°C–39°C. Tento spodný prah teplotného rozsahu zodpovedá približne teplote v miestnosti a horná hranica zas teplote ľudského tela. Pri pohľade na obrázok sú viditeľné základné obrysy tváre. Šiltovka stále zabraňuje prenikaniu časti THz žiarenia vyžarovaného ľudským telom do detektoru. Spodný teplotný prah je nastavený na hodnotu 25°C. Narozdiel od predchádzajúceho teplotného rozsahu z obrázku A.2 je viditeľná bledo oranžová farba v miestach pod okuliarmi a bledomodrá farba pod šiltovkou. Zaujímavé je, že na základe podobného odtieňa farby spôsobila nádcha približne rovnakú stratu THz žiarenia ako šiltovka.

4.1.4 Maskovanie pomocou šiltovky, šatky cez tvár a kapucne

Na obrázku A.4 je opäť použitá modro-červená farebná schéma na zobrazovanie výsledkov. Táto farebná schéma bola často využívaná kvôli môjmu subjektívnemu pocitu z tejto farebnej kombinácie. Teplotný rozsah bol nastavený na rozsah 25°C–39°C. Tento teplotný rozsah bol zvolený z dôvodu výsledkov predchádzajúcich testov.

Pri podrobnejšom pohľade na obrázok A.4 je možné pozorovať, že šatka cez tvár, ktorá je z obyčajnej látky podobne ako napríklad tričko nemá žiadny vplyv na zobrazenie tváre pomocou THz žiarenia. Pri porovnaní s kontrolným experimentom na obrázku 4.2 v oblasti pod šatkou nie je vidno žiadne výrazné rozdiely. Na druhú stranu tam nie sú viditeľné ani žiadne záchytné body na extrakciu tváre. Šiltovka na výsledok vplýva podobne ako pri predchádzajúcom experimente na obrázku A.3. Drobný rozdiel je v hornej časti hlavy. Kapučňa z hrubšej mikiny zasahuje do oblasti tváre a zachytáva časť THz žiarenia z oblasti tváre. Výsledkom toho je, že na obrázku A.4 pôsobia základné obrysy tváre kapučňa, ktorá ich zužuje a tieto obrysy tváre vyzerajú odlišne od kontrolného obrázka 4.2 bez kapucne. Nádcha je v oblasti nosa stále viditeľná.

4.1.5 Maskovanie pomocou šiltovky, slnečných okuliarov a kapucne

Na obrázku A.5 je použitá opäť modro-červená farebná schéma na zobrazovanie výsledkov. Tento opätovný výber bol popisovaný pri predchádzajúcom maskovaní 4.1.4. Teplotný rozsah bol zvolený na rozmedzie 25°C–39°C. Tento teplotný rozsah je opäť použitý z výsledkov testov, ktoré boli popísané časti 4.1.2.

Pri pohľade na obrázok A.5 je vidno, že v hornej časti zakrývajú hlavu šiltovka a kapučňa zároveň. Na výslednom snímku pomocou detektoru THz žiarenia je vidno, že iba časť THz žiarenia z oblasti hlavy prenikla až k samotnému detektoru. Na výslednom zobrazení po získaní hodnôt z THz detektora je v oblasti čela, kde sa nachádza šilt vidieť kúsok tmavomodrej farby. Toto zobrazenie znamená, že hodnota THz žiarenia bola priamoúmerná teplote zvoleného spodného prahu okolo hodnoty 24°C. Slnečné okuliare nemajú veľmi veľký vplyv na tvár počas tohto teplotného rozsahu v porovnaní s kontrolným experimentom na obrázku 4.2. Mikina je pritlačená ku celému spodnému obvodu hlavy. To

spôsobuje, že zohriaty teplý vzduch pod mikinou nemôže dobre unikáť popri krku a hromadí sa v oblasti spodnej časti tváre, kadiaľ sa dostáva veľmi pomaly von. Vďaka tomu vidíme oproti kontrolnému obrázku 4.2 trochu tmavší odtieň červenej farby v oblasti brady a úst.

4.1.6 Maskovanie pomocou slnečných okuliarov a kapucne

Na obrázku A.6 bola použitá modro-červená farebná schéma na zobrazovanie výsledkov. Dôvod výberu bol popisovaný v predchádzajúcom experimente 4.1.4. Teplotný rozsah bol nastavený opäť na rozmedzí hodnôt 24°C – 39°C . Tento teplotný rozsah bol zvolený ako najideálnejší na základe predchádzajúcich testovaní.

Pri pohľade na obrázok A.6 je vidno, že mikina je normálne zapnutá zipsom a na hlave sa nachádza kapucňa. V miestnosti bolo pocitovo dosť teplo a mikina tej teplote ešte pridala. Na výsledkoch záberu z detektoru THz žiarenia sa nachádza v spodnej časti tváre tmavo červené farebné spektrum a nie je tam vidno žiadne bledšie odtiene ako tomu bolo napríklad na kontrolnom obrázku 4.2. Tento efekt môže byť spôsobený 2 faktormi. Jednou z možností je to, že mi bolo v mikine teplo a zvýšila sa mi teplota tváre, čo sa odzrkadlilo na zachytenej hodnote THz žiarenia na detektore, ktorá sa blížila k zadanej hornej hranici. Druhá možnosť pozostáva z toho, že to môže byť spôsobené prúdom horúceho vzduchu, ktorý sa akumuluje pod mikinou a vo väčšom množstve sa uvoľňuje smerom hore popred tvár do okolia.

Pri porovnaní s obrázkom A.5, kde sa v spodnej časti tváre nachádza tmavšia červená farba v menšom rozsahu. Mikina je zapnutá zipsom ako aj v tomto experimente, ale kapucňa je po celom obvode pritlačená o krk. Z toho vyplýva, že tam nie je dostatok priestoru na rýchly únik teplého vzduchu von ako je tomu v tomto experimente. Ďalší predchádzajúci experiment s mikinou bol na obrázku A.4. V tomto prípade bola kapucňa mikiny na hlave, ale samotná mikina bola rozopnutá a iba tak symbolicky prehodená cez ramená. Tým pádom sa teplý vzduch netlačí hore pred tvár a na výslednom obrázku sa nenachádza žiadny červený opar v spodnej časti tváre. Na tomto obrázku je spodná časť zobrazená podobne ako spodná časť tváre z kontrolného testu. Keď sa vrátim k obrázku A.6, tak okuliare výrazne neovplyvňujú výsledok zobrazenia tváre oproti kontrolnému testu. Kapucňa pohlcuje časť energie, ale určitá časť energie sa dostane až ku detektoru a v konečnom dôsledku sa tam zobrazí v podobe bledomodrej farby.

4.1.7 Identifikácia tváre pomocou nasnímaného materiálu

Po vykonaní dostatočného množstva nasnímaného materiálu za rôznych podmienok je potrebné spraviť analýzu týchto materiálov a pokúsiť sa dopracovať k očakávanému výsledku. V kapitole 4.1.1 sú spracované výsledky nasnímaných scenárov v jednotlivých situáciách, ktoré boli vyhodnotené na základe znalostí o THz zariadení a aktuálnej situácii v konkrétnom scenári na základe vizuálnej stránky. Ľudské oči môžu niekedy niečo prehliadnuť, tak z toho dôvodu je dobré si to preveriť aj pomocou počítačového videnia.

Na porovnanie tvárí existujú v dnešnej dobe aj profesionálne programy. Na identifikáciu tváre zo získaných snímok z tohto snímania bol využitý program MegaMatcher na porovnanie tvárí od spoločnosti Nerotechnology, ktorá bola v roku 1990 založená v Litve. Konkrétne program MegaMatcher, ktorý slúži na rozlišovanie tvárí začal fungovať od roku 2005 a na jeho vývoji a zdokonaľovaní sa neustále pracuje. Princíp porovnávania tvárí programu MegaMatcher je založený hlavne na modeloch, ktoré sa učili na princípe neurónových sietí. Porovnanie tvárí fotiek prebieha tak, že sa do programu MegaMatcher pridajú dve konkrétne snímky tvárí alebo hľadaná snímka tváre, ktorá sa porovná s databázou tvárí.

Následne hľadá čo najlepšie zhody s fotkami v databáze. Pred samotným porovnaním tváří musí byť program schopný pomocou detektora tváre detekovať tvár na fotografii. Pokiaľ sa mu to nepodarí, tak program napíše chybu, že nedokázal detekovať tvár. Z toho vyplýva, že porovnanie tváří nie je možné.[21]

Nasnímané fotografie z THz zariadenia boli vložené do programu MegaMatcher. Mali sa porovnať s referenčnou fotografiou rovnakej tváre bez maskovania. Toto porovnanie sa nepodarilo uskutočniť, pretože program MegaMatcher z nasnímaného materiálu s využitím terahertzového vlnenia nedokázal detekovať tvár. To znamená, že porovnanie pomocou tohto programu nebolo možné. Následne som sa pokúšal tieto snímky z THz zariadenia upravovať aplikovaním rôznych grafických filtrov. Žiadny z mojich pokusov nepriniesol úspech a program MegaMatcher nebol schopný na snímkach detekovať tvár.

4.1.8 Zhrnutie experimentov s použitím THz vlnenia

V tejto časti sú zhrnuté poznatky, ktoré som nadobudol počas svojho času, ktorý som venoval terahertzovému vlneniu. Veľmi zaujímavé bolo na vlastné oči si pozrieť a navyše aj vyskúšať ako sa pracuje s takýmto zariadením, ktoré funguje na princípe terahertzových vĺn. Technika sa posúva dopredu míľovými krokmi a toto zariadenie je toho jasným dôkazom. Konkrétne mnou testované zariadenie bolo špeciálne vyvíjané tak, aby dokázalo identifikovať skryté predmety pod oblečením. Zariadenie má všetko od hardvéru až po softvér prispôbené k tomuto účelu, aby patrilo k absolútnej špičke v oblasti. Navyše je toto THz zariadenie vyšperkované rôznymi softvérovými vychytávkami na uľahčenie a skvalitnenie detekcie skrytých predmetov.

Čo sa týka extrakcie tváre, tak to nie je ideálne zariadenie. Jedným z dôvodov je ideálna vzdialenosť detekcie od 3-och metrov. Ďalší z dôvodov je pevne stanovená frekvencia na 0,25 THz, ktorá nie je ideálna na extrakciu tváre. Mnou testované zariadenie využíva pomerne drahú technológiu a je otázne ako sa bude v budúcnosti cena tejto technológie vyvíjať. Pre niektoré inštitúcie je samozrejme bezpečnosť na prvom mieste. V prípade, že by to spoľahlivo fungovalo, tak by túto technológiu využívala bez ohľadu na cenu. V sekcii 2.1.1 je napísané, čo by mohlo pozitívne ovplyvniť a zlepšiť výsledky získané pomocou terahertzového vlnenia. Ideálne by boli výskumy a testovania v takom nasadení a precíznosti, ako boli robené pri vytvorení tohto zariadenia na detekciu skrytých objektov.

Pár slov k zhrnutiu výsledkov experimentov, ktoré boli vykonávané v spoločnosti Siemens v Prahe. Detailný popis je napísaný pri jednotlivých experimentoch v sekcii 4.1.1. V jednotlivých experimentoch sú snímky bez maskovania, ktoré slúžia na porovnanie výsledkov so snímkami s maskovaním. Experimentovaním s nastavovaním rôznych teplotných rozsahov sa dospelo k záveru, že ideálny rozsah na detekciu tváří je 24°C – 39°C. Experimenty prebiehali vo vzdialenosti cca 3 metre od snímacieho zariadenia. Na základe vyhodnocovania výsledkov detekcie tváří sa zistilo, že negatívne ovplyvňovala výsledky napríklad nádcha, ktorá zabráňovala THz žiareniu vyžarujúcemu z tela, aby sa dostala do detektoru. Náhľad napríklad na obrázku A.3. Ďalší negatívny prejav bol únik tepla spod bundy, ktorý vytvoril akoby štít a skreslil celú spodnú časť tváre až po nos na obrázku A.6. Pozitívne však bolo to, že pri pohľade na kontrolnú snímku bez maskovania a niektoré snímky s maskovaním vyzerali výsledné snímky podobne. Čo znamená, že materiál na tvári neovplyvnil výsledok detekcie THz žiarenia. Nevýhodou však je, že ani z kontrolnej fotografie bez maskovania nie je možné zistiť kto sa na snímke nachádza.

4.2 IR osvetľovací modul

Táto časť obsahuje popis priebehu experimentov s využitím IR osvetľovacieho modulu. IR osvetľovací modul spolu s jeho parametrami je popísaný v kapitole 2.2.2. Experimenty sú rozdelené do kategórií podľa testovaného maskovania. Každý druh maskovania je podrobne spracovaný a popísaný vo svojej kategórii. Fotenie maskovaných snímok bolo vykonané dvoma spôsobmi. Prvým spôsobom bolo využitie klasickej web kamery s IR filtrom. Pri tejto kamere bolo nutné nastaviť IR osvetľovací modul naplno, aby bolo vidno aspoň nejaký rozdiel oproti kontrolnej fotografii bez IR osvetľovacieho modulu. Obrovským nedostatkom bolo to, že svetlo z IR osvetľovacieho modulu bolo na pohľad veľmi nepríjemné a nútilo ma to zavrieť oči aj keď som sa nepozeral priamo do IR osvetľovacieho modulu. Druhý spôsob bolo využitie čiernobielej kamery DMM 37UX252-ML bez IR filtra. Pri tejto kamere stačilo omnoho slabšie IR žiarenie. Najväčšie pozitívum bolo, že IR žiarenie z osvetľovacieho modulu nebolo nepríjemné a dalo sa normálne pozeráť a nebolo nutné zatvárať oči.

4.2.1 Základné informácie o priebehu experimentov

Základnou otázkou experimentov je, či má IR osvetľovací modul vôbec nejaký efekt pri odhaľovaní maskovaného páchatela. Napríklad na obrázku 3.8 sa dá demonštrovať, či to má aspoň nejaký vplyv. Na ľavej strane je umiestnená maskovaná tvár s použitím IR osvetľovacieho modulu. Na pravej strane obrázku je síce maskovaná tvár s použitím IR osvetľovacieho modulu a kamery s IR filtrom, ale IR žiarenie je tak slabé, že ho IR filter na kamere pohltí a vizuálne to vyzerá ako keby sa jednalo o kontrolnú snímku bez použitia IR žiarenia. Na prvý pohľad je vidno, že medzi jednotlivými tvármi je vizuálny rozdiel, ktorý sa týka viditeľnosti kontúr tváre. Na snímke vpravo presvitajú kontúry nosa a úst. Na snímke vľavo tieto časti tváre vďaka maskovaniu rozoznať nie je možné.

Ďalšia dôležitá časť v tomto experimente je aký vplyv na výsledky má vzdialenosť maskovanej tváre od IR osvetľovacieho modulu. Vzdialenosť je ďalšia vec, ktorá ovplyvňuje výsledky snímania. V prípade použitia rovnakého typu maskovania a rovnakého vstupného prúdu na IR osvetľovacom module je možné sledovať aké vizuálne výsledky vypozerujeme na maskovanej tvári. Na obrázku A.7 je v ľavej časti obrázku maskovaná tvár vo vzdialenosti cca 0,3 m od IR osvetľovacieho modulu. V pravej časti obrázku je maskovaná tvár vo vzdialenosti cca 0,6 m od IR osvetľovacieho modulu. Už na prvý pohľad je vidno, že na maskovanej tvári bližšie k osvetľovaciemu modulu je trochu vidno presvitať obrysy nosu a úst. Na maskovanej tvári, ktorá je viac vzdialená od IR osvetľovacieho modulu nedokážeme s určitosťou identifikovať obrysy tváre pod maskovaním.

Okrem vzdialenosti tváre od IR osvetľovacieho modulu ovplyvňuje výsledky snímania tvári aj intenzita žiarenia. Tá sa na IR osvetľovacom module nastavuje na základe zmeny veľkosti prúdu. Ak by sme zafixovali maskovanie a vzdialenosť tváre, tak je možné dosahovať rôzne výsledky na základe zmeny intenzity IR žiarenia. Napríklad medzi obrázkom 3.7 a obrázkom 3.8 je vidno dopad intenzity IR žiarenia na výsledky. Pri zábere kamery s IR filtrom pri nízkej intenzite IR žiarenia nie je viditeľná žiadna viditeľná kontúra tváre. Pri zmene intenzity na maximum je už nejaké kontúry tváre vidno. Naopak pri kamere bez IR filtra pri maximálnej intenzite IR žiarenia je to prepálené a nie je možné identifikovať žiadne obrysy tváre. Pri nízkej intenzite IR žiarenia je vidno tvary nosa a úst pod maskovaním. V databáze fotografií sa nachádzajú aj v niektorých prípadoch použité viaceré intenzity žiarenia pre jeden druh maskovania. Počítačové videnie funguje na inom princípe ako naše ľudské, tak pri rôznych intenzitách IR žiarenia môžu nastať rôzne výsledky.

Výsledky pri pôsobení IR žiarenia z IR osvetľovacieho modulu ešte ovplyvňuje aj hrúbka materiálu maskovania pri predpoklade, že maskovaná tvár je snímaná rovnakou kamerou, ktorá sa nachádza v rovnakej vzdialenosti a pri rovnakej intenzite IR osvetľovacieho modulu. Na obrázku [A.8](#) je vidno, že táto intenzita IR žiarenia je ideálna na hľadanie kontúr tváre pod šatkou. Okuliare a ani hrubú kapucňu z mikiny táto intenzita IR žiarenia nepresvieti. V prípade kukly je táto intenzita taktiež trochu nízka, pretože je kukla stále tmavá, ale črtajú sa trochu kontúry úst a nosa.

Nasledujúca časť experimentu pozostáva zo snahy o úspešné identifikovanie maskovanej tváre s využitím IR osvetľovacieho modulu. Najskôr sa vykoná detekcia tváre [3.1.1](#), na získanie presnejšej pozície tváre čo má za následok lepšie výsledky. Na pokus o identifikáciu tváre sú použité viaceré prístupy. Tým prvým je použitie všeobecných deskriptorov ORB [3.1.6](#) a SIFT [3.1.3](#). Ďalším prístupom je využitie prediktora [3.2.3](#), ktorý sa na princípe CNN snaží odhaliť orientačné body tváre a posledným prístupom je využitie modelu na kódovanie tváre z obrázku [3.3.4](#), ktorý využíva vycvičený model cez CNN.

Scenáre maskovania

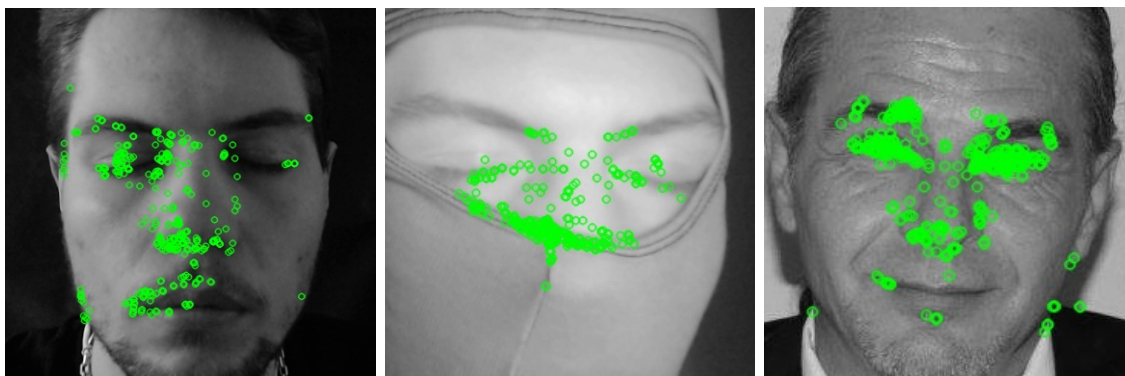
1. Kukla [4.2.2](#)
2. Šatka cez tvár [4.2.3](#)
3. Šatka cez tvár + slnečné okuliare [4.2.4](#)
4. Šatka cez tvár + slnečné okuliare + šiltovka + kapucňa [4.2.5](#)

4.2.2 Maskovanie pomocou kukly

Detekcia kľúčových bodov pomocou ORB deskriptora

Výsledky detekcie kľúčových bodov maskovanej tváre pomocou prístupu ORB je možné vidieť na obrázku [4.3](#). V prípade maskovanej tváre sú vytvorené body hlavne v oblasti okolo nosa a očí, čo dáva šance na priaznivú zhodu s referenčnou snímkom. Na druhú stranu veľké množstvo kľúčových bodov je vytvorených na hrane kukly a tváre. Kľúčové body na okraji kukly v porovnávaní s referenčnými kľúčovými bodmi tváre nebudú mať žiadny význam. Na maskovanej tvári sa nachádza 384 kľúčových bodov, na vzorovej tvári bolo detekovaných 446 kľúčových bodov a na cudzej tvári bolo detekovaných 490 kľúčových bodov. Na nemaskovaných tvárach sa kľúčové body rozprestierajú v dôležitých oblastiach v okolí očí, nosa a úst. Použitím IR osvetľovacieho modulu bola snaha o sprehľadnenie kukly, aby bolo možné vyňať práve kontúry tváre pod maskovaním. Drobné obrisy, ktoré sa črtajú pod kuklou nie sú dostatočne výrazné, aby ich bolo možné vyhodnotiť za kľúčové body pomocou ORB.

Na nasledujúcom obrázku [A.9](#) sú pomocou ORB zobrazené najlepšie zhody kľúčových bodov medzi porovnávanou snímkom tváre s maskovaním (384 kľúčových bodov) a vzorovou snímkom tváre bez maskovania (446 kľúčových bodov). Z týchto kľúčových bodov bolo vybraných 29, ktoré na základe ORB binárneho deskriptora preukázali najlepšiu zhodu. Pri pohľade na obrázok je jasné, že ani týchto 29 kľúčových bodov nie je úplne správne určený. V niektorých prípadoch je vidno ako jednotlivé čiary spájajú rôzne časti tváre. Napríklad nos na snímke bez maskovania je prepojený s ľavým očným viečkom na maskovanej snímke pomocou kukly. Niektoré časti sú na druhú stranu pospájané správne. Napríklad horná časť nosa. To ale nestačí na úspešné vyhodnotenie identifikácie tváre.



Obr. 4.3: Zobrazenie detekovaných kľúčových bodov pomocou ORB.

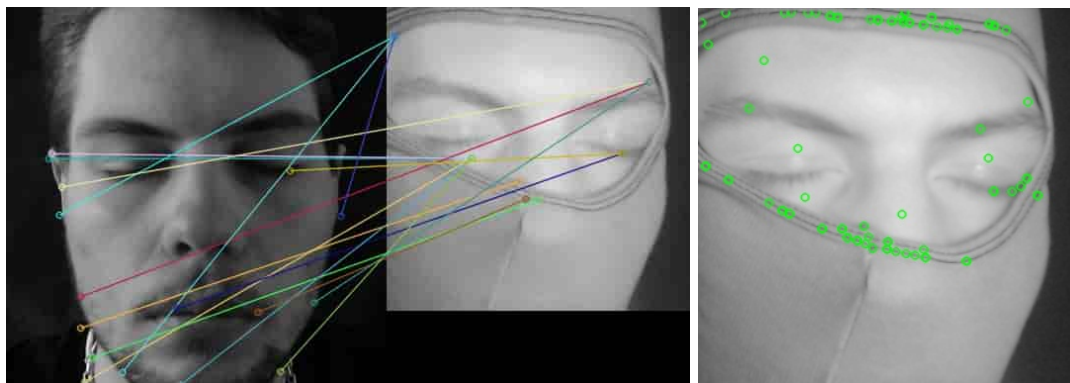
Na obrázku A.10 sú pomocou ORB vybrané a zobrazené najlepšie zhody kľúčových bodov medzi porovnávanou snímku tváre s maskovaním (384 kľúčových bodov) a inou snímku tváre bez maskovania (490 kľúčových bodov). Z týchto kľúčových bodov bolo vybraných 36, ktoré na základe ORB binárneho deskriptora preukázali najlepšiu zhodu. V predchádzajúcom prípade, keď boli tváre zhodné bolo vybraných 29 spoločných kľúčových bodov. To znamená, že viac spoločných bodov automaticky neznamená lepšiu zhodu tvárí. Na druhú stranu pri porovnaní smerov čiar obrázka A.9 s obrázkom A.10 je vidno rozdiel v smere čiar. Pri porovnaní maskovanej tváre s inou osobou sa čiary spoločných kľúčových bodov viacej krížia. To znamená, že niektoré so spoločných kľúčových bodov budú navzájom nesprávne prepojené. To potvrdzuje napríklad prepojenie kľúčových bodov obočia inej tváre s oblasťou nosa tváre pod maskovaním alebo prepojenie kľúčových bodov v oblasti úst na snímke inej osoby s kľúčovými bodmi maskovanej tváre v oblasti očí. Tieto prepojenia nedokážu odhaliť či sa jedná o totožné tváre.

Detekcia kľúčových bodov pomocou SIFT deskriptora

Ďalšia experimentálna metóda na identifikáciu detekovanej tváre za maskovaním je SIFT. Tento spôsob detekcie kľúčových bodov maskovanej tváre a ich následné porovnanie s detekovanými kľúčovými bodmi vzorovej tváre je podrobnejšie vysvetlený v časti 3.1.3. Výsledky detekcie kľúčových bodov sú na obrázku A.11. Už na prvý pohľad je zjavné, že SIFT detekoval kľúčové body hlavne na miestach, kde sú výrazné hrany. Na nemaskovanej vzorovej tvári je to výskyt 130 kľúčových bodov. Tieto body sú situované hlavne na obrysoch tváre. Veľmi malé množstvo sa nachádza v oblasti očí, nosa a úst. Na tvári maskovanej kuklou je detekovaných 87 kľúčových bodov. Tieto body sa nachádzajú predovšetkým na obrysoch kukly. V oblasti očí a nosa sa nachádzajú kľúčové body iba príležitostne. Viacero kľúčových bodov sa nachádza na nemaskovanej snímke inej tváre. Tam sa ich počet až 298. Tieto body sú prevažne situované v oblasti očí, nosa, úst a na obrysoch tváre.

Na obrázku 4.4 sú pomocou deskriptora SIFT vybrané najlepšie zhody kľúčových bodov medzi porovnávanou snímku tváre s maskovaním (87 kľúčových bodov) a snímku tváre bez maskovania (130 kľúčových bodov). Z týchto kľúčových bodov bolo vybraných 16, ktoré na základe SIFT deskriptora preukázali najlepšiu zhodu. Už z umiestnenia jednotlivých kľúčových bodov pri detekcii z obrázku A.11 sa dalo predpokladať, že samotné vyhodnotenie veľmi úspešné nebude. Pri pohľade na výsledok sa predpoklad potvrdil. Jeden jediný bod mihalnice ľavého oka zvýraznený žltou čiarou vyzerá veľmi dobre. Všetky ostatné body

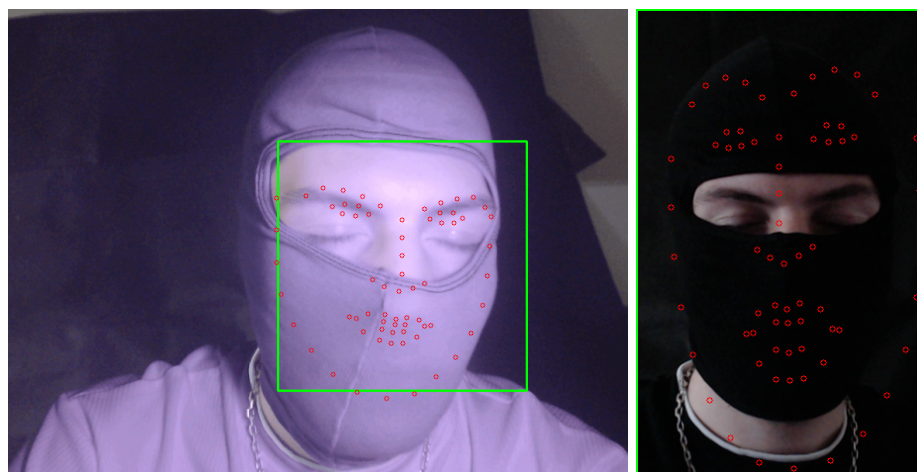
smerujúce zo vzorovej snímky do snímky maskovanej tváre sú úplne mimo. Žiadny z týchto bodov nie je prospešný k identifikácii maskovanej tváre.



Obr. 4.4: Grafické zobrazenie kľúčových bodov na maskovanej snímke a prepojenie bodov s najlepšou zhodou na základe SIFT.

Hľadanie orientačných bodov tváre 68 bodovým prediktorom

Nasledujúci spôsob na identifikáciu detekovanej tváre za maskovaním je postavený na princípe hľadania orientačných bodov tváre. Využíva sa k tomu 68 bodový prediktor 3.2.3. Jeho schéma je zobrazená na obrázku 3.4. Snaží sa odhaliť práve tieto orientačné body tváre. Na kontrolnom obrázku 3.5 bez maskovania dokázal 68 bodový prediktor správne určiť orientačné body tváre. Dôležitá časť v tomto procese je detekovanie maskovanej tváre pomocou detektorov tváří 3.2.1 alebo 3.1.1. V prípade, že sa detekcia nepodarí, tak následne prediktor pracuje s celou snímkou a to môže spôsobiť skreslené výsledky.



Obr. 4.5: Zobrazenie orientačných bodov tváre na maskovanej snímke s a bez IR osvetľovacieho modulu pomocou 68 bodového prediktora.

Presne tento prípad sa nachádza na obrázku 4.5, kde sa nachádza snímka maskovanej tváre, na ktorú nepôsobí IR žiarenie. Na snímke sa nepodarilo určiť algoritmu na detekciu tváre maskovanú tvár. Pôvodná snímka bola ručne orezaná na šírku hlavy so snahou pomôcť prediktoru nájsť orientačné body tváre. Na porovnanie výsledky prediktora pri neorezanej

snímke sú na obrázku A.14. Ani ručné orezanie však ku priaznivému výsledku neprispelo. Pri pohľade na červené krúžky symbolizujúce orientačné body tváre je evidentné, že prediktor nedokázal žiadne body reálne určiť. Pozitívne však je to, že vďaka použitiu IR osvetľovacieho modulu 2.2.2 sa proces detekcie tváre vydaril. Časť tváre, ktorú určil detektor je zobrazená pomocou zeleného štvorčeka. Na druhú stranu aj napriek úspešnej detekcii tváre samotný 68 bodový prediktor nedokázal vierohodne určiť jednotlivé orientačné body tváre. Obrisy tváre absolútne nesedia s reálnymi obrysmi tváre, ústa sú nájdené v oblasti nosa a aj zvyšné časti tváre ako sú nos a oči sú výrazne posunuté od ich skutočného umiestnenia.

Identifikácia tváre na princípe kódovania tváre z obrázka

Ďalší pokus o extrakciu tváre z obrázku je postavený na základe kódovania tváre z obrázka. Princíp činnosti tohto prístupu k problematike je podrobnejšie popísaný a vysvetlený v časti 3.3. Na ukážku činnosti bola pri maskovaní pomocou kukly náhodne vybratá osoba K z nasnímanej databázy 3.4. Otestované boli 3 fotografie pomocou maskovania. Obrázok A.21 reprezentuje osobu K s kuklou pri hodnote prúdu cca 0,9 A na IR osvetľovacom module. Nasledujúci maskovaný obrázok A.22 je nasnímaný pri hodnote prúdu IR osvetľovacieho modulu cca 1,9 A. Tretí obrázok A.23 bol nasnímaný bez využitia IR žiarenia, aby bolo vidno či má IR osvetľovací modul vplyv na výsledky.

Pri pokuse o identifikáciu tváre pod maskovaním z obrázka A.21 sa detektoru tváre podarilo maskovanú tvár úspešne detekovať. Následne sa na detekovanej tvári pomocou princípu kódovania tváre vytvorí 128 meraní, ktoré sa následne porovnajú so 128 meraniami každej tváre, ktoré sa nachádzajú vo vytvorenej databáze kontrolných snímok bez maskovania a bez IR žiarenia. Výsledné Euklidovské vzdialenosti medzi porovnávanými 128 meraniami jednotlivých obrázkov sa nachádzajú v tabuľke B.1. Výsledky dopadli veľmi dobre. Pri Euklidovskej vzdialenosti 0.4954 s kontrolnou snímkom k_gray.png bez IR žiarenia a bez maskovania je vzdialenosť pod hodnotou 0.5. Podľa informácií z časti 3.3.4 sa dá prehlásiť, že sa jedná o identickú osobu. Nasledujúce dve kontrolné snímky majú hodnoty 0.5099 a 0.5263, čo sa dá považovať taktiež za parádne výsledky. Za správne identifikovanou trojicou snímok sa nachádza dvojica kontrolných snímok osoby C. Hodnoty vzdialeností týchto snímok sú 0.6018 a 0.6080.

Ďalšia snímka A.22 bola taktiež podrobená kódovaniu tváre z obrázka. Po úspešnej detekcii tváre bolo vykonaných 128 meraní, ktoré boli následne porovnané so 128 meraniami tvárí z databázy. Výsledky meraní sa nachádzajú zobrazené v tabuľke B.2. Pri pohľade na túto tabuľku sa taktiež nachádzajú na prvých troch miestach identické kontrolné tváre bez maskovania. Hodnoty sú o čosi vyššie ako v predchádzajúcom teste a to 0.5402, 0.5536 a 0.6164. Prvé dve hodnoty sa stále nachádzajú pod úrovňou 0.6. Podľa informácií z časti 3.3.4 by sa malo stále jednať o identickú tvár. Štvrtá vzdialenosť má hodnotu 0.6422 a patrí osobe L.

Tento experiment s použitím maskovanej snímky A.23 bez použitia IR osvetľovacieho modulu má ukázať ako vplýva IR žiarenie na identifikáciu tváre. Detektorom tváre sa túto maskovanú tvár nepodarilo správne detekovať. Tvár bola na základe pozorovania predošlých detekcií tvárí vyrezaná manuálne a následne bolo na tomto manuálnom výreze tváre vykonaných 128 meraní, ktoré sa porovnali s meraniami tvárí z databázy. Výsledky meraní sa nachádzajú v tabuľke B.3. Pri pohľade na výsledky sa dostalo pod hodnotu 0.6 až šesť tvárí z kontrolnej databázy. Nachádzajú sa tam tváre C, F a G. Vzhľadom na predchádzajúce výsledky experimentov na fotkách A.21 a A.22 sa dá povedať, že IR osvetľovací modul naozaj presvietil dôležité časti tváre, ktoré môžu pomôcť na identifikáciu tváre pod maskovaním.

Doterajšie merania dopadli nad očakávania. Vždy to ale platiť nemusí a nie vždy musia byť výsledky identifikácie tváre pomocou kódovania tváre z obrázku takto jasné. Príkladom je vykonanie porovnania tváre osoby B z obrázku A.24 s databázou tvárí. Výsledná tabuľka B.4 ukazuje, že žiadna z výsledných Euklidovských vzdialeností sa nenachádza pod hranicou 0.6. To znamená, že v databáze by sa nemala nachádzať identická tvár. V databáze sa ale nachádzajú až tri identické kontrolné tváre. Najnižšiu vzdialenosť dosiahla tvár osoby D s hodnotou 0.6252. Identická kontrolná tvár osoby B sa nachádza až na 6. mieste so vzdialenosťou 0.6686. Identifikácia tváre pri použití IR osvetľovacieho modulu dopadla v tomto prípade neúspešne.

4.2.3 Maskovanie pomocou šatky na tvár

Detekcia kľúčových bodov pomocou ORB deskriptora

Nasledujúcim maskovaním je šatka cez tvár. Vďaka algoritmu na detekciu tváre 3.1.1 bola k ďalšiemu spracovaniu rozpoznaná aj táto maskovaná tvár. Na obrázku A.12 sú následne zobrazené detekované kľúčové body. Pomocou ORB deskriptora 3.1.6 ich bolo vyznačených na obrázku s maskovaním 385. Na tvári bez maskovania ich bolo zobrazených 446. Prehľad kľúčových bodov nemaskovanej tváre je na obrázku 4.3. ORB považuje za kľúčové body na maskovanej tvári tie, ktoré sa nachádzajú v oblasti očí a niektoré ďalšie v časti pásikov na šatke a nosa. V oblasti úst, ktoré sa nachádzajú pod maskovaním sa žiadne kľúčové body nenachádzajú.

Zo získaných kľúčových bodov bolo pomocou ORB deskriptora vybraných 47, ktoré boli vyhodnotené za najviac podobné. Graficky je to zobrazené na obrázku A.12. Pri pohľade na obrázok je jasné, že jednotlivé poprepájané body nezobrazujú presné časti tváre, vďaka ktorým by bolo možné maskovaného človeka jednoznačne identifikovať. Jedna z vecí je veľa prekrížených čiar. Prekrížené čiary znamenajú neúspech pri identifikácii tvárí. Dôvod bol spomenutý pri predchádzajúcom maskovaní. Okrem prekríženia výsledných čiar sú kľúčové body na nemaskovanej tvári v oblasti úst poprepájané s oblasťou nosa a obočia na maskovanej tvári.

Detekcia kľúčových bodov pomocou SIFT deskriptora

Ďalší experiment na identifikáciu tváre pod maskovaním šatky cez tvár je použitý deskriptor SIFT, ktorého princíp je popísaný v sekcii 3.1.3. Detekcia kľúčových bodov ukázala iné výsledky ako pri použití ORB. Zobrazené kľúčové body pomocou SIFT sú na vzorovom obrázku A.11. Nachádza sa tam 130 kľúčových bodov. Na obrázku A.13 tváre maskovanou šatkou ich je iba 11. Na obrázku bez maskovania sú kľúčové body rozhádzané viac po obvode tváre. Na maskovanej tvári je v porovnaní s ostatnými experimentami tých 11 bodov veľmi málo. V niektorých prípadoch býva menej viac. Pri pohľade na rozmiestnenie týchto 11 kľúčových bodov ukázalo, že tieto body nemajú potenciál na odhalenie tváre.

Pri následnom porovnaní kľúčových bodov pomocou SIFT deskriptora bolo za najlepšie sa zhodujúce vyhodnotených všetkých 11. Pri pohľade na obrázku A.13 je vidno aj napriek tomu, že SIFT deskriptor vybral všetky kľúčové body za najlepšie sa zhodujúce, tak väčšina týchto bodov je úplne mimo a tieto prepojenia nemajú absolútne nič spoločné medzi sebou.

Hľadanie orientačných bodov tváre 68 bodovým prediktorom

Ďalší spôsob na identifikáciu detekovanej tváre za maskovaním je postavená na princípe hľadania orientačných bodov tváre. Využíva sa k tomu 68 bodový prediktor 3.2.3, ktorého

úlohou je odhaliť čo najpresnejšie orientačné body tváre. Na obrázku A.14 sa nachádzajú identické maskované tváre. Jediný rozdiel je v tom, že pri tej prvej je využité IR žiarenie a pri druhej nie je. V prvom prípade sa detektoru tváre 3.2.1 respektíve 3.1.1 podarilo tvár správne detekovať a pripraviť pre prediktor ideálnu situáciu na nájdenie správnych orientačných bodov. Na druhú stranu bez použitia IR žiarenia maskovanú tvár detektory tváří nedokázali detekovať a prediktor orientačných bodov pracoval s celou snímkou.

Práca 68 bodového prediktora s prvou maskovanou fotografiou z obrázku A.14 dopadla veľmi úspešne. Na prvý pohľad červené krúžky ohraničujú obrysy tváre, obočie aj oči vyzerajú byť vyznačené na správnom mieste. Prekvapujúco aj kontúry nosa a úst sa nachádzajú približne na očakávanom mieste. Na druhej fotografii bez IR žiarenia sa brala do úvahy celá snímka čo spôsobilo, že 68 bodový prediktor sa snažil hľadať orientačné body približne v iných oblastiach ako sa nachádza maskovaná tvár. Je to spôsobené tým, že sa vďaka CNN predpokladá, že sa tvár nachádza na celej obrazovke. Jednotlivé orientačné body tváre teda hľadá v oblastiach, ktoré sú na snímke zobrazené červenými bodkami. Keďže sa tam nenachádzajú žiadne črty tváre, tak sú tam tieto body vložené približne podľa toho ako sa to prediktor naučil. Na obrázku 4.5 je vidno podobný príklad na manuálne orezanej fotografii.

Identifikácia tváre na princípe kódovania tváre z obrázka

Pomocou kódovania tváre z obrázka sa v tejto časti vykonávajú testovania na rôznych osobách. Bude sa následne zisťovať či je možné pomocou tohto prístupu identifikovať tvár, ktorá je skrytá pod maskovaním šatkou. Následná technika je podrobnejšie popísaná a vysvetlená v časti 3.3. Na ukážku činnosti boli pri maskovaní pomocou kukly náhodne vybrané osoby K a D z nasnímanej databázy 3.4. Ukážka testovania je predvedená na 3 fotografiách. Prvý obrázok A.27 reprezentuje osobu K s pekne natiahnutou šatkou cez tvár pri využití IR žiarenia. Ďalšia fotka A.26 pri využití IR žiarenia patrí osobe D a má šatku viac pokrčenú. Vďaka tomu sa vytvára trošku hrubšia vrstva maskovania na tvári. Posledná fotka A.25 patrí taktiež osobe D. V tomto experimente sa jedná o fotku so šatkou, ale bez využitia IR žiarenia.

Analýza identifikácie pomocou kódovania tváre z obrázku A.27 za pomoci IR osvetľovacieho modulu, kde bola šatka natiahnutá pekne súmerne na tvári. Samotná detekcia tváre na fotografií prebehla úspešne. Následné porovnanie Euklidovských vzdialeností medzi obrázkami z databázy sú vypísané v tabuľke B.5. V tomto prípade sa pod hodnotu 0.6 dostali všetky tri kontrolné snímky z databázy so vzdialenosťami 0.5192, 0.5278 a 0.5467 čo znamená, že by sa malo jednať o identickú tvár. Za nimi nasledovali tri tváre osoby L, ktoré mali vzdialenosti vyššie ako 0.6383. Tieto výsledky sú opäť vynikajúce.

Nasledujúci obrázok A.26, ktorý bol vyhotovený pomocou šatky cez tvár, ktorá bola na tvári pokrčená. To na prvý pohľad spôsobilo, že kontúry tváre nie sú také jasné ako tomu bolo na predchádzajúcej snímke A.27. Porovnanie Euklidovských vzdialeností s databázou kontrolných snímok sa nachádza v tabuľke B.6. Na prvé miesto sa s najnižšou vzdialenosťou dostala tvár osoby G. Jej hodnota vzdialenosti bola 0.5875. Táto fotografia bola vyhotovená pomocou web kamery. Kontrolné snímky z web kamery sú snímané z väčšej vzdialenosti a pri nižšej kvalite. Za ňou nasledujú so vzdialenosťami 0.5957 a 0.6078 identické tváre, ale v tesnom závese za nimi sa nachádza aj osoba F, ktorá na fotografii zhotovenej pomocou web kamery má hodnotu 0.6078. Pri tomto vyhodnotení je pozitívne, že sa dostali ku hodnote 0.6 dve snímky identickej tváre. Na druhú stranu je negatívne to, že sa sem dostali aj fotky tváří G a F.

Aj napriek nie veľmi uspokojivým výsledkom tváre osoby D s maskovaním sa vykoná analýza aj fotky [A.25](#) osoby D s maskovaním pomocou šatky, ale bez IR osvetľovacieho modulu, aby sa ukázalo či samotné IR žiarenie má nejaký pozitívny vplyv na identifikáciu tváre. V tomto prípade bez IR osvetľovacieho modulu nedokázali detektory tváří odhaliť maskovanú tvár. Nasledovalo ručné vyrezanie tváre a následne vykonané merania. Výsledky porovnania vzdialeností je v tabuľke [B.7](#). Ku vzdialenosti 0.6 sa dostali 2 tváre a 5 fotografií. Najmenšiu vzdialenosť mali tváre osoby B. Ich hodnoty boli 0.5695 a 0.5861. Nasledujú ich tri identické tváre osoby D, ktoré dosahujú vzdialenosť okolo 0.59. Vyzerá to, že experiment dopadol podobne ako tomu bolo pri obrázku [A.26](#) s využitím IR osvetľovacieho modulu, kde sa pod vzdialenosť 0.6 dostala cudzia tvár osoby G a identická tvár osoby D. Lenže bez IR osvetľovacieho modulu sa s výrazne najmenšími vzdialenosťami presadili až dve tváre osoby B, ktoré nepatria identickej kontrolnej osobe testovanej maskovanej tváre. To je dosť veľká nepresnosť.

4.2.4 Maskovanie pomocou šatky na tvár a slnečných okuliarov

Detekcia kľúčových bodov pomocou ORB deskriptora

Ďalšou formou maskovania je šatka cez tvár a slnečné okuliare na očiach. Algoritmus zo sekcie [3.1.1](#) na detekciu tváre si poradil aj s týmto maskovaním. Na obrázku [A.15](#) s maskovaním sú následne zobrazené kľúčové body pomocou ORB deskriptora [3.1.6](#). Na tomto obrázku s maskovaním je ich vyznačených 498. Na obrázku [4.3](#) tváre bez maskovania ich bolo zobrazených 446. ORB považuje za kľúčové body na maskovanej tvári tie, ktoré sa nachádzajú v zhlukoch väčších skupiniek. Prevažne v oblasti okuliarov a v oblasti nosa. V oblasti úst, ktoré sa nachádzajú pod maskovaním sa žiadne kľúčové body opäť nenachádzajú.

Pri vyhodnocovaní získaných kľúčových bodov bolo pomocou ORB deskriptora vybraných 40. Tieto kľúčové body boli navzájom poprepájané. Na obrázku [A.15](#) sú pomocou čiar zobrazené kľúčové body, ktoré sú podľa ORB binárneho deskriptora považované za podobné. Jednotlivé body sú pri nemaskovanej tvári situované do oblasti očí a nosa. Na druhú stranu pri maskovanej tvári sa jedná o kľúčové body nachádzajúce sa v oblasti okuliarov. Podľa grafického zobrazenia prepojených bodov sa jednotlivé body chovajú chaoticky a nedokážeme podľa nich jednoznačne identifikovať či sa jedná o rovnakú tvár.

Detekcia kľúčových bodov pomocou SIFT deskriptora

Pomocou deskriptora SIFT je vyhotovený ďalší pokus o identifikáciu tváre zakrytou maskovaním. Princíp deskriptora SIFT je popísaný v časti [3.1.3](#). Náhľad na zobrazené kľúčové body pomocou SIFT je na vzorovom obrázku [A.11](#). Na ňom bolo nájdenej 130 kľúčových bodov a na obrázku [A.16](#) tváre maskovanou šatkou a okuliarmi 85. Na maskovanej tvári sa tentokrát kľúčové body nachádzajú prevažne v oblastiach okolo rámu okuliarov. To sú miesta, ktoré nie sú z pohľadu identifikácie tváre veľmi dôležité.

Pomocou SIFT deskriptora bolo následne vybraných 11 kľúčových bodov, ktoré boli navzájom medzi jednotlivými obrázkami prepojené. Porovnanie je na obrázku [A.13](#). Už na prvý pohľad je vidno, že čiary spájajú absolútne nesúvisiace časti tváří. Najzaujímavejšie sú dve fialové čiary, ktoré spájajú oblasť ucha. Na základe týchto dvoch čiar nedokážeme potvrdiť či sa jedná o rovnaké tváre.

Hľadanie orientačných bodov tváre 68 bodovým prediktorom

Nasledujúca metóda na experimentovanie s identifikáciou tváre za maskovaním využíva princíp hľadania orientačných bodov tváre. Pomocou 68 bodového prediktora 3.2.3 sa skúšajú odhaliť orientačné body tváre. Detektory tváří 3.2.1 a 3.1.1 nedokázali rozoznať maskovanú tvár. Experiment je vykonávaný na originálnej a ručne orezanej snímke. Na orezanej snímke sa očakávajú lepšie výsledky ako na neorezanej fotografii.

Na obrázku A.17 sa nachádza neorezaná a orezaná maskovaná tvár. Na tej neorezanej sa 68 bodový prediktor snažil hľadať orientačné body tváre na celej ploche snímky. Podrobnejší popis je v časti 4.2.3. Na orezanej snímke to vyzerá priaznivejšie. Prediktor si celkom dobre poradil s obrysmi tváre, ktoré celkom pekne vyznačil. Oči, ktoré sa nachádzajú pod okuliarmi našiel tiež celkom dobre. Na druhú stranu sa nechal trochu zmiašť obočím, ktoré určil v oblasti rámu okuliarov. Nepodarili sa mu určiť ani orientačné body nosa a úst. Tie sa už na prvý pohľad nie sú na svojom správnom mieste.

Identifikácia tváre na princípe kódovania tváre z obrázka

Maskovanie pomocou šatky a okuliarov sa tento raz podrobí testovaniu na základe kódovania tváre z obrázka. Princíp činnosti tohto prístupu je podrobnejšie popísaný v časti 3.3. Demonstrácia prebehne na náhodne vybraných maskovaných obrázkoch ženy M a muža E. Snímky sa nachádzajú v prílohe. Maskovaná osoba M pomocou šatky a okuliarov je na obrázku A.28 a osoba E má k dispozícii dve fotografie A.29 a A.30.

Pri pohľade na fotografiu osoby M A.28 je na prvý pohľad viditeľné, že IR žiarenie nedokázalo ani trošku presvietiť okuliare, ktoré mala osoba na očiach. Narozdiel od experimentu s maskovaním iba pomocou šatky cez tvár 4.2.3 sú v tomto experimente navyše práve slnečné okuliare. V tomto experimente v porovnaní Euklidovských vzdialeností sa nebudú nachádzať merania z oblastí očí, ktoré mohli výrazne pomôcť k identifikácii tváre. Výsledky sú v tabuľke B.8. V tabuľke sa nachádza najnižšia vzdialenosť na kontrolnej snímke pomocou web kamery identickej tváre osoby M so vzdialenosťou až 0.6328. Kvalitnejšia kontrolná fotografia osoby M sa nachádza až na 8. mieste so vzdialenosťou 0.6763. To znamená, že okuliare, ktoré IR osvetľovací modul nedokázal presvietiť skomplikovali porovnanie tváří. To sa prejavilo na vyššej Euklidovskej vzdialenosti medzi porovnávanými snímkami.

Pri detekcii tváre maskovanej pomocou šatky a okuliarov majú detektory tváří problém s ich detekciou. To sa potvrdilo pri experimentoch s osobou E. Vytvoril som dva ručné orezy maskovaných snímok A.29 a A.30 približne podobné tým, ktoré vznikali po detekcii tváre pomocou detektora. Jediný rozdiel medzi nimi je v orezaní. Jedna snímka je orezaná o kúsok viac ako druhá. Pri pohľade na obrázok A.29 sú výsledky porovnania vzdialeností s databázou v tabuľke B.9. Žiadna vzdialenosť sa nedostala pod hranicu 0.6. Na druhú stranu identické snímky osoby E sa nachádzajú na úplnom konci so vzdialenosťou až 0.78. Keďže sa jednalo o ručné orezanie vyhotovil sa ďalší pokus s tým, že tento raz sa tvár na fotografii A.30 vyreže o kúsok viac. Výsledky porovnania s databázou kontrolných snímok tohto experimentu sú zobrazené v tabuľke B.10. Takýto malý rozdiel v orezaní maskovanej tváre má zaujímavé zmeny vo vzdialenostiach. Tento raz sa až dve tváre osoby D priblížili vzdialenosťou na hranicu 0.6. Lenže osoba D nie je identická osoba pre testovanú maskovanú tvár. Kontrolná snímka osoby E už nie je na konci zoznamu. Jej vzdialenosť je tento raz 0.74. Táto hodnota je podobne ako v prvom prípade veľmi neuspokojivá.

4.2.5 Maskovanie pomocou šatky na tvár, slnečných okuliarov, šiltovky a kapucne

Detekcia kľúčových bodov pomocou ORB deskriptora

Následujúci experiment pozostáva z maskovania pomocou šatky cez tvár, slnečných okuliarov, šiltovky a kapucne. Algoritmus zo sekcie 3.1.1 na detekciu tváre už získanú snímku s maskovaním nedokázal rozpoznať ako tvár. Z tohto dôvodu sa snímka orezala ručne. Orez sa vykonal z dôvodu, aby bola väčšia šanca, že sa po aplikovaní nasledujúcich úkonov dostaví čo najpriaznivejší výsledok. Na vzorovom obrázku 4.3 bolo detekovaných pomocou ORB 446 kľúčových bodov. Na druhom manuálne orezanom obrázku A.18 s maskovaním je detekovaných 487 kľúčových bodov. Na tejto maskovanej tvári sú tieto detekované kľúčové body situované do oblasti rámu okuliarov nad nosom, v ľavej časti rámu okuliarov, niekoľko je ich rozptýlených v oblasti pravého skla okuliarov, niekoľko ich je aj v oblasti nosa a pravého obrysu tváre.

Pomocou ORB deskriptora 3.1.6 bolo vybraných 26 kľúčových bodov. Vizuálne zobrazenie týchto kľúčových bodov sa nachádza na obrázku A.18. Väčšina čiar ide na prvý pohľad rovnobežne. Táto skutočnosť by mohla vyzeráť zaujímavo, ale pri pohľade na jednotlivé body je jasné, že prepojené body so sebou absolútne nesúvisia. Na základe pohľadu na grafický výsledok porovnania týchto kľúčových bodov nie je možné jednoznačne určiť, či sa jedná o identické tváre.

Detekcia kľúčových bodov pomocou SIFT deskriptora

Pomocou deskriptora SIFT 3.1.3 je vyhotovený ďalší pokus o identifikáciu tváre zakrytou maskovaním. V tomto prípade je maskovaná tvár manuálne orezaná, pretože ju algoritmus na detekciu tváre 3.1.1 nedokázal detekovať. Použitie SIFT deskriptora detekovalo na maskovanom obrázku A.19 205 kľúčových bodov. Na vzorovom obrázku A.11 bolo detekovaných 130 kľúčových bodov. Na maskovanej tvári sú kľúčové body rozptýlené po okraji šiltovky, rámu okuliarov a po kapucni. Tieto miesta kľúčových bodov nie sú z pohľadu identifikácie tváre veľmi prínosné.

Pomocou SIFT deskriptora bolo následne vybraných 10 kľúčových bodov, ktoré by mohli byť najideálnejšie pre dosiahnutie čo najlepšej zhody. Porovnanie je zobrazené na obrázku A.19. Už na prvý pohľad je vidno, že čiary medzi kľúčovými bodmi sa nachádzajú prevažne mimo tváre až na pár výnimiek. Nanešťastie ani toto minimum bodov, čo sa nachádza v oblasti tváre nedokáže jednoznačne identifikovať osobu, ktorá sa nachádza pod maskovaním.

Hľadanie orientačných bodov tváre 68 bodovým prediktorom

Identifikácia tváre za maskovaním využíva princíp hľadania orientačných bodov tváre. V tomto spôsobe sa využíva 68 bodový prediktor 3.2.3, ktorý sa snaží určiť orientačné body tváre. Detektor tváre 3.2.1 a ani záložný detektor tváre 3.1.1 nedokázali rozoznať maskovanú tvár. Experiment je načrtnutý na dvoch snímkach. Tieto snímky sa nachádzajú na obrázku A.20. Jedná sa o originálnu a ručne orezanú snímku. Vzhľadom na výsledky z predchádzajúceho maskovania pomocou šatky na tvár a okuliarov 4.2.4 sa očakávajú lepšie výsledky pri ručne vyrezanej snímke tváre.

Po aplikácii 68 bodového prediktora na neorezanú a orezanú maskovanú tvár zobrazeného obrázkom A.20 na prvý pohľad vidno, že prediktor bol z maskovania veľmi zmätený. Tento raz nenašiel prediktor absolútne žiadne záchytné body, podľa ktorých by mohol určiť

orientačné body tváre. Kapučňa ho zmiatla natoľko, že nedokázal určiť ani obrysy tváre z čoho vyplývalo, že ostatné črty tváre hľadal na taktiež na nesprávnych miestach.

Identifikácia tváre na princípe kódovania tváre z obrázka

Na základe techniky kódovania tváre z obrázka 3.3 sa podrobila testu odhalenia maskovanej tváre pomocou šatky cez ústa, okuliarov, šiltovky a kapucne fotografie A.31 a A.32. Prvá fotografia patrí mužovi F a druhá zas žene I.

Na maskovanej tvári A.31 bol vykonaný ručný výrez fotografie, pretože detektor tváre na princípe Hog 3.2.1 a ani detektor Haar 3.1.1 si nedokázali poradiť s detekciou pri tomto maskovaní. Následne bola tvár ručne vyrezaná a porovnanie jej Euklidovských vzdialeností je v tabuľke B.11. Pod hodnotu 0.6 sa dostala kontrolná tvár osoby G nasnímaná pomocou web kamery. Druhá v poradí je identická tvár F, ktorá je taktiež nasnímaná pomocou web kamery a má vzdialenosť okolo 0.617. Kontrolná snímka identickej tváre F odfotená mobilom v lepšom rozlíšení má vzdialenosť až vyše 0.687.

Na druhej fotografii A.32 sa nachádzala žena I. Ani v tomto prípade sa detektorom nepodarilo tvár na fotke detekovať. Nasledovalo ručné orezanie tváre z pôvodnej fotografie. Výsledky tohto porovnania s databázou kontrolných snímok sa nachádza v tabuľke B.12. Podľa výsledkov porovnania tvárí mali vzdialenosť okolo hranice 0.6 tváre G a C. Zaujímavosťou je to, že kontrolná snímka identickej tváre I sa nachádza na chvoste zoznamu so vzdialenosťou vyše 0.89. V oboch prípadoch vyzerajú fotografie veľmi podobne. Okrem toho, že okuliare IR žiarenie nedokáže presvietiť, tak šiltovka spoločne s kapučňou ešte zakrývajú aj samotné okraje tváre a tak má vycvičený model na princípe CNN obrovské problémy nájsť najideálnejších 128 meraní.

4.2.6 Zhrnutie experimentov s použitím IR osvetľovacieho modulu

Rozdiel medzi všeobecnými deskriptormi ORB a SIFT 3.1 pri identifikácii tváre pod maskovaním je pri detekcii kľúčových bodov. Pri ORB na obrázku 4.3 sú kľúčové body situované viac vo vnútri tváre. Presnejšie v oblasti očí, nosa a úst. Sú to body, podľa ktorých by mohlo byť možné identifikovať konkrétnu tvár. Náznaky identifikácie tam boli. Najzaujímavejšie to vyzeralo na obrázku A.9. Na druhú stranu s podobným výsledkom dopadlo aj porovnanie rozdielnych tvárí na obrázku A.10. Na základe toho prístupu pomocou ORB nie je možné jednoznačne identifikovať maskovanú tvár. Pri SIFT na obrázku A.11 sa kľúčové body nachádzajú na okraji nemaskovanej tváre. V prípade maskovaných tvárí sa nachádzajú na nepodstatných miestach, ktoré by sa ani teoreticky nedali pokladať za body, ktorými by mohlo byť možné tvár jednoznačne identifikovať. ORB a SIFT deskriptory nie sú vhodným nástrojom na jednoznačnú identifikáciu tvárí, ktoré sa nachádzajú pod rôznym maskovaním s využitím IR osvetľovacieho modulu.

Ďalší spôsob využíval prediktor 3.2, ktorý funguje na princípe hľadania konkrétnych 68 orientačných bodov tváre. Experimenty preukázali, že dôležitou súčasťou vyhľadania orientačných bodov bola detekcia tváre 3.2.1. V prípade správnej detekcie tváre vyzerali výsledky nádejne napr. na obrázku A.14. Ďalším testovaním sa však ukázalo, že aj pri úspešnej detekcii tváre na obrázku označenej zeleným štvorčekom nie je istota, že aj prediktor správne určí orientačné body tváre. Prediktoru sa ich napríklad nepodarilo nájsť na obrázku 4.5 aj napriek tomu, že detektor tvárí svoju úlohu splnil a tvár detekoval. Tieto výsledky sú podobné ako pri ručnom orezaní fotografie zobrazené na obrázku A.17. Prediktor nedokázal správne určiť orientačné body tváre a ani detektor tvárí nedokázal maskovanú tvár na snímke detekovať. Na základe experimentov nie je možné pomocou 68 bodového pre-

diktora jednoznačne identifikovať tvár, ktorá sa nachádza pod maskovaním s využitím IR osvetľovacieho modulu.

Porovnávanie tváří pomocou Euklidovských vzdialeností, ktoré boli získané pomocou kódovania tváre z obrázku, ktorého princíp je predstavený v časti 3.3.4. Na základe rôznych experimentovaní nad získanou vlastnou databázou snímok 3.4 sa dosiahlo rôznych výsledkov. Výsledky vybraných experimentov sú dopodrobna rozpísané pri jednotlivých scenároch maskovania. V skratke pri použití látkového maskovania typu kukla alebo šatka cez tvár je za pomoci IR žiarenia z IR osvetľovacieho modulu možné dostať dôležité kontúry tváre, podľa ktorých je možné v určitých prípadoch páchatela správne identifikovať ako tomu boli pri osobe K B.1. Pri tejto osobe bolo vytvorené aj kontrolné meranie bez IR osvetľovacieho modulu a výsledky boli veľmi nepresné B.3. Nie vždy je ale istota, že sa podarí dostať tak pekné výsledky ako v prípade osoby K. Napríklad pri osobe B sa to pri maskovaní pomocou kukly a použití IR žiarenia nepodarilo B.4. Pri ďalších maskovaniach typu okuliare, kapucňa a okuliare sa výsledky len zhoršovali. Bolo to spôsobené aj tým, že detektorom tváří sa už takto zamaskované tváre nepodarilo detekovať a museli byť následne ručne vyrezané. Pri porovnaní rovnakej fotografie s malým rozdielom v orezaní tváre vznikli úplne rozdielne výsledky.

Kapitola 5

Záver

Cieľom bakalárskej práce bolo prispieť k lepšej bezpečnosti na našej planéte. Hlavná činnosť bola hľadať spôsoby ako pomôcť polícii identifikovať a usvedčiť maskovaných páchatelov z trestných činností za pomoci terahertzového a infračerveného žiarenia. Na výskumnú činnosť som mal k dispozícii špeciálne zariadenie pracujúce na princípe terahertzového žiarenia, osvetľovací modul vytvárajúci infračervené žiarenie a kameru bez IR filtra na vytvorenie snímok. Pomocou týchto zariadení bola nasnímaná databáza 12 ľudí, ktorá sa skladala zo 6 mužov a 6 žien. Databáza obsahovala všetky potrebné zábery, na ktorých prebiehali všetky experimenty.

Experimentovanie so spôsobom ako extrahovať tvár pomocou záberov z terahertzového zariadenia dopadlo neúspešne. Toto špecializované zariadenie, ktoré funguje na princípe terahertzových vĺn bolo dlhodobo vyvíjané na detekciu skrytých predmetov. Táto činnosť funguje výborne, ale v tejto bakalárskej práci bolo dôležité, ako si dokáže poradiť s maskovaním tváre. Pozitívum bolo, že niektoré výsledné snímky s maskovaním tváre v porovnaní so snímkami kontrolnej tváre bez maskovania vyzerali podobne. To naznačuje, že terahertzové žiarenie účel splnilo a maskovanie sa stalo priehľadným. Nevýhodou bolo to, že na záberoch pomocou THz zariadenia nebolo možné rozoznať žiadne kontúry tváre ani pri kontrolnej snímke bez maskovania. Zariadenie, na ktorom prebiehalo testovanie malo pevnú frekvenciu 0,25 THz. Podľa dostupných informácií by sa znížením frekvencie k hodnote 0,1 THz mohli začať zobrazovať aj kontúry tváre, ale na druhú stranu by začali výsledky ovplyvňovať aj ďalšie žiarenia z okolia. Najideálnejšie by bolo túto možnosť experimentálne preveriť.

Infračervené vlnenie bolo taktiež podrobené testovaniu pri extrakcii tváre. Pomocou vlastnej databázy maskovaných tvárí boli otestované tri rôzne prístupy, ktoré by mohli viesť k identifikácii tváre. Prvý prístup pomocou všeobecných deskriptorov ORB a SIFT nepriniesol uspokojivé výsledky. Na dvoch snímkach boli nájdené potenciálne kľúčové body, ktoré boli porovnané medzi sebou a na základe deskriptorov boli vybraté tie s najlepšou zhodou. Z výsledkov tohto prístupu nebolo možné povedať či sa jedná o identické tváre. Druhý prístup pozostával z vytvorenia 68 bodového prediktora kontúr tváre. Pri maskovaných tvárach tento prediktor nebol schopný správne určiť jednotlivé body pre kontúry tváre. Tento prístup taktiež nebol schopný pomôcť k riešeniu problematiky. Ďalším prístupom bolo pomocou kódovania tváre z obrázka na princípe naučeného modelu pomocou neurónových sietí. Tento spôsob vytvoril 128 meraní pre každú tvár a výsledkom ich porovnania bola Euklidovská vzdialenosť. Na základe tejto vzdialenosti boli vyhodnotené jednotlivé experimenty. V prípadoch, keď maskovanie pozostávalo z tenších látok šatky cez tvár alebo kukly, tak vďaka IR žiareniu bolo vidno aj voľným okom trochu presvitať kontúry tváre. V týchto

prípadoch boli výsledky úspešné, ale aj neúspešné. Niekedy sa jasne podarilo preukázať, ktorá osoba sa skrýva pod maskou. Inokedy výsledky nedokázali určiť nikoho z databázy, kto sa mohol skrývať pod maskou. Pri ostatných scenároch maskovania, keď boli použité ešte okuliare, šiltovka a kapucňa, tak v týchto prípadoch boli výsledky neúspešné.

V tejto bakalárskej práci sa nachádza veľké množstvo experimentov so snahou dosiahnuť čo najlepšie výsledky pri extrakcii tváre pomocou terahertzového a infračerveného žiarenia. Ako ukázali výsledky nepodarilo sa mi nájsť nič prevratné, čo by sa mohlo dostať okamžite do praxe a pomôť pri identifikácii zločincov. Na druhú stranu sa tu nachádza mnoho mravčej práce a poznatkov, ktoré môžu niekomu v budúcnosti pomôť pri jeho výskumnej činnosti.

Literatúra

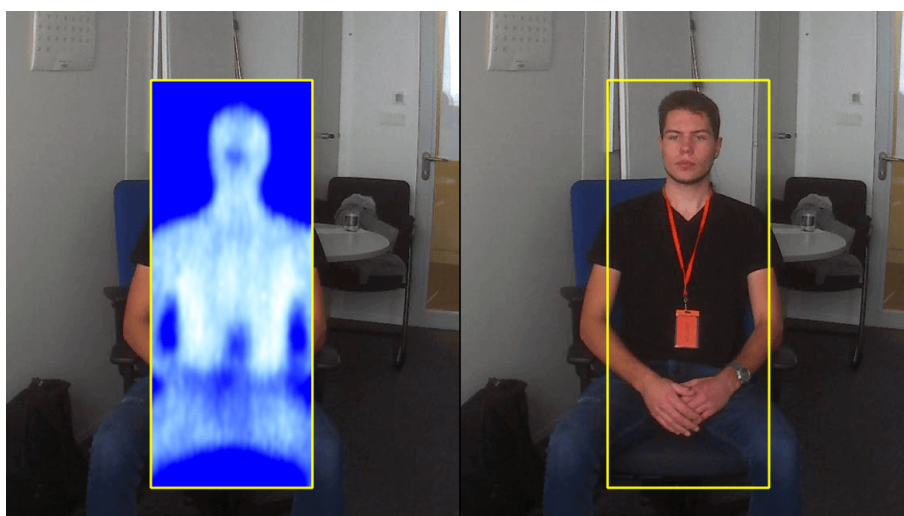
- [1] A group of Department of Dielectrics at Institute of Physics, v.v.i.: *Terahertz spectroscopy*. Mar 2017, [Online; navštívené 18.10.2018].
URL <http://lts.fzu.cz/en/intro.php>
- [2] *A summary of the early development of Ultrasonics prior to the 1950s leading to medical applications*. [Online; navštívené 22.3.2019].
URL http://www.ob-ultrasound.net/ultrasonics_history.html
- [3] Advantest Corporation: *Properties of Terahertz Waves*. [Online; navštívené 18.10.2018].
URL <https://www.advantest.com/products/terahertz-spectroscopic-imaging-systems/about-terahertz-waves>
- [4] Chandrayan, P.: *THz radiation possesses some unique attributes*. Apr 2018, [Online; navštívené 18.10.2018].
URL <https://codeburst.io/terahertz-thz-gap-tech-for-speedy-communication-cb7ccd7ee6fb>
- [5] Dalal, N.; Triggs, B.: *Histograms of Oriented Gradients for Human Detection*. INRIA Rhone-Alps, France, [Online; navštívené 8.3.2019].
URL <https://lear.inrialpes.fr/people/triggs/pubs/Dalal-cvpr05.pdf>
- [6] Digital Barriers plc.: *SafeSearch Operator Manual*. 2014, [Online; navštívené 19.10.2018].
URL <http://www.cmhltd.com/pdfs/Thruvision%20Manual.pdf>
- [7] Digital Barriers plc.: *Terahertz spectroscopy*. Mar 2016, [Online; navštívené 19.10.2018].
URL http://www.stirlingglobal.com.au/wp-content/uploads/2016/03/SG_DB-ThruVision-Tech-FinalE.pdf
- [8] Evans, D.: *Applying the Stefan-Boltzmann Law to Earth*. Oct 2015, [Online; navštívené 01.03.2019].
URL <http://joannenova.com.au/2015/10/new-science-8-applying-the-stefan-boltzmann-law-to-earth/>
- [9] Friedman, G.: *How police are using face recognition to catch criminals*. Deseret News, Sep 2018, [Online; navštívené 25.4.2019].
URL <https://www.deseretnews.com/article/900030302/how-police-are-using-face-recognition-to-catch-criminals-heres-why-experts-say-thats-bad-for-free-speech.html>

- [10] Frost & Sullivan; Frost & Sullivan Lauds Digital Barriers for its Novel ThruVision Technology that Taps the Terahertz Frequency Range for Passive Security Screening of People. *Journal of Engineering*, Jul 2016, ISSN 1945-8711.
- [11] Geitgey, A.: Project description. [Online; navštívené 4.3.2019].
URL https://pypi.org/project/face_recognition/
- [12] Geitgey, A.: Machine Learning is Fun! Part 4: Modern Face Recognition with Deep Learning. Jul 2016, [Online; navštívené 7.4.2019].
URL <https://medium.com/@ageitgey/machine-learning-is-fun-part-4-modern-face-recognition-with-deep-learning-c3cfc121d78>
- [13] Gil's Computer vision blog: Tutorial on Binary Descriptors. [Online; navštívené 8.3.2019].
URL <https://gilscvblog.com/2013/08/26/tutorial-on-binary-descriptors-part-1/>
- [14] Grana, C.; Borghesani, D.; Manfredi, M.; aj.: A Fast Approach for Integrating ORB Descriptors in the Bag of Words Model. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, Feb 2013, doi:10.1117/12.2008460.
- [15] Ino: MICROXCAM-384i-THz. [Online; navštívené 25.02.2019].
URL <https://www.ino.ca/media/293788/comm-16012-terahertz-microxcam-camera-384-x-288.pdf>
- [16] King, D.: Project description. [Online; navštívené 4.3.2019].
URL <https://pypi.org/project/dlib/>
- [17] Kľvačová, S.; Javorská, A.; Rybář, J.; aj.: Využitie ultrazvukových senzorov na automatizovanom dopravnom páse. *ATP Journal*, Apr 2018, [Online; navštívené 23.3.2019].
URL https://www.atpjournals.sk/casopis/o-casopise.html?page_id=8035
- [18] Konstrukce termokamery. [Online; navštívené 1.3.2019].
URL <http://www.termokamera.cz/princip-a-funkce/konstrukce-termokamery/>
- [19] Lowe, D.: The SIFT (Scale Invariant Feature Transform) Detector and Descriptor. *University of British Columbia*, [Online; navštívené 10.3.2019].
URL https://courses.cs.washington.edu/courses/cse576/12sp/notes/SIFT_white2011.pdf
- [20] Lucas, J.: What Is Infrared? Mar 2015, [Online; navštívené 18.10.2018].
URL <https://www.livescience.com/50260-infrared-radiation.html>
- [21] Neurotechnology: MegaMatcher SDK. [Online; navštívené 28.02.2019].
URL <https://www.neurotechnology.com/megamatcher.html>
- [22] Nishad, G.: Facial Keypoint Detection: Detect relevant features of face in a go using CNN & your own dataset in Python. Mar 2019, [Online; navštívené 30.3.2019].
URL <https://towardsdatascience.com/facial-keypoint-detection-detect-relevant-features-of-face-in-a-go-using-cnn-your-own-dataset-e09cf359c2bc>

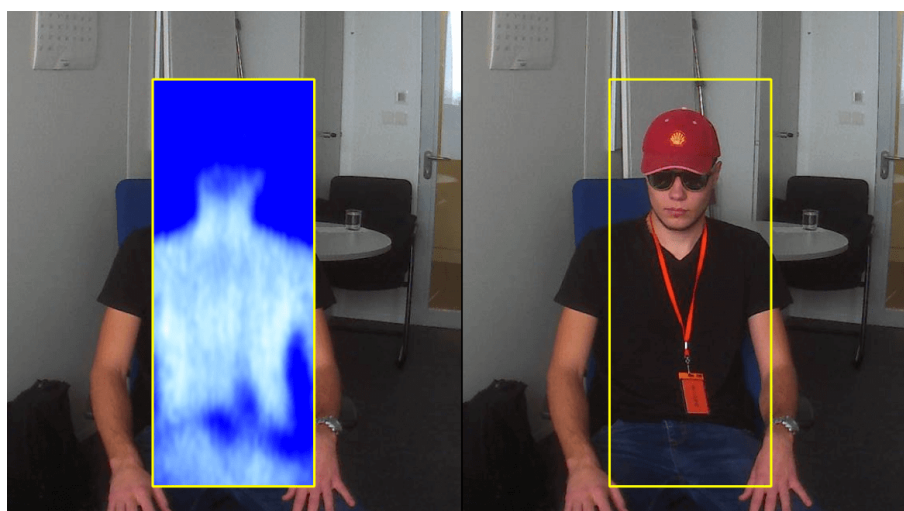
- [23] OpenCV: OpenCV documentation. [Online; navštívené 4.3.2019].
URL https://docs.opencv.org/3.4.2/d6/d00/tutorial_py_root.html
- [24] OpenStaxCollege: Energy in Waves: Intensity. [Online; navštívené 22.3.2019].
URL <https://opentextbc.ca/physicstestbook2/chapter/energy-in-waves-intensity/>
- [25] Python: Python documentation. [Online; navštívené 4.3.2019].
URL <https://www.python.org/doc/>
- [26] Rekhil, M. K.; Sreekumar, K.: A Survey on Image Feature Descriptors. International Journal of Computer Science and Information Technologies, ročník 5, č. 6, 2014, ISSN 0975-9646.
URL <https://ijcsit.com/docs/Volume%205/vol5issue06/ijcsit20140506168.pdf>
- [27] Rosebrock, A.: Face recognition with OpenCV, Python, and deep learning. Jun 2018, [Online; navštívené 7.4.2019].
URL <https://www.pyimagesearch.com/2018/06/18/face-recognition-with-opencv-python-and-deep-learning/>
- [28] Rouse, M.: History of infrared radiation technology. May 2017, [Online; navštívené 18.10.2018].
URL <https://learn.sparkfun.com/tutorials/light/infrared-light>
- [29] Rublee, E.; Rabaud, V.; Konolige, K.; aj.: ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF. Willow Garage, Inc., [Online; navštívené 19.3.2019].
URL http://www.willowgarage.com/sites/default/files/orb_final.pdf
- [30] Singh, A.; Patil, D.; Reddy, G. M.; aj.: Disguised Face Identification (DFI) with Facial KeyPoints Using Spatial Fusion Convolutional Network. In 2017 IEEE International Conference on Computer Vision Workshops (ICCVW), Oct 2017, ISSN 2473-9944, s. 1648–1655, doi:10.1109/ICCVW.2017.193.
- [31] Tabora, V.: Face Detection Using OpenCV With Haar Cascade Classifiers. Feb 2019, [Online; navštívené 5.3.2019].
URL <https://becominghuman.ai/face-detection-using-opencv-with-haar-cascade-classifiers-941dbb25177>
- [32] Wu, T. Y.; Guo, N.; Teh, C. Y.; aj.: Advances in Ultrasound Technology for Environmental Remediation. Springer Netherlands, 2013, ISBN 978-94-007-5533-8, doi:10.1007/978-94-007-5533-8.
- [33] Yao, C. W.: An ultrasonic method for 3D reconstruction of surface topography. Journal of Physics Communications, ročník 2, č. 5, May 2018, [Online; navštívené 23.3.2019].
URL <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2399-6528/aac691>
- [34] Yin, X.; Ng, B.; Abbott, D.: Terahertz Imaging for Biomedical Applications. Springer-Verlag New York, 2012, ISBN 978-1-4614-1820-7, doi:10.1007/978-1-4614-1821-4.

Príloha A

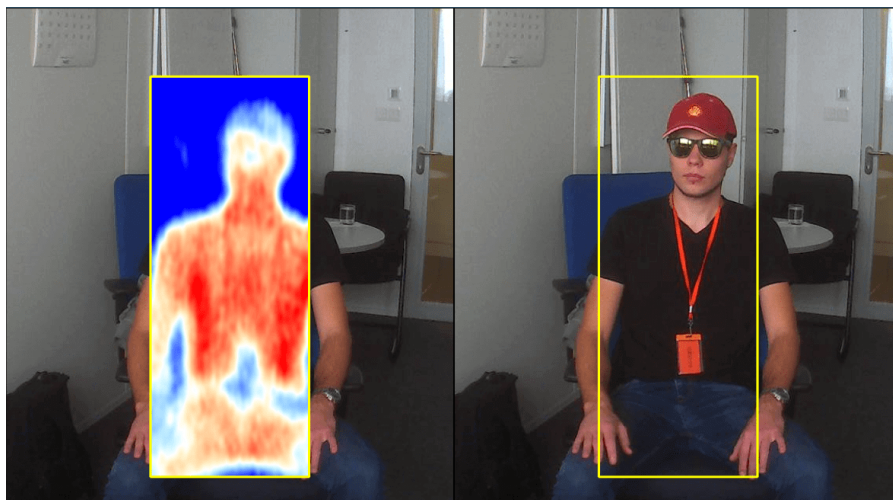
Obrázky z experimentov



Obr. A.1: Kontrolný experiment modro-biela farebná schéma zobrazenia.



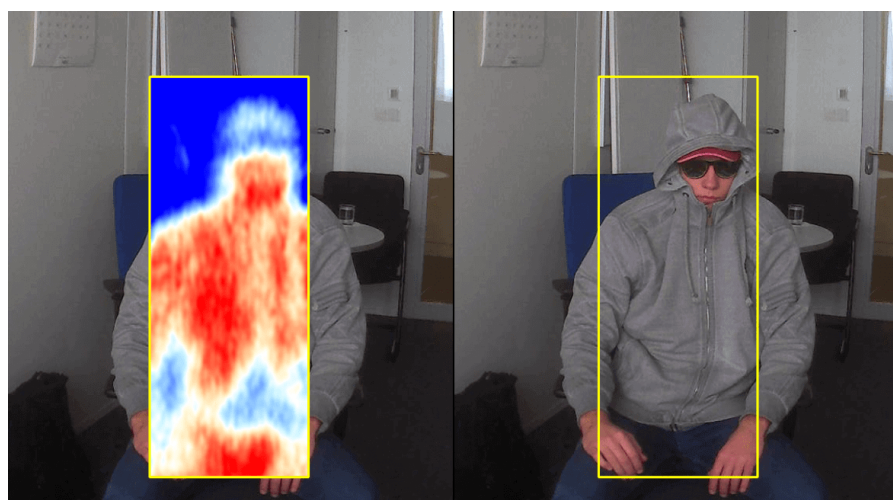
Obr. A.2: Maskovanie pomocou šiltovky a okuliarov.



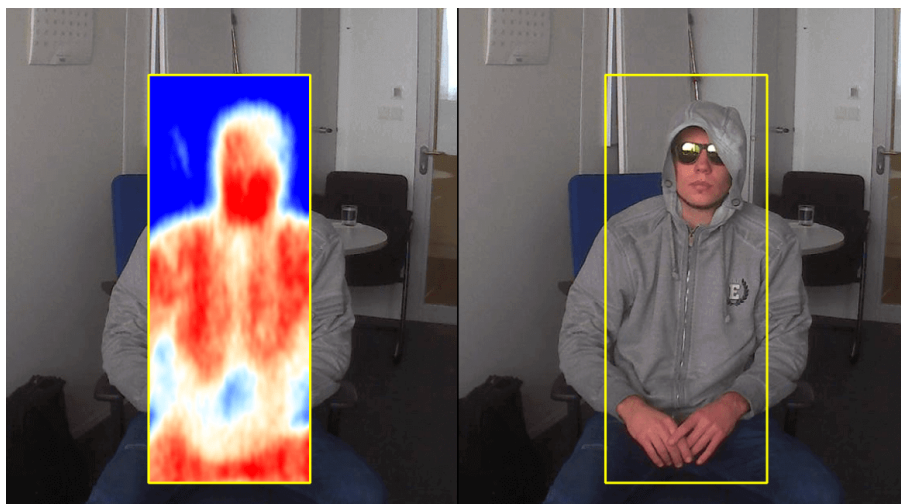
Obr. A.3: Maskovanie pomocou šiltovky a okuliarov.



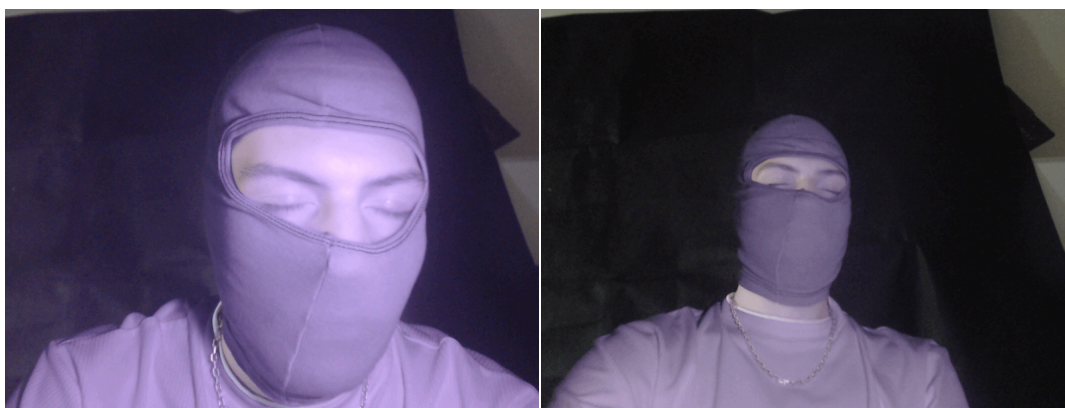
Obr. A.4: Maskovanie pomocou šiltovky, šatky cez tvár a kapucne.



Obr. A.5: Maskovanie pomocou šiltovky, slnečných okuliarov a kapucne.



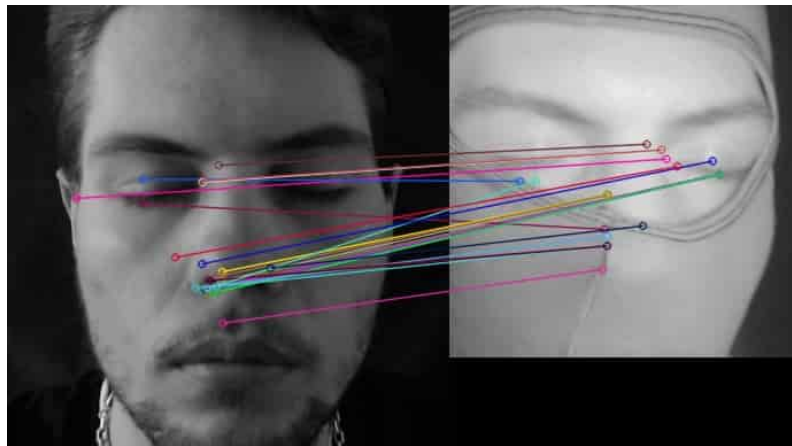
Obr. A.6: Maskovanie pomocou slnečných okuliarov a kapucne.



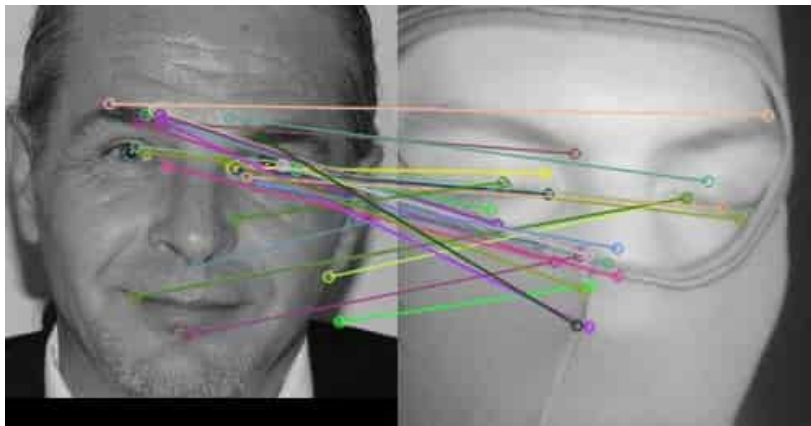
Obr. A.7: Vplyv vzdialenosti tváre od IR osvetľovacieho modulu.



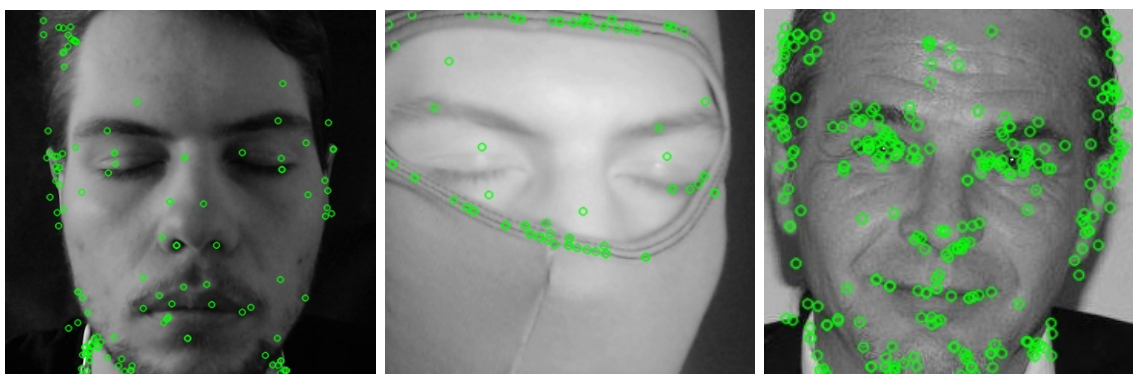
Obr. A.8: Vplyv materiálu maskovania na výsledky pri rovnakej intenzite IR žiarenia.



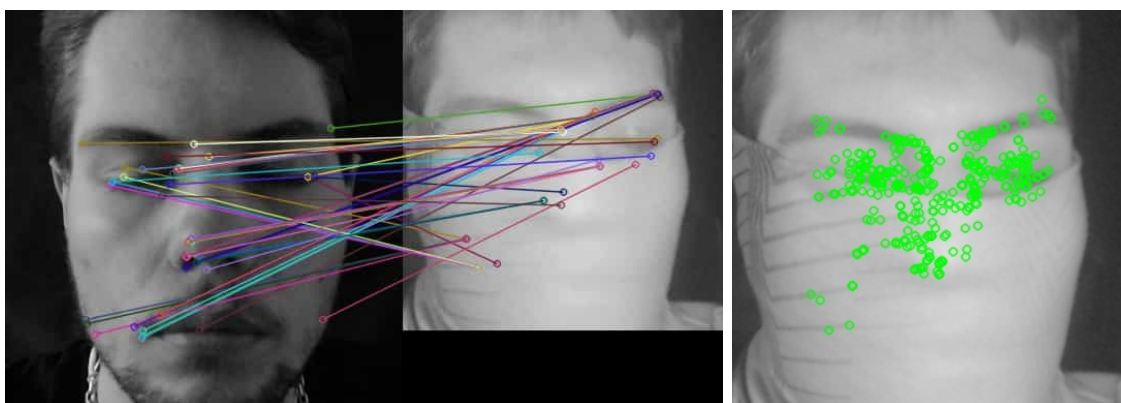
Obr. A.9: Najlepšie zhody kľúčových bodov medzi maskovanou tvárou pomocou kukly a vzorovou tvárou bez maskovania na základe ORB.



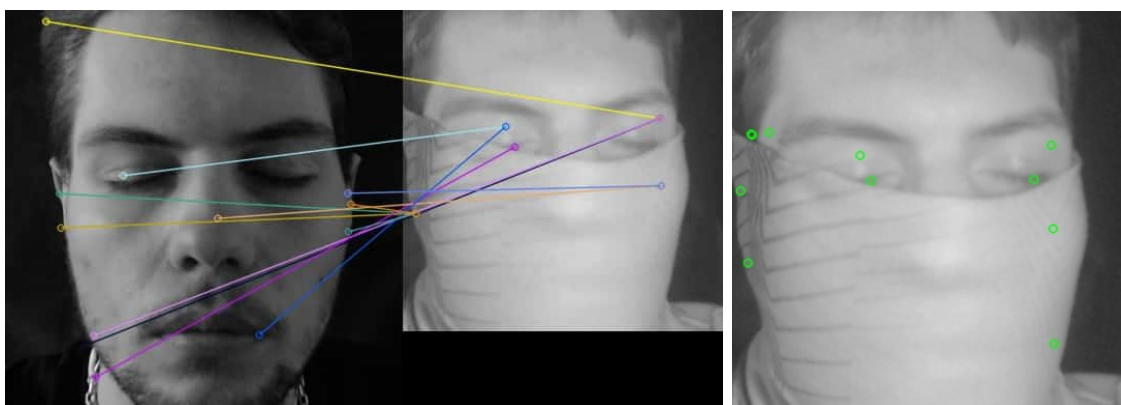
Obr. A.10: Najlepšie zhody kľúčových bodov medzi maskovanou tvárou pomocou kukly a inou tvárou bez maskovania na základe ORB.



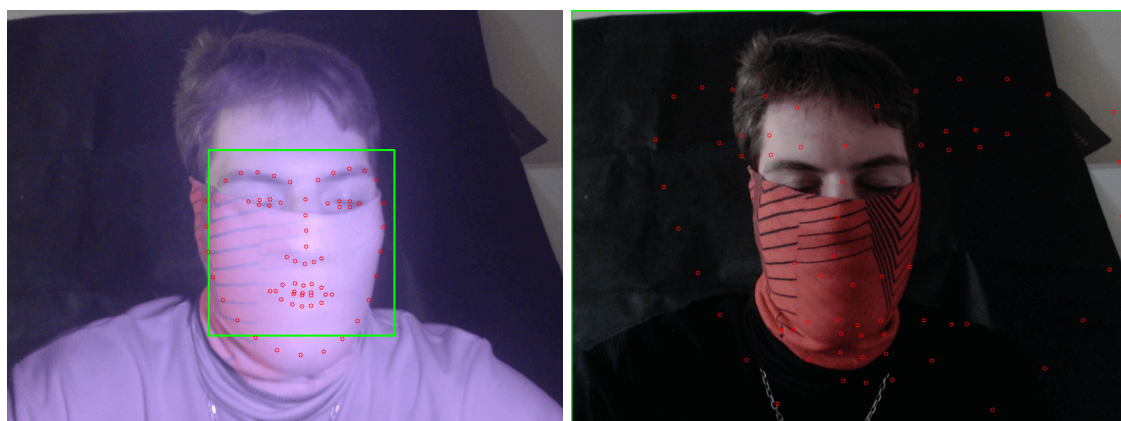
Obr. A.11: Zobrazenie detekovaných kľúčových bodov pomocou SIFT.



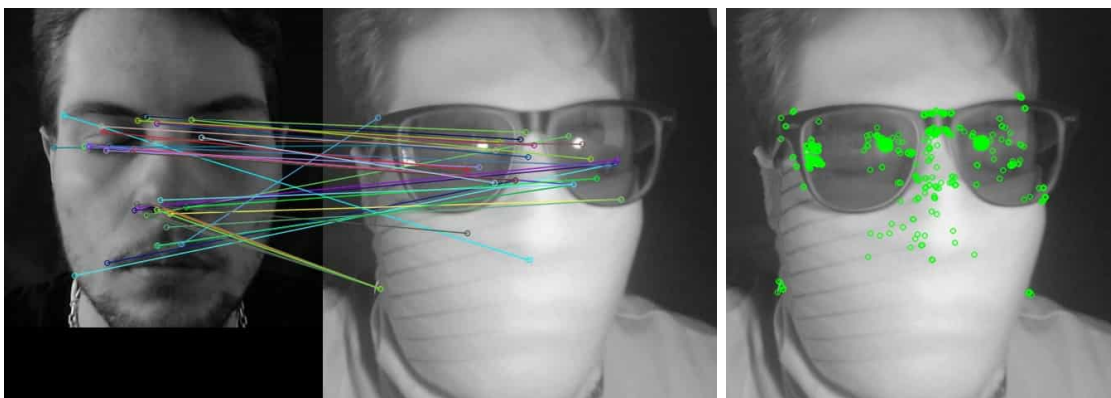
Obr. A.12: Grafické zobrazenie kľúčových bodov na maskovanej snímke a prepojenie bodov s najlepšou zhodou na základe ORB.



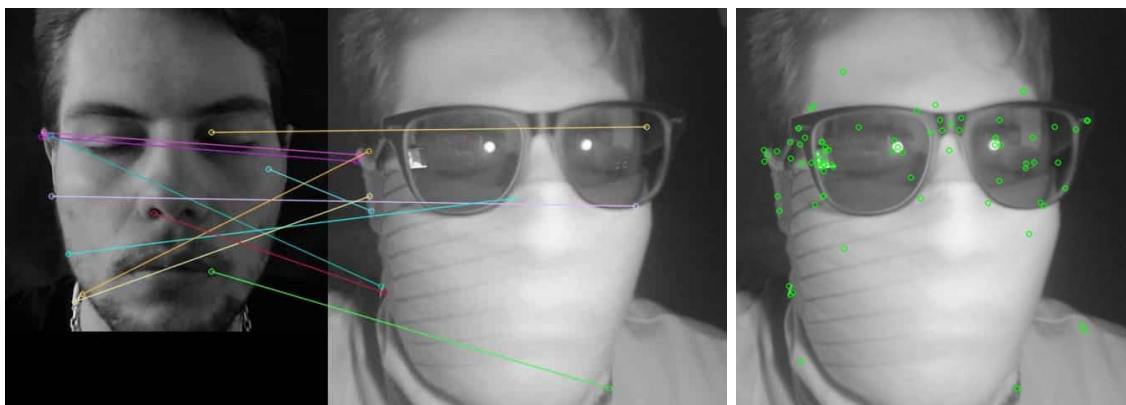
Obr. A.13: Grafické zobrazenie kľúčových bodov na maskovanej snímke a prepojenie bodov s najlepšou zhodou na základe SIFT.



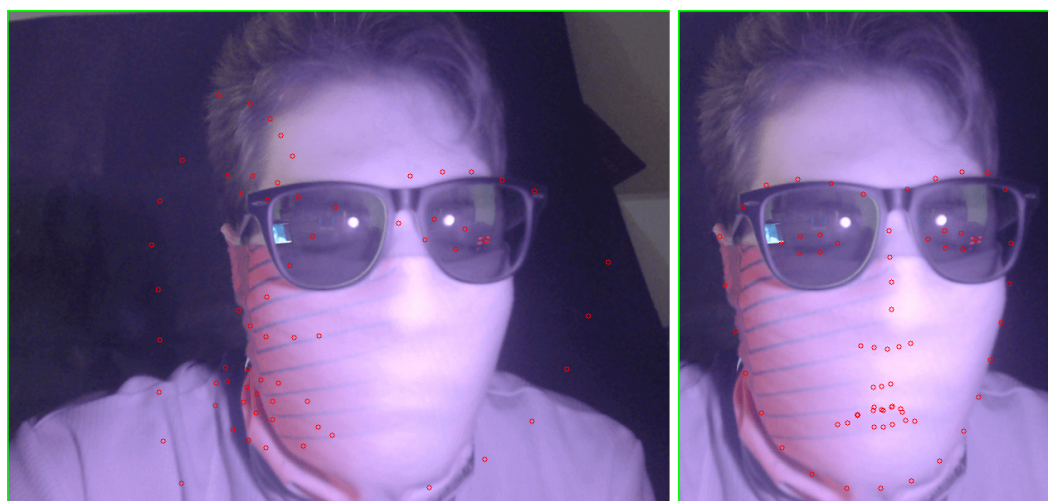
Obr. A.14: Zobrazenie orientačných bodov tváre na maskovanej snímke s a bez IR osvetľovacieho modulu pomocou 68 bodového prediktora.



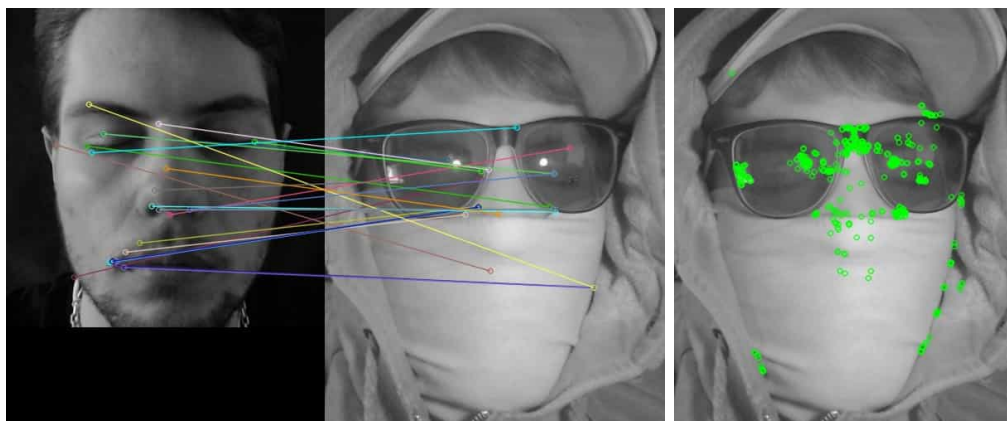
Obr. A.15: Grafické zobrazenie klúčových bodov na maskovanej snímke a prepojenie bodov s najlepšou zhodou na základe ORB.



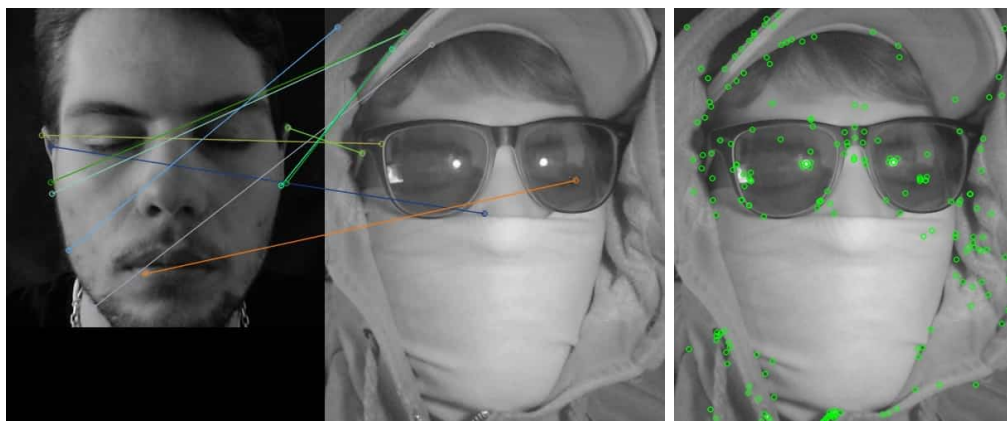
Obr. A.16: Grafické zobrazenie klúčových bodov na maskovanej snímke a prepojenie bodov s najlepšou zhodou na základe SIFT.



Obr. A.17: Zobrazenie orientačných bodov tváre na maskovanej snímke s a bez orezania snímky pomocou 68 bodového prediktora.



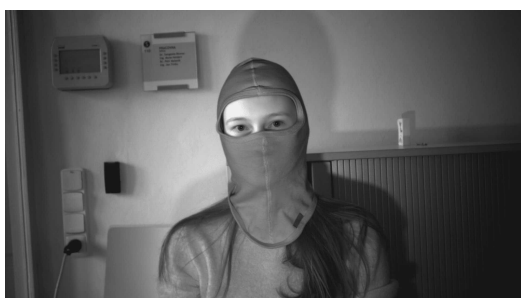
Obr. A.18: Grafické zobrazenie kľúčových bodov na maskovanej snímke a prepojenie bodov s najlepšou zhodou na základe ORB.



Obr. A.19: Grafické zobrazenie kľúčových bodov na maskovanej snímke a prepojenie bodov s najlepšou zhodou na základe SIFT.



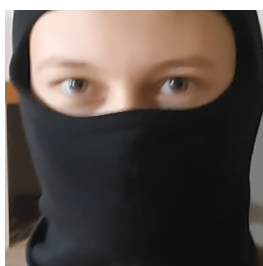
Obr. A.20: Zobrazenie orientačných bodov tváre na maskovanej snímke s a bez orezania snímky pomocou 68 bodového prediktora.



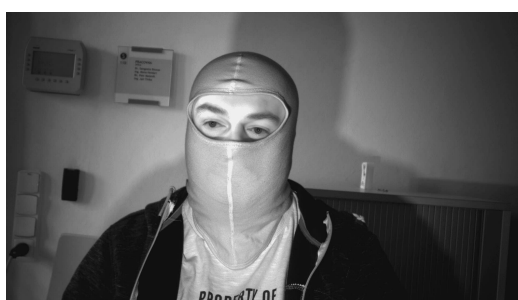
Obr. A.21: Náhľad k_kukla.png.



Obr. A.22: Náhľad k_kukla2.png.



Obr. A.23: Náhľad na manuálny výrez k_kukla_control_manual.jpg.



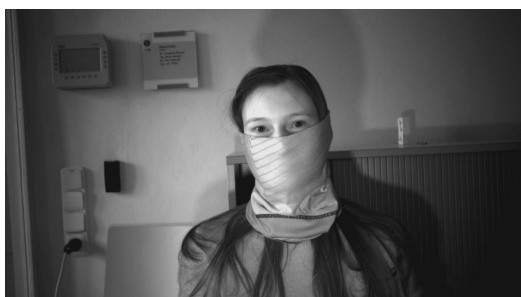
Obr. A.24: Náhľad b_kukla.png.



Obr. A.25: Náhľad na manuálny výrez d_bufka_control_manual.jpg.



Obr. A.26: Náhľad d_bufka.png.



Obr. A.27: Náhľad k_bufka2.png.



Obr. A.28: Náhľad m_bufka_okuliare.png.



Obr. A.29: Náhľad na manuálny výrez
e_bufka_okuliare_manual.png.



Obr. A.30: Náhľad na manuálny výrez
e_bufka_okuliare_manual2.png.



Obr. A.31: Náhľad na manuálny výrez
f_bufka_okuliare_manual.png.



Obr. A.32: Náhľad na manuálny výrez
i_kapucna_bufka2_manual.png.

Príloha B

Tabuľky porovnania tvárí

Tabuľka B.1: Výsledky porovnania maskovanej tváre k_kukla.png pomocou kukly a databázou kontrolných tvárí bez maskovania s využitím IR žiarenia.

Názov snímky	Detekcia tváre	Euklidová vzdialenosť
k_gray	HoG Face Detector	0.4954
k_control	HoG Face Detector	0.5099
k_webka	Haarcascade Detector	0.5263
c_control	HoG Face Detector	0.6018
c_webka	HoG Face Detector	0.6080
f_control	Haarcascade Detector	0.6108
f_webka	HoG Face Detector	0.6120
l_control	HoG Face Detector	0.6217
l_gray	HoG Face Detector	0.6323
g_webka	Haarcascade Detector	0.6386
l_webka	HoG Face Detector	0.6454
m_webka	HoG Face Detector	0.6498
c_gray	HoG Face Detector	0.6587
f_gray	HoG Face Detector	0.6615
m_control	HoG Face Detector	0.6777
m_gray	HoG Face Detector	0.6940
e_webka	Haarcascade Detector	0.6965
h_control	HoG Face Detector	0.7031
d_control	HoG Face Detector	0.7032
d_webka	HoG Face Detector	0.7066
i_control	HoG Face Detector	0.7080
e_gray	HoG Face Detector	0.7094
i_webka	HoG Face Detector	0.7132
g_gray	HoG Face Detector	0.7138
g_control	HoG Face Detector	0.7173
e_control	Haarcascade Detector	0.7176
h_webka	Haarcascade Detector	0.7247
j_control	HoG Face Detector	0.7267
j_webka	HoG Face Detector	0.7281
i_gray	HoG Face Detector	0.7325
h_gray	HoG Face Detector	0.7428
j_gray	HoG Face Detector	0.7501
b_control	HoG Face Detector	0.7536
d_gray	HoG Face Detector	0.7608
b_webka	HoG Face Detector	0.7712
b_gray	HoG Face Detector	0.7807

Tabuľka B.2: Výsledky porovnania maskovanej tváre k_kukla2.png pomocou kukly a databázou kontrolných tvárí bez maskovania s využitím IR žiarenia.

Názov snímky	Detekcia tváre	Euklidová vzdialenosť
k_gray	HoG Face Detector	0.5402
k_control	HoG Face Detector	0.5536
k_webka	Haarcascade Detector	0.6164
l_control	HoG Face Detector	0.6422
m_webka	HoG Face Detector	0.6424
i_webka	HoG Face Detector	0.6439
i_control	HoG Face Detector	0.6539
h_control	HoG Face Detector	0.6576
j_control	HoG Face Detector	0.6608
l_gray	HoG Face Detector	0.6657
l_webka	HoG Face Detector	0.6659
j_webka	HoG Face Detector	0.6720
h_webka	Haarcascade Detector	0.6782
m_control	HoG Face Detector	0.6828
j_gray	HoG Face Detector	0.6925
m_gray	HoG Face Detector	0.6931
i_gray	HoG Face Detector	0.6935
h_gray	HoG Face Detector	0.7020
e_webka	Haarcascade Detector	0.7023
f_control	Haarcascade Detector	0.7050
f_webka	HoG Face Detector	0.7143
b_gray	HoG Face Detector	0.7208
e_gray	HoG Face Detector	0.7210
b_webka	HoG Face Detector	0.7223
e_control	Haarcascade Detector	0.7243
b_control	HoG Face Detector	0.7304
f_gray	HoG Face Detector	0.7442
c_webka	HoG Face Detector	0.7630
d_webka	HoG Face Detector	0.7677
c_control	HoG Face Detector	0.7822
c_gray	HoG Face Detector	0.7920
d_control	HoG Face Detector	0.7924
g_webka	Haarcascade Detector	0.7959
d_gray	HoG Face Detector	0.8031
g_gray	HoG Face Detector	0.8114
g_control	HoG Face Detector	0.8317

Tabuľka B.3: Výsledky porovnania maskovanej tváre k_kukla_control_manual.jpg pomocou kukly a databázou kontrolných tvárí bez maskovania a bez využitia IR žiarenia.

Názov snímky	Detekcia tváre	Euklidová vzdialenosť
c_webka	HoG Face Detector	0.5354
f_webka	HoG Face Detector	0.5633
c_control	HoG Face Detector	0.5671
c_gray	HoG Face Detector	0.5740
f_control	Haarcascade Detector	0.5870
g_gray	HoG Face Detector	0.5982
g_webka	Haarcascade Detector	0.6131
g_control	HoG Face Detector	0.6133
f_gray	HoG Face Detector	0.6491
k_webka	Haarcascade Detector	0.6536
l_control	HoG Face Detector	0.6618
b_gray	HoG Face Detector	0.6660
k_gray	HoG Face Detector	0.6683
k_control	HoG Face Detector	0.6686
d_control	HoG Face Detector	0.6787
h_control	HoG Face Detector	0.6808
e_webka	Haarcascade Detector	0.6839
b_control	HoG Face Detector	0.6855
d_webka	HoG Face Detector	0.6867
l_gray	HoG Face Detector	0.6892
l_webka	HoG Face Detector	0.6947
j_control	HoG Face Detector	0.6953
b_webka	HoG Face Detector	0.6971
j_webka	HoG Face Detector	0.6972
e_control	Haarcascade Detector	0.7124
d_gray	HoG Face Detector	0.7149
i_webka	HoG Face Detector	0.7189
e_gray	HoG Face Detector	0.7194
h_webka	Haarcascade Detector	0.7222
j_gray	HoG Face Detector	0.7252
m_webka	HoG Face Detector	0.7313
h_gray	HoG Face Detector	0.7424
m_control	HoG Face Detector	0.7472
i_gray	HoG Face Detector	0.7564
m_gray	HoG Face Detector	0.7595
i_control	HoG Face Detector	0.7635

Tabuľka B.4: Výsledky porovnania maskovanej tváre b_kukla.png pomocou kukly a databázou kontrolných tvárí bez maskovania s využitím IR žiarenia.

Názov snímky	Detekcia tváre	Euklidová vzdialenosť
d_control	HoG Face Detector	0.6252
f_webka	HoG Face Detector	0.6271
d_webka	HoG Face Detector	0.6288
d_gray	HoG Face Detector	0.6510
f_control	Haarcascade Detector	0.6544
b_gray	HoG Face Detector	0.6686
c_control	HoG Face Detector	0.6736
g_gray	HoG Face Detector	0.6795
c_webka	HoG Face Detector	0.6826
b_webka	HoG Face Detector	0.6833
f_gray	HoG Face Detector	0.6846
l_gray	HoG Face Detector	0.6982
b_control	HoG Face Detector	0.6992
k_gray	HoG Face Detector	0.7035
c_gray	HoG Face Detector	0.7037
g_control	HoG Face Detector	0.7057
j_gray	HoG Face Detector	0.7069
l_control	HoG Face Detector	0.7071
g_webka	Haarcascade Detector	0.7080
k_control	HoG Face Detector	0.7141
l_webka	HoG Face Detector	0.7178
k_webka	Haarcascade Detector	0.7256
h_control	HoG Face Detector	0.7307
m_gray	HoG Face Detector	0.7411
m_webka	HoG Face Detector	0.7424
j_control	HoG Face Detector	0.7431
m_control	HoG Face Detector	0.7480
i_gray	HoG Face Detector	0.7488
e_gray	HoG Face Detector	0.7559
e_webka	Haarcascade Detector	0.7583
e_control	Haarcascade Detector	0.7625
h_webka	Haarcascade Detector	0.7635
i_control	HoG Face Detector	0.7733
j_webka	HoG Face Detector	0.7735
i_webka	HoG Face Detector	0.7812
h_gray	HoG Face Detector	0.7814

Tabuľka B.5: Výsledky porovnania maskovanej tváre k_bufka2.png pomocou šatky a databázou kontrolných tvárí bez maskovania s využitím IR žiarenia.

Názov snímky	Detekcia tváre	Euklidová vzdialenosť
k_gray	HoG Face Detector	0.5192
k_control	HoG Face Detector	0.5278
k_webka	Haarcascade Detector	0.5467
l_gray	HoG Face Detector	0.6383
l_webka	HoG Face Detector	0.6510
l_control	HoG Face Detector	0.6512
m_webka	HoG Face Detector	0.6542
m_control	HoG Face Detector	0.6562
m_gray	HoG Face Detector	0.6715
f_control	Haarcascade Detector	0.7026
d_control	HoG Face Detector	0.7048
d_webka	HoG Face Detector	0.7128
c_webka	HoG Face Detector	0.7155
c_control	HoG Face Detector	0.7189
f_webka	HoG Face Detector	0.7198
e_webka	Haarcascade Detector	0.7218
i_webka	HoG Face Detector	0.7289
h_control	HoG Face Detector	0.7379
f_gray	HoG Face Detector	0.7388
h_webka	Haarcascade Detector	0.7396
i_control	HoG Face Detector	0.7454
e_gray	HoG Face Detector	0.7490
g_gray	HoG Face Detector	0.7528
i_gray	HoG Face Detector	0.7530
d_gray	HoG Face Detector	0.7531
j_webka	HoG Face Detector	0.7544
j_control	HoG Face Detector	0.7548
h_gray	HoG Face Detector	0.7582
g_control	HoG Face Detector	0.7599
c_gray	HoG Face Detector	0.7623
e_control	Haarcascade Detector	0.7629
j_gray	HoG Face Detector	0.7994
g_webka	Haarcascade Detector	0.8024
b_webka	HoG Face Detector	0.8077
b_control	HoG Face Detector	0.8194
b_gray	HoG Face Detector	0.8457

Tabuľka B.6: Výsledky porovnania maskovanej tváre d_bufka.png pomocou šatky a databázou kontrolných tvárí bez maskovania s využitím IR žiarenia.

Názov snímky	Detekcia tváre	Euklidová vzdialenosť
g_webka	Haarcascade Detector	0.5875
d_webka	HoG Face Detector	0.5957
d_control	HoG Face Detector	0.6043
f_webka	HoG Face Detector	0.6078
d_gray	HoG Face Detector	0.6305
g_gray	HoG Face Detector	0.6635
c_control	HoG Face Detector	0.6842
f_control	Haarcascade Detector	0.6843
g_control	HoG Face Detector	0.6964
c_webka	HoG Face Detector	0.7131
f_gray	HoG Face Detector	0.7166
c_gray	HoG Face Detector	0.7249
e_webka	Haarcascade Detector	0.7652
k_webka	Haarcascade Detector	0.7655
b_webka	HoG Face Detector	0.7656
m_webka	HoG Face Detector	0.7669
b_gray	HoG Face Detector	0.7709
b_control	HoG Face Detector	0.7872
k_gray	HoG Face Detector	0.8013
k_control	HoG Face Detector	0.8017
m_control	HoG Face Detector	0.8049
h_control	HoG Face Detector	0.8060
e_gray	HoG Face Detector	0.8139
m_gray	HoG Face Detector	0.8249
l_control	HoG Face Detector	0.8292
l_webka	HoG Face Detector	0.8294
l_gray	HoG Face Detector	0.8344
e_control	Haarcascade Detector	0.8375
j_gray	HoG Face Detector	0.8392
j_webka	HoG Face Detector	0.8554
j_control	HoG Face Detector	0.8691
h_webka	Haarcascade Detector	0.8763
h_gray	HoG Face Detector	0.8932
i_gray	HoG Face Detector	0.8949
i_webka	HoG Face Detector	0.9033
i_control	HoG Face Detector	0.9150

Tabuľka B.7: Výsledky porovnania maskovanej tváre d_bufka_control_manual.png pomocou šatky a databázou kontrolných tvárí bez maskovania a bez využitia IR žiarenia.

Názov snímky	Detekcia tváre	Euklidová vzdialenosť
b_gray	HoG Face Detector	0.5695
b_webka	HoG Face Detector	0.5861
d_control	HoG Face Detector	0.5915
d_gray	HoG Face Detector	0.5921
d_webka	HoG Face Detector	0.6002
b_control	HoG Face Detector	0.6120
e_webka	Haarcascade Detector	0.6337
f_control	Haarcascade Detector	0.6897
f_webka	HoG Face Detector	0.6923
g_webka	Haarcascade Detector	0.7083
e_gray	HoG Face Detector	0.7145
h_control	HoG Face Detector	0.7206
g_gray	HoG Face Detector	0.7206
f_gray	HoG Face Detector	0.7258
e_control	Haarcascade Detector	0.7288
c_gray	HoG Face Detector	0.7353
g_control	HoG Face Detector	0.7418
c_webka	HoG Face Detector	0.7566
c_control	HoG Face Detector	0.7600
h_gray	HoG Face Detector	0.7702
k_control	HoG Face Detector	0.7708
m_webka	HoG Face Detector	0.7723
m_gray	HoG Face Detector	0.7830
k_gray	HoG Face Detector	0.7856
m_control	HoG Face Detector	0.8026
k_webka	Haarcascade Detector	0.8150
h_webka	Haarcascade Detector	0.8208
j_gray	HoG Face Detector	0.8423
j_control	HoG Face Detector	0.8640
i_gray	HoG Face Detector	0.8640
l_gray	HoG Face Detector	0.8721
l_control	HoG Face Detector	0.8753
l_webka	HoG Face Detector	0.8825
j_webka	HoG Face Detector	0.9016
i_control	HoG Face Detector	0.9032
i_webka	HoG Face Detector	0.9055

Tabuľka B.8: Výsledky porovnania maskovanej tváre m_bufka_okuliare.png pomocou šatky a databázou kontrolných tvárí bez maskovania a bez využitia IR žiarenia.

Názov snímky	Detekcia tváre	Euklidová vzdialenosť
m_webka	HoG Face Detector	0.6328
g_gray	HoG Face Detector	0.6576
d_control	HoG Face Detector	0.6614
g_control	HoG Face Detector	0.6656
d_gray	HoG Face Detector	0.6674
d_webka	HoG Face Detector	0.6703
e_webka	Haarcascade Detector	0.6751
m_control	HoG Face Detector	0.6763
h_control	HoG Face Detector	0.6808
g_webka	Haarcascade Detector	0.6813
b_gray	HoG Face Detector	0.6851
m_gray	HoG Face Detector	0.6898
j_gray	HoG Face Detector	0.6898
b_control	HoG Face Detector	0.6917
b_webka	HoG Face Detector	0.6922
c_control	HoG Face Detector	0.6958
e_control	Haarcascade Detector	0.7021
c_gray	HoG Face Detector	0.7035
h_gray	HoG Face Detector	0.7192
f_webka	HoG Face Detector	0.7222
f_control	Haarcascade Detector	0.7239
e_gray	HoG Face Detector	0.7244
c_webka	HoG Face Detector	0.7258
j_control	HoG Face Detector	0.7458
k_control	HoG Face Detector	0.7459
k_webka	Haarcascade Detector	0.7496
k_gray	HoG Face Detector	0.7529
h_webka	Haarcascade Detector	0.7553
f_gray	HoG Face Detector	0.7596
j_webka	HoG Face Detector	0.7607
i_gray	HoG Face Detector	0.7721
l_webka	HoG Face Detector	0.8030
i_control	HoG Face Detector	0.8168
l_gray	HoG Face Detector	0.8176
i_webka	HoG Face Detector	0.8246
l_control	HoG Face Detector	0.8272

Tabuľka B.9: Výsledky porovnania maskovanej tváre e_bufka_okuliare_manual.png pomocou šatky a databázou kontrolných tvárí bez maskovania a bez využitia IR žiarenia.

Názov snímky	Detekcia tváre	Euklidová vzdialenosť
f_webka	HoG Face Detector	0.6116
d_control	HoG Face Detector	0.6446
d_webka	HoG Face Detector	0.6501
h_control	HoG Face Detector	0.6512
g_webka	Haarcascade Detector	0.6542
f_control	Haarcascade Detector	0.6619
k_gray	HoG Face Detector	0.6651
d_gray	HoG Face Detector	0.6670
f_gray	HoG Face Detector	0.6700
m_webka	HoG Face Detector	0.6775
k_control	HoG Face Detector	0.6805
k_webka	Haarcascade Detector	0.6819
c_control	HoG Face Detector	0.6959
b_webka	HoG Face Detector	0.7007
j_webka	HoG Face Detector	0.7020
j_gray	HoG Face Detector	0.7038
c_webka	HoG Face Detector	0.7087
c_gray	HoG Face Detector	0.7148
b_gray	HoG Face Detector	0.7160
l_control	HoG Face Detector	0.7209
g_gray	HoG Face Detector	0.7215
h_webka	Haarcascade Detector	0.7232
e_webka	Haarcascade Detector	0.7363
g_control	HoG Face Detector	0.7383
b_control	HoG Face Detector	0.7389
h_gray	HoG Face Detector	0.7398
j_control	HoG Face Detector	0.7420
m_control	HoG Face Detector	0.7527
l_webka	HoG Face Detector	0.7534
m_gray	HoG Face Detector	0.7562
i_webka	HoG Face Detector	0.7593
i_control	HoG Face Detector	0.7594
i_gray	HoG Face Detector	0.7645
l_gray	HoG Face Detector	0.7649
e_control	Haarcascade Detector	0.7843
e_gray	HoG Face Detector	0.7882

Tabuľka B.10: Výsledky porovnania maskovanej tváre e_bufka_okuliare_manual2.png pomocou šatky a databázou kontrolných tvárí bez maskovania a bez využitia IR žiarenia.

Názov snímky	Detekcia tváre	Euklidová vzdialenosť
d_webka	HoG Face Detector	0.6067
d_control	HoG Face Detector	0.6082
f_webka	HoG Face Detector	0.6167
g_gray	HoG Face Detector	0.6233
c_control	HoG Face Detector	0.6356
g_control	HoG Face Detector	0.6373
d_gray	HoG Face Detector	0.6463
f_control	Haarcascade Detector	0.6544
c_webka	HoG Face Detector	0.6557
g_webka	Haarcascade Detector	0.6594
f_gray	HoG Face Detector	0.6654
b_webka	HoG Face Detector	0.6708
c_gray	HoG Face Detector	0.6733
b_gray	HoG Face Detector	0.6887
h_control	HoG Face Detector	0.6936
b_control	HoG Face Detector	0.6944
m_webka	HoG Face Detector	0.7021
k_webka	Haarcascade Detector	0.7089
k_gray	HoG Face Detector	0.7107
k_control	HoG Face Detector	0.7172
l_control	HoG Face Detector	0.7235
l_webka	HoG Face Detector	0.7273
m_gray	HoG Face Detector	0.7325
h_gray	HoG Face Detector	0.7330
e_webka	Haarcascade Detector	0.7350
m_control	HoG Face Detector	0.7377
j_gray	HoG Face Detector	0.7384
l_gray	HoG Face Detector	0.7476
e_control	Haarcascade Detector	0.7484
j_control	HoG Face Detector	0.7497
e_gray	HoG Face Detector	0.7546
h_webka	Haarcascade Detector	0.7606
j_webka	HoG Face Detector	0.7612
i_gray	HoG Face Detector	0.7780
i_control	HoG Face Detector	0.7877
i_webka	HoG Face Detector	0.8195

Tabuľka B.11: Výsledky porovnania maskovanej tváre f_kapucna_bufka2_manual.png pomocou šatky a databázou kontrolných tvárí bez maskovania a bez využitia IR žiarenia.

Názov snímky	Detekcia tváre	Euklidová vzdialenosť
g_webka	Haarcascade Detector	0.5961
f_webka	HoG Face Detector	0.6172
d_control	HoG Face Detector	0.6247
d_gray	HoG Face Detector	0.6470
d_webka	HoG Face Detector	0.6660
f_control	Haarcascade Detector	0.6857
c_gray	HoG Face Detector	0.6920
c_control	HoG Face Detector	0.7204
f_gray	HoG Face Detector	0.7235
g_gray	HoG Face Detector	0.7288
c_webka	HoG Face Detector	0.7362
g_control	HoG Face Detector	0.7389
b_gray	HoG Face Detector	0.7597
j_gray	HoG Face Detector	0.7662
j_control	HoG Face Detector	0.7728
j_webka	HoG Face Detector	0.7778
h_control	HoG Face Detector	0.7824
e_webka	Haarcascade Detector	0.7838
m_gray	HoG Face Detector	0.7846
k_webka	Haarcascade Detector	0.7903
b_webka	HoG Face Detector	0.7919
m_control	HoG Face Detector	0.7974
b_control	HoG Face Detector	0.8104
m_webka	HoG Face Detector	0.8129
h_webka	Haarcascade Detector	0.8153
k_gray	HoG Face Detector	0.8157
e_gray	HoG Face Detector	0.8185
i_webka	HoG Face Detector	0.8286
i_gray	HoG Face Detector	0.8301
k_control	HoG Face Detector	0.8301
e_control	Haarcascade Detector	0.8341
l_control	HoG Face Detector	0.8557
h_gray	HoG Face Detector	0.8560
l_webka	HoG Face Detector	0.8804
l_gray	HoG Face Detector	0.8808
i_control	HoG Face Detector	0.8885

Tabuľka B.12: Výsledky porovnania maskovanej tváre i_kapucna_bufka2_manual.png pomocou šatky a databázou kontrolných tvárí bez maskovania a bez využitia IR žiarenia.

Názov snímky	Detekcia tváre	Euklidová vzdialenosť
g_webka	Haarcascade Detector	0.5756
c_gray	HoG Face Detector	0.6004
c_control	HoG Face Detector	0.6049
f_webka	HoG Face Detector	0.6129
c_webka	HoG Face Detector	0.6339
g_gray	HoG Face Detector	0.6655
g_control	HoG Face Detector	0.6800
f_control	Haarcascade Detector	0.7467
d_control	HoG Face Detector	0.7513
d_webka	HoG Face Detector	0.7756
b_gray	HoG Face Detector	0.7816
j_control	HoG Face Detector	0.7864
f_gray	HoG Face Detector	0.7873
j_gray	HoG Face Detector	0.7908
d_gray	HoG Face Detector	0.7924
m_control	HoG Face Detector	0.7968
m_webka	HoG Face Detector	0.8054
b_webka	HoG Face Detector	0.8058
h_control	HoG Face Detector	0.8083
e_webka	Haarcascade Detector	0.8119
l_webka	HoG Face Detector	0.8127
m_gray	HoG Face Detector	0.8147
k_webka	Haarcascade Detector	0.8147
b_control	HoG Face Detector	0.8170
j_webka	HoG Face Detector	0.8229
l_control	HoG Face Detector	0.8235
e_gray	HoG Face Detector	0.8344
l_gray	HoG Face Detector	0.8346
k_control	HoG Face Detector	0.8474
h_webka	Haarcascade Detector	0.8562
e_control	Haarcascade Detector	0.8590
i_webka	HoG Face Detector	0.8599
i_gray	HoG Face Detector	0.8643
k_gray	HoG Face Detector	0.8667
h_gray	HoG Face Detector	0.8803
i_control	HoG Face Detector	0.8913

Príloha C

Obsah CD

Na priloženom CD sa nachádzajú nasledujúce materiály:

- **Databáza maskovaných fotografií:** zložka Databáza
- **Skripty na extrakciu tváre:** zložka Skripty
- **Zdrojový kód bakalárskej práce:** zložka Latex
- **Informácie o jednotlivých skriptoch:** súbor readme.txt