

Sledování vlivu teploty na termogram lidské tváře

Monitoring the influence of the ambient temperature on the
thermogram of the human face

Radovan Kováčik

Bakalářská práce
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Radovan KOVÁČIK**
Osobní číslo: **A09183**
Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**

Téma práce: **Sledování vlivu teploty na termogram lidské tváře**

Zásady pro vypracování:

1. Popište strukturu lidského obličeje.
2. Vypracujte stručnou rešerši na téma biometrie obličeje.
3. Provedte analýzu současného stavu využití termogramů obličeje v bezpečnostních aplikacích.
4. Provedte praktická měření teploty obličejů za různých teplot okolního prostředí.
5. Získaná data pečlivě a přehlednou formou zaznamenejte.
6. Výsledky okomentujte v kapitole "Výsledky a diskuze".
7. Citujte použitou literaturu dle požadavků na vypracování bakalářské práce.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. Rak R. et al.: **Biometrie a identita člověka ve forenzních a komerčních aplikacích.** Praha, Grada Publishing, 2008, ISBN 978-80-247-2365-5
2. Siegel J. A. et al.: **Encyclopedia of Forensic Sciences. Four-Volume Set, pgs. 773 ? 815,** Elsevier, 2000, ISBN: 978-0-12-227215-8
3. Shoniregum C. A., Crosier S.: **Securing Biometric Applications.** Springer Science+Business Media LLC., 2008, e-ISBN: 978-0-387-69933-2
4. Plasencia Y. et al.: **A Study on Representations for Face Recognition from Thermal Images.** In CIARP 2009, LCNS 5856, pp. 185-192, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2009
5. Prokoski F. J., Riedel R. B.: **Infrared Identification of Faces and Body Parts.** Michigan State University, course materials, 2005
6. Lawlor M.: **Thermal Pattern Recognition System Faces Security Challenges Head on.** In Signal 52 (3): 64-66, 1997

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Kateřina Sulovská

Ústav bezpečnostního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

24. února 2012

Termín odevzdání bakalářské práce:

25. května 2012

Ve Zlíně dne 24. února 2012

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan



L.S.

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Táto práca sa zaoberá využitím a vlastnosťami termosnímkou tváre. Zo začiatku sa zameriava na štruktúru ľudskej tváre a jej identifikačných markantov pre biometrické systémy. Potom nás oboznámi s teoretickým základom biometrie tváre, lokalizácii a rozpoznávania tváre, fyzikálnej teórii a základmi termografie. Predposledná časť rozpráva o využití termografie v praxi. Posledná časť je venovaná analýze termosnímkou a záverečnému zhrnutiu.

Kľúčová slova: termosnímkou, termografia, biometria, systém,

ABSTRACT

This theme discusses the use and the thermal properties of faces. At first, It focuses on the structure of the human face and Its biometric identification systems. Then we are informed about the theoretical basic of biometrics face, localization and face recognition, physical theory and fundamentals of thermography. The penultimate section talks about using thermography in practise. The last section is devoted to analyzing the thermoshots and the final summary.

Keywords: thermograph, thermocamera, biometric, system

Poděkování, motto

Ďakujem vedúcej bakalárskej práce, slečne Ing. Kateřině Sulovské za jej odbornú pomoc a rady, vďaka ktorým mohla táto práca vzniknúť. Ďalej by som chcel poďakovať všetkým, ktorí sa zúčastnili na meraniach a tým sa podieľali na vytvorení databázy termosnímkou.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 ANATÓMIA ĽUDSKEJ TVÁRE	12
1.1 KOSTRA HLAVY- TVÁROVÁ ČASŤ	12
1.1.1 Horná čeľusť	13
1.1.2 Nosné kostičky	14
1.1.3 Dolná čeľusť.....	14
1.1.4 Lícne kosti	14
1.2 SVALY HLAVY	14
1.2.1 Mimické tvárové svaly	15
1.2.2 Hlboké mimické svaly.....	16
1.2.3 Svaly štrbiny ústnej	16
1.2.4 Svaly vonkajšieho nosa	16
1.2.5 Svaly lebečnej klenby	16
1.2.6 Svaly štrbiny očnej.....	16
1.3 ŠTRUKTÚRY NA POVRCHU TVÁRE.....	16
1.3.1 Vonkajší nos.....	17
1.3.2 Oblasť úst.....	17
1.3.3 Oblasť tváre.....	17
1.3.4 Ušný boltec.....	17
1.4 POHLAVNÉ ROZDIELY NA LEBKE	18
1.5 RÔZNE TVÁROVÉ TYPY	19
1.6 VPLYV POHLAVNEJ ROZDIELNOSTI NA TVÁR	19
1.7 STARNUTIE TVÁRE	20
2 BIOMETRIA TVÁRE	21
2.1 LOKALIZÁCIA TVÁRE.....	21
2.1.1 Štrukturálny prístup.....	21
2.1.2 Holistický prístup	22
2.1.3 Znalostné metódy	22
2.1.3.1 Rozloženie šede v obraze.....	22
2.1.3.2 Rozpoznávanie tvárových obrysov	23
2.1.3.3 Metóda založená na informáciách o farbách	23
2.1.3.4 Metóda založená na informácii o pohybu na scéne	23
2.1.3.5 Metóda založená na symetrii	24
2.1.4 Zrovnávanie šablón	24
2.2 ALGORITMY POUŽÍVANÉ PRI ROZoznÁVANÍ TVÁRE	24
2.2.1 Analýza hlavných komponentov (PCA – Principal Components Analysis)	24
2.2.1.1 Spracovanie obrázkov pomocou PCA	25
2.2.2 Lineárna diskriminačná analýza (LDA – Linear Discriminant Analysis)	26
2.2.3 Elastický zrovnávací diagram (EBGM - Elastic bunch graph mathic)	27

2.3	3D MODEL TVÁRE.....	28
2.4	NEPRESNOSTI DETEKČIE TVÁRE.....	29
2.5	ROZPOZNÁVANIE TVÁRE	29
2.5.1	Metóda založená na rozložení odtieňu šedej v obraze	29
2.5.2	Metóda založená na geometrických tvaroch a identifikačných markantoch.....	30
2.5.3	Metóda optických tokov (optic flow).....	31
3	DETEKČIA TVÁRE POMOCOU TERMOGRAFIE.....	32
3.1	TERMOGRAFIA	32
3.2	ČIERNE TELESO	32
3.3	PLANCKOV ZÁKON	33
3.4	STEFAN-BOLTZMANOV ZÁKON.....	33
3.5	INFRAČERVENÉ ŽIARENIE	34
3.5.1	Termogram.....	34
4	TECHNIKY TERMOGRAFICKÉHO MERANIA.....	36
4.1	EMISIVITA	36
4.2	ODRAZENÁ TEPLOTA INÝCH OBJEKTOV	37
4.3	VZDIALENOSŤ OD OBJEKTU	37
4.4	RELATÍVNA VLHKOSŤ VZDUCHU	37
4.5	ĎALŠIE PARAMETRE	37
5	TERMOGRAFY V PRAXI	38
5.1	VYUŽITIE PRE PRIEMYSEL.....	38
5.2	VYUŽITIE V MEDICÍNE	41
5.3	VYUŽITIE V DOPRAVE	42
5.4	VYUŽITIE V BEZPEČNOSTNOM PRIEMYSLE.....	42
5.5	PROTIPOŽIARNA OCHRANA	43
5.6	VYUŽITIE PRI EPIDÉMIÁCH	44
5.7	TERMOKAMERA A DETEKTOR LŽI	44
II	PRAKTICKÁ ČÁST	45
6	MERANIE A ZHOTOVOVANIE TERMOSENÍMKOU.....	46
6.1	TERMOKAMERA.....	46
6.2	PODMIENKY MERANIA	47
6.3	POUŽITÝ SOFTWARE	48
6.4	ANALÝZA IDENTIFIKAČNÝCH MARKANTOV.....	49
6.5	ZHRNUTIE.....	52
	ZÁVER	53
	ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....	54
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	55
	SEZNAM OBRÁZKŮ	59
	SEZNAM TABULEK.....	60
	SEZNAM PŘÍLOH.....	61

ÚVOD

Ktorá časť ľudského tela dokáže najlepšie definovať určitú osobu? Ktorý je najlepší spôsob snímania biometrických údajov osôb? Ktorý znak človeka najpresnejšie identifikuje určitú osobu? Toto sú otázky, na ktoré hľadajú odpoveď autori biometrických identifikačných systémov. Niektorými sa zaoberám aj vo svojej práci.

V súčasnosti sme vystavovaný rizikám, ktoré si vyžadujú špeciálnu pozornosť a najefektívnejšiu ochranu. Hrozba terorizmu alebo epidemických nákaz vzbudzujú záujem o biometrické systémy. Poznáme biometrické systémy porovnávajúce odtlačky prstov, sietnicu oka a ďalšie biometrické údaje. Tieto spôsoby však vyžadujú trpezlivosť a spoluprácu snímanej osoby. Snímanie týchto prvkov môže byť niekedy pre dotýčanú osobu nepríjemné.

Najobľúbenejšie a najpohodlnejšie systémy na rozpoznanie osôb sú systémy, ktoré sú zamerané na tvár. Ľudská tvár je skoro vždy odhalená a tým je vystavená biometrickému snímaniu. Dotyčná osoba sa pri snímaní biometrických údajov iba odfotografuje. Okrem fotografovania cez klasický fotoaparát nám dnešná doba ponúka radu možností, a jednou z nich je aj využitie termokamery. Dôvody, prečo použiť termokameru je veľa. Môžeme spomenúť, že termokamere nevadí svetlo ani tieň a môžeme bezkontaktne zmerať teplotu človeka.

Zadanie a téma tejto bakalárskej práce je svojím obsahom značne rozsiahla. Samotná problematika má multidisciplinárny charakter a využíva rôzne fyzikálne javy a zákonitosti. Prácu som skonštruoval do niekoľkých.

V prvej kapitole som opisoval ľudskú tvár, jej typické a atypické znaky. Ďalej som opísal svalovú a kostrovú štruktúru tvárovej časti hlavy. Vplyv starnutia na štruktúru tváre, pohlavné rozdiely a základné typy tváre.

V druhej kapitole som sa sústredil na lokalizáciu a identifikáciu tváre pomocou rôznych prístupov, opisovanie využívaných algoritmov.

V tretej časti som sa zameril na podstatu termografie. Presnejšie som opisoval jej základné teoretické fakty, zákonitosti a zákony.

V štvrtej kapitole uvádzam niektoré vybrané parametre, podmienky a techniky merania, ktoré majú vplyv na praktické využitie termografie.

Piata kapitola poukazuje na široký záber využitia termografie v rôznych priemyselných odvetviach ako je stavebníctvo, doprava a iné.

Predposledná kapitola nás oboznamuje so samotným meraním, s prácou s termokamerou a vyhodnocovacím softwarom. Analyzovali sme zhotovené snímky a priemerné hodnoty, minimá a maximá uložili do tabuľky.

Posledná časť je zhrnutím celej práce aj s nami dosiahnutými závermi.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ANATÓMIA ĽUDSKEJ TVÁRE

Ľudská tvár a ľudská hlava sú anatomicky veľmi zaujímavé časti ľudského tela a stávajú sa tým dominantnou časťou človeka pri identifikácii. Z anatomického hľadiska určuje jej tvar najmä lebka, avšak v tvárovej časti sa významne uplatňujú aj mäkké zložky ako napr. podkožné tkanivo s menším alebo väčším podielom tuku. Na tvare hlavy sa v značnej miere podieľajú svaly. Vo veľkej miere to závisí od štruktúry a tvaru svalov v tvárovej časti, ktoré sú predovšetkým tenké a pohybujú najmä kožou. Svaly v oblasti čeluste a ich stavba predstavujú výnimku v tejto časti ľudského tela. Okrem vyššie spomenutých častí ľudskej tváre sa na jej aktuálnom tvare vo veľkej miere podieľajú nos, pery, brada, oči, líca a ušné laloky.

V tejto časti bakalárskej práce sa budeme podrobnejšie venovať predovšetkým anatomickým rysom ľudskej hlavy, ktoré sú dôležité pri identifikácii a verifikácii tváre biometrickými zariadeniami.

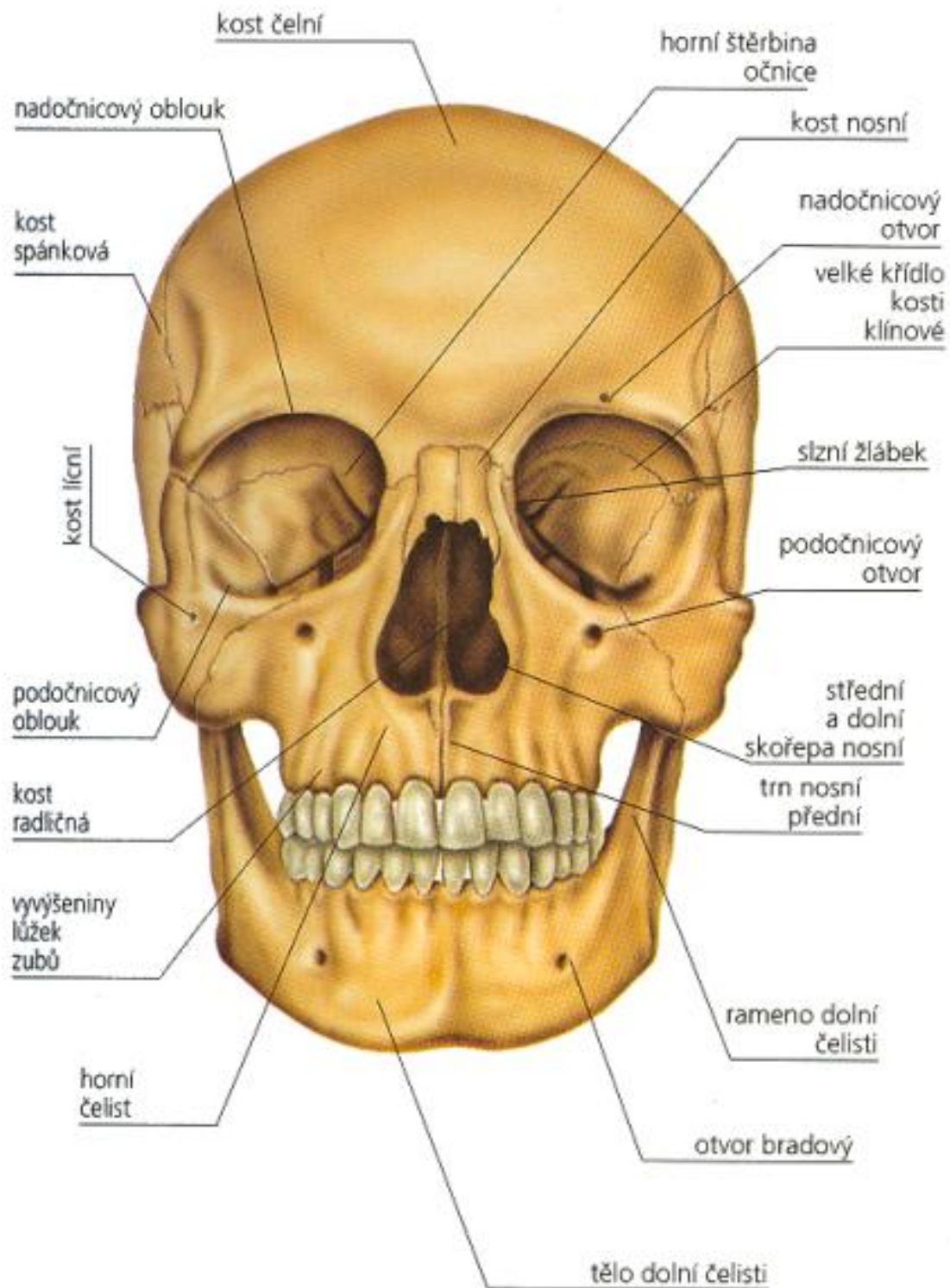
Ľudská kostra má v oblasti hlavy dve časti:

1. mozgová časť lebky (neurocranium) - časť, ktorá vytvára obal pre mozog a zmyslové orgány zrak a čuch.
2. tvárová časť lebky (splanchnocranium) - časť, ktorá sa k mozgovej časti lebky napája z vnútornej strany a zložitým spôsobom sa napája okolo tráviacej trubice.

V ďalšej časti sa podrobnejšie budeme zaoberať najmä tvárovou časťou hlavy, jej stavbou, tvarom, a tým ako môže dochádzať k deformáciám v priebehu starnutia, či rozdielmi medzi ženskou a mužskou lebkou.

1.1 Kostra hlavy- tvárová časť

Tvárová časť lebky sa skladá z párnych kostí a to horná čeľusť, líčna kosť a podnebná kosť a nepárnych kostí jazyľky a dolnej čeľusti. Kosti v tvárovej časti sa nachádzajú na začiatku tráviaceho a dýchacieho ústrojenstva.



Obrázok 1: Kostra hlavy [21]

1.1.1 Horná čeľusť

Párová horná čeľusť je najväčšou z pomedzi párových kostí v tvárovej časti lebky človeka. Ohraničuje v strede tvárovej časti výbežok pre nosný otvor, z ktorého vyčnieva krátky

nosný tříň. Vyskytuje sa len u človeka. Skladá sa z tela a štyroch výbežkov. Telo predstavuje stredná časť hornej čeľusti, lícný a čelný výbežok sa nachádzajú pri vnútornom a dolnom okraji očnice. Vo vnútri tela sa nachádza priestorná dutina spojená s nosnou dutinou, smerom nadol sú zubné lôžka horného zubného oblúka. Z tela do strán vybiehajú výbežky podnebia, ktoré sú v strednej časti spojené švom. Medzičelust'ový otvor, ktorý pokračuje do dutiny nosnej ako kanálik, sa nachádza v prednej časti švu. Od tohto otvoru smerom dopredu sa nachádza samostatná kosť medzičelusť, čo je časť hornej čeľuste oddelená švom. V zadnej časti tvrdého podnebia sú dve samostatné kosti podnebia [1].

1.1.2 Nosné kostičky

Nosné kostičky tvarom pripomínajú strieškovité platničky priklonené k sebe. Vnútorným okrajom sa dotýkajú čelnej kosti, vonkajším okrajom sa dotýkajú výbežkov hornej čeľusti. Dolné nepravidelné okraje sú podložené chrupavkou. Ako následok zlomenín pri úrazoch môže nosný koreň vpadnúť a vznikne tým tzv. sedlovitý nos [2].

1.1.3 Dolná čeľusť

Bradový výbežok v strede tela je významným znakom človeka, ktorý má za následok, že bradový okraj dolnej čeľuste vyčnieva dopredu. Dolná čeľusť sa napája kĺbom na kosť spánkovú. Ďasnový výbežok v tvare podkovy tvorí telo dolnej čeľuste, na výbežku sú umiestnené dolné zuby. Pravá a ľavá vetva vystupujú pod tupým uhl'om zo zadného konca tela. Uhol dolnej čeľuste sa nazýva miesto ich odstupu od tela. Horný okraj oboch vetiev vybieha do dvoch výbežkov. Predného alebo korunového pre pripojenie spánkového svalu a zadného kĺbového výbežku [1].

1.1.4 Lícne kosti

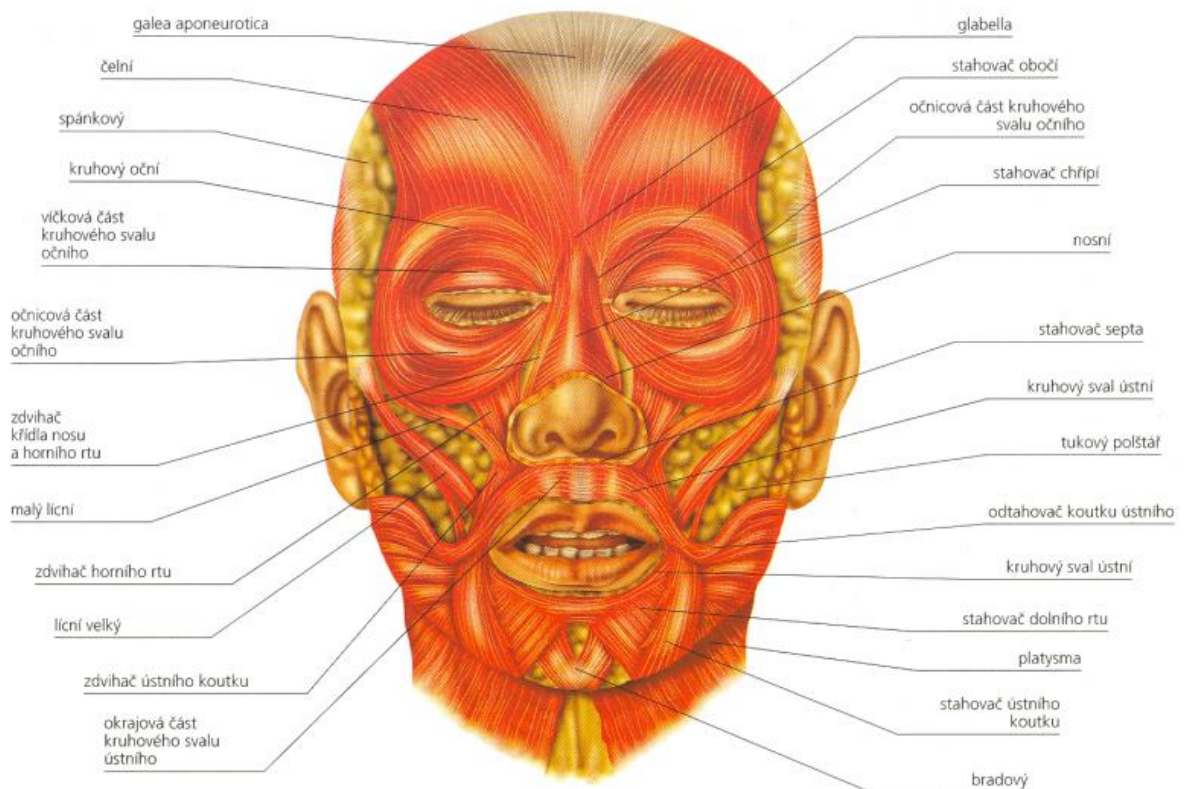
Šírka tváre je podmienená práve postavením lícných kostí. Lícna kosť patrí medzi párové kosti, ktorá zospodu a z vonkajšej strany ohraničuje očnicu, oddeľuje ju od jamky spánkovej spolu s veľkými krídlami klinovej kosti.

1.2 Svaly hlavy

Svaly, ktoré sa nachádzajú na hlave rozdeľujeme do dvoch hlavných skupín na svaly žuvacie a svaly mimické.

Mimické svaly zabezpečujú pohyb úst, očných viečok, obočia, lícnej časti tváre. Pomáhajú taktiež pri výslovnosti, mimike tváre ale aj pri príjme potravy. Žuvacie svaly sa podieľajú na príjme potravy tým, že hýbu dolnou čeľusťou a zabezpečujú žuvanie potravy. V prípade človeka sú žuvacie svaly tvorené štyrmi svalmi.

V ďalšej časti si detailnejšie opíšeme obe skupiny svalov nachádzajúcich sa na hlave človeka.



Obrázok 2: Svaly hlavy [22]

1.2.1 Mimické tvárové svaly

V nasledujúcej časti sa budeme venovať rôznym druhom mimických svalov, ktoré sa nachádzajú na tvárovej časti lebky človeka. Mimické svaly ležia väčšinou na povrchu, upínajú sa do kože tak, že menia kožné vrásky ryhy, polohu a tvar ústnej štrbiny, očných štrbín a tým určujú výraz tváre. Tieto svaly umožňujú svojim pohybom fyzicky vyjadriť emócie [1].

1.2.2 Hlboké mimické svaly

Najmohutnejší mimický sval sa nachádza na stenách líc a je to sval tvárový. Končí v kútikoch úst a začína na hornej a dolnej čeľusti nad stoličkami. Pritláča líca k zubom, pomáha rozširovať ústnu štrbinu a zabraňuje prehryzeniu d'asien. Jeho spodný lalok sa významne podieľa na reliéfe tváre človeka. Povrch tvárového svalu a okolité oblasti sú pokryté tukom.

1.2.3 Svaly štrbiny ústnej

Tieto svaly zabezpečujú pohyby ústnej štrbiny do príslušných smerov. Môžeme ich rozdeliť na dve skupiny. Kruhový ústny sval, ktorý lemuje ústnu dutinu a tvorí podklad pre hornú a dolnú peru priradujeme do prvej skupiny, do druhej potom zaraďujeme svaly, ktoré smerujú rôznymi smermi radiálne od ústnej štrbiny [2].

1.2.4 Svaly vonkajšieho nosa

Funkcia týchto svalov je predovšetkým zužovať nosné krídlo a ťahať smerom nadol nosnú prepážku. K pohybom bočných častí nosa pomáhajú niektoré svaly ústnej štrbiny.

1.2.5 Svaly lebečnej klenby

Kosti v lebečnej časti hlavy človeka sú pokryté tuhú väzivovou blanou, ktorá je pevne zrastená s kožou vo vlasatej časti. Z dolnej časti lebečnej kosti vybieha čelový sval a dozadu záhlavný sval. Funkciou čelového svalu je zvrášťovať čelo a vytáhať obočie smerom nahor zatiaľ, čo záhlavný sval smeruje s väzivovou blanou dozadu a vyrovnáva vrásky v oblasti čela [1].

1.2.6 Svaly štrbiny očnej

Okolo očníc sa nachádza párový sval v tvare kruhu, ktorého snopce usporiadané do kruhu sú v koži viečok. Tento sval sa nazýva kruhový očný sval. Zabezpečuje zužovanie očnej štrbiny a vyhladzovanie príslušných vrások v okolí, ale aj uzatváranie očnej štrbiny alebo rozširovanie slzného vaku.

1.3 Štruktúry na povrchu tváre

Na povrchu tváre sa nachádzajú rôzne „objekty“, ktoré dodávajú napriek svojim jednoduchým tvarom jedinečné rysy pre ľudskú tvár. Tieto štruktúry a ich tvar môžu byť

ovplyvnené pohlavím ale aj vekom. V nasledujúcej časti si priblížime niektoré najdôležitejšie, ktoré dodávajú ľudskej tvári jedinečný výzor.

1.3.1 Vonkajší nos

Pomerne jednoduchá konštrukcia nosa obsahuje mnoho odchýlok, vďaka ktorým je takmer nemožné nájsť dva identické nosy. Výsledná podoba nosa môže byť ovplyvnená pohlavím človeka alebo jeho vekom, taktiež proporcie nosa ovplyvňuje typ tváre a tvar predného vchodu do dutiny nosnej. Vonkajší nos sa nachádza približne v stredovej časti tváre. Jeho tvar pripomína trojbokú pyramídu, s bočnými trojuholníkovými stenami. Nos je rozdelený kostenou prepážkou na dve časti tzv. nozdry. Vrchná časť nosa je tvorená kosťami, spodná pohyblivá časť je tvorená chrupavkou.

1.3.2 Oblasť úst

V tejto oblasti sa zameriame na funkciu hornej a dolnej pery. Pery rozdeľujeme na hornú a dolnú peru, obe pery sú súčasťou kruhového ústneho svalu. Horná pera siaha až k nosným dierkam, smerom nadol siaha až ústnemu kútiku. Práve ten je rozhodujúci pre mimiku tváre a je ovplyvňovaný mimickými svalmi. Koža pokrývajúca pery je značne citlivá ale zároveň pevná, u mužov býva pokrytá fúzami. Smerom do vnútra ústnej dutiny prechádza koža pier do sliznice, ktorá pokrýva pery z vnútornej strany.

1.3.3 Oblasť tváre

Oblasť tváre je v rámci ľudskej lebky ohraničená smerom zdola hore dolnou čeľusťou a končí čelovou kosťou.

Skladba a zloženie tváre veľmi pripomína zloženie pier. Koža v tejto oblasti sa vyznačuje jemnou stavbou, u mužov je pokrytá fúzami. V rôznych podmienkach mení farbu, väčšinou je jemne ružová. Množstvo ciev, ktoré sa v tejto oblasti nachádzajú spôsobujú začervenanie. Pružnosť tejto časti dodávajú mnohopočetné prepletené a zvlnené elastické vlákna umiestnené pod kožou. Podkožné väzivo je riedke, nachádza sa v ňom tukový vankúš.

1.3.4 Ušný boltec

Ušný boltec je pripojený k hlave pod uhlom 20° až 40°, má svoj typický tvar, avšak s početnými variáciami. Tak isto ako pri nose a jeho výslednom tvare platí, že tvar je relatívne jednoduchý avšak existuje mnoho možností pre tvarovanie záhybov. Horný okraj

ucha sa nachádza približne v rovine s koreňom nosa, dolný okraj v rovine s hornou perou. Podklad je tvorený chrupavkou, ktorá takmer vyplňa celú konštrukciu ucha okrem ušného laloka. Koža je jemná pokrytá chlčkami. V tejto časti sa nenachádza podkožný tuk.

Okraj ušného boltca je zaoblený smerom dovnútra, smerom k laloku sa toto zaoblenie postupne vytráca. V dolnom obvode sa nachádza už spomenutý kožný lalok, ktorý je individuálne vyvinutý v rôznych tvaroch. Aj pre veľkú variabilitu tvarov sa často v biometrii využíva pri identifikácii a verifikácii ušný boltec [2].



Obrázok 3: Ušný boltec [23]

1.4 Pohlavné rozdiely na lebke

Medzi lebkami žien a lebkami mužov môžeme určiť niektoré rozdiely nielen vo veľkostiach lebiek ale aj v tvare. Vo všeobecnosti sa ženské lebky vyznačujú menšou veľkosťou ale určiť pohlavie človeka len na základe veľkosti lebky nie je možné nakoľko tieto rozdiely nedosahujú takého stupňa aby sme boli schopní určiť pohlavie. Dôležitejšie pri určovaní pohlavia sú rozpoznávacie tvarové znaky. Aj tieto rozpoznávacie znaky majú pri svojom uplatnení v praxi svoje limity a nevýhody. Medzi nevýhody môžeme zaradiť fakt, že určiť pohlavie pomocou týchto znakov je možné len pri dospelých jedincoch a nie u detí.

Nadočnicové oblúky sú na mužských lebkách vyznačené zreteľne, zatiaľ čo na ženských lebkách sú vyznačené v minimálnej miere alebo úplne chýbajú. Oblasť brady na dolnej čeľusti na ženských lebkách sa vyznačuje väčšinou zaobleným tvarom, u mužských lebiek sa často vyskytuje štvorhranný tvar alebo zreteľný reliéf. Čelová kosť z profilu je klenutá plynulo, u žien sa zväčša strmé čelo ohýba prudšie do oblasti temena. Prechod medzi nosnou a čelnou dutinou teda sklon čela z profilu u žien prechádza plynulo, u mužov je tento prechod zvisia väčší uhol s oblasťou obočia.

Samozrejme nie všetky mužské lebky obsahujú všetky vyššie spomenuté rozpoznávacie tvarové znaky a podobne je to aj pri ženských lebkách.

1.5 Rôzne tvárové typy

V rámci jednej populácie existuje mnoho rôznych typov tváří a ich rôzne modifikácie. Základný tvar rozlišujeme na základe tvárového indexu. Rozoznávame tri základné typy tváří a euryprosopné (široké), mezoprosopné (stredné) a leptoprosopné (úzke). Okrem týchto troch základných typov existujú tzv. prechodné typy, t.j. rôzne modifikácie troch základných tvárových typov. Na šírku a tvar vplýva aj celková konštrukcia a stavba lebky. Osoby, ktorých lebka je nápadne krátka v predozadnom rozmere majú častejšie široký a plochý tvárový typ, zatiaľ čo pre jedincov s predĺženou lebkou v tom istom smere je charakteristická úzka tvár vystupujúca dopredu. Zároveň sa u nich častejšie vyskytujú nevýrazné líčne kosti a oči uložené hlbšie. Pre tento tvárový typ je typický nos, ktorý je dlhší v smere od hora dole a širší do oboch strán. Vo všeobecnosti horná čeľusť vystupuje viac dopredu ako pri prvom type lebky. Malý oblý nos, nevystupujúce a širšie čeľuste, rovnejší profil čela, oči uložené menej hlboko sú črty častejšie sa objavujú pri jedincoch s kratšou lebkou [3].

1.6 Vplyv pohlavnej rozdielnosti na tvár

Celkový výraz ľudskej tváří dodávajú znaky, ktoré sú na prvý pohľad rozpoznateľné ale aj tie, ktoré si vôbec neuvedomujeme. Znaky sa veľmi často prekrývajú a preto existujú ženy s mužskými rysmi v tváří a naopak muži s dominantnými ženskými rysmi.

Vo všeobecnosti ženská tvár sa vyznačuje jemnejšími rysmi ako menej výrazný nos, menšie ústa, menej výrazné alebo takmer žiadne ochĺpenie v oblasti tváří. Jemnejšie obočie a husté riasy pomáhajú vnímať ženské oko väčšie ako je v skutočnosti. Mužské oko v porovnaní so ženským je prostredníctvom výraznejšej nadočnicovej oblasti a výraznému

nižšie posadenému obočiu vnímané ako menšie a hlbšie umiestnené. Ženská tvár s menej výrazným nosom a užšou tvárou viac zdôrazňuje líčne kosti a výšku ako u mužov.

1.7 Starnutie tváre

Starnutie tváre predstavuje proces, ktorý prebieha neustále počas života človeka. Jeho proces môže byť ovplyvnený určitými faktormi ako genetické faktory, životný štýl alebo životné prostredie. U každého človeka sa starnutie prejavuje rôznymi zmenami na tvári, ktoré sa začínajú prejavovať u každého osobitne.

Napriek určitým osobitým faktorom v procese starnutia môžeme vyvodit' priebeh zmien, ktoré viac - menej sa objavia u každého jedinca. V procese starnutia sa častejšie objavujú vrásky v hornej časti tváre ako v dolnej. Niektoré vrásky vznikajú v predvídateľnom tvare. Choroba, dlhodobý pobyt na slnku, diéta alebo fajčenie vplývajú takisto na vznik nových vrások alebo prehĺbenie už existujúcich [4].

Proces starnutia :

20 rokov - začínajú sa objavovať jemné vrásky medzi obočím u ľudí, ktorý sa mračia, vrásky v oblasti úst sa môžu objaviť u ľudí, ktorý sa častejšie smejú. Môžu sa objaviť jemné vrásky okolo očí z dôvodu slabého ochabnutia kože v okolí podmienené genetickými faktormi ale aj psychologickými.

30 rokov - dochádza k prehľbovaniu a zvýrazneniu vrások, ktoré sa objavili v predchádzajúcom období života. Môžu vzniknúť nové vrásky okolo očí, v hornej časti nosa a ryhy okolo nosa získavajú zreteľnejší charakter. Na vznik a prehĺbenie vrások vplývajú už vyššie zmienené genetické a psychologické faktory.

40 až 50 rokov- vrásky v oblasti krku sa stávajú zreteľnejšími, môže sa vytvorit' dvojité brada, vačky pod očami sú omnoho výraznejšie ako v predchádzajúcom období, môže sa zväčšiť presahovanie horného viečka. Pery sa postupne stávajú tenšími, tento proces je pozorovateľný najmä u ľudí, ktorý mali tenké pery už v mladosti. Prebiehajúce zubné zmeny môžu zvýrazniť vrásky v okolí čeluste.

60 rokov- všetky spomenuté zmeny a vznik vrások prebiehajú rýchlejšie, prostredníctvom týchto zmien môže dôjsť k optickému predĺženiu uší. Rysy čeluste sú jemné a mäkké a ochabuje koža v oblasti krku.

70 rokov- koža stráca elasticitu rýchlejšie, všetky doteraz uvedené zmeny pokračujú.

2 BIOMETRIA TVÁRE

Biometria tváre v súčasnosti patrí medzi najviac skúmané metódy, pretože identifikácia tváre má obrovské spektrum možností. Rozpoznávanie je založené na porovnávaní obrazu, ktoré je získané z kamerového záznamu, s obrazom uloženým v databáze. K dokonalej identifikácii nám najviac napomáha tvar tvárovej časti a umiestnenie opticky významných častí tváre ako sú ústa, nos, oči alebo obočie. Obraz uložený v databáze môže byť zložený s jasových máp, najčastejšie je však diskriminovaný funkciou, ktorá spája redundanciu dát. Neuchováva sa presná poloha očí, pier a nosu ale len vzdialenosť očí, vzdialenosť pier od nosu, uhol medzi špičkou nosu a jedným okom atď..

Od zdokonalenia biometrie tváre sa očakáva zlepšenie kvality a zvyšovanie komfortu pri niektorých každodenne využívaných systémoch ako dochádzkový režim do zamestnania. Atraktivnosť využívania tohto systému je z praktického hľadiska jednoznačná, avšak je nutné zachovať reálne požiadavky. Rozpoznávanie tváre sú ako aj iné biometrické metódy ovplyvnené radou vplyvov, ktoré priamo či nepriamo pôsobia na výsledok. Jedná sa najmä o tieň, osvetlenie a natočenie tváre. Niektoré tieto vplyvy sa dajú normalizovať a nepredstavujú veľké komplikácie. Rušivé elementy ako starnutie pokožky ale aj iných anatomických častí alebo emócie spôsobujú väčšie problémy [5].

2.1 Lokalizácia tváre

Poznáme dva rôzne prístupy k rozpoznávaniu geometrie tváre: geometrický (založený na rysoch tváre) a fotometrický (založený na vzhľade obrazu tváre). Podrobnejšie delenie poznáme ako: štrukturálny prístup, holistický prístup, znalostné metódy a porovnávanie šablón [6].

2.1.1 Štrukturálny prístup

Zameriava sa na rozpoznávanie jednotlivých dominantných častí tváre (oči, ústa, nos,...) predkladaného vzoru, zmeranie antropometrických veličín, ich normalizácia vzhľadom k predpokladaným rušivým vplyvom, porovnanie s databázou známych fotografií s použitím klasifikačných algoritmov, statické rozhodnutie o relatívnej podrobnosti s takto vybranou množinou obrazu [5].

2.1.2 Holistický přístup

Identifikácia vzorku pomocou globálnych reprezentácií a opäť s následným štatistickým vyhodnotením relatívnej pravdepodobnosti. Pre tento prístup sú charakteristické kombinácie metódy zvanej backpropagation (metóda spätného určenia neurónovej siete), základnej analýzy komponent (PCA) a dekompozície jedinečných hodnôt (SVD) [5].

2.1.3 Znalostné metódy

Tvár je prehľadávaná na základe dopredu určených pravidiel, pomocou ktorých je popísaná „typická tvár“. Pravidlá slúžia na vyjadrenie vzťahov medzi rôznymi časťami tváre. Táto metóda vyžaduje veľmi precíznu lokalizáciu a popis jednotlivých príznakov, čo vyžaduje použitie veľmi precíznych a zložitých algoritmov.

2.1.3.1 Rozloženie šede v obraze

Ľudská tvár má mnoho znakov, ktoré sa rôzne kombinujú čím vzniká jedinečný obraz. Avšak rozloženie identifikačných znakov je veľmi podobné (pravé oko vedľa ľavého atď.). Z tohto dôvodu môžeme stanoviť určité pravidlá pre rozloženie šedej farby v obraze za normálnych svetelných podmienok. Ako príklad uvedieme, že oblasť očí je vždy tmavšia ako napríklad čelo. Detekcia tváre na základe týchto pravidiel je dostatočne efektívna a v praxi veľmi používaná.

Najznámejšia metóda, ktorá využíva tieto pravidlá je metóda mozaiky. Táto metóda je efektívna aj vtedy, ak je oblasť tváre na scéne malá alebo nevýrazná. Jej podstatou je rozpoznávanie tváre, akým ju rozpoznáva ľudský mozog. Metóda mozaiky rozdelí zapracovávanú oblasť do obrazových blokov za pomoci štvorcovej siete 4x4. V týchto štvorcoch sa potom nachádzajú oči, ústa, líca, nos a pod. Postupne vyberáme jednotlivé obrazové bloky a skúmame, či sa na nich nenachádzajú hľadané markanty. Bloky, ktoré nespĺňajú tieto pravidlá sú vylúčené. Obrazové bloky, ktoré zostanú, delíme do rovnakých ale detailnejších obrazových blokov, tentokrát ale v rozlíšení 8x8. Pomocou metódy hrán definitívne určíme identifikujúce markanty [6].

Metóda mozaiky zohľadňuje geometrické vzťahy medzi jednotlivými časťami tváre. Iné metódy, ktoré vychádzajú z metódy mozaiky najprv definujú jednotlivé tvárové markanty. Pre rozpoznávanie každého markantu môže byť použitá iná metóda. Až po určení jednotlivých markantov sa určuje celková lokalizácia tváre [6].

2.1.3.2 Rozpoznávání tvárových obrysov

Ak sa nám podarí správne a presne definovať obrys tváre, tak ďalšia detekcia tváre bude podstatne jednoduchšia. Častým problémom je, že síce určíme hrany tváre, ale nemôžeme si byť istý, že sme hranu detekovali správne, pretože súčasné algoritmy na detekciu hrán majú svoje obmedzenia. Preto túto metódu môžeme využiť k nájdeniu jednotlivých objektov na tvári – oči, nos, ústa a pod. Tieto identifikačné markanty sú vstupnými charakteristikami pre ďalšie metódy, používané pri identifikácii a verifikácii tváre. Obrysy, kontúry a hrany objektov ide všeobecne nájsť pomocou prahovania, rôznymi filtrami, detekciou hrán a pod [6].

2.1.3.3 Metóda založená na informáciách o farbách

Človek ako organizmus má svoju špecifickú farbu kože, ktorá je obvykle iná od ostatných. Preto môžeme definovať určité pravidlá, ktoré odlišujú tvár od diferencovaného prostredia. To je základná myšlienka detekcie a lokalizácie ľudskej tváre na scéne pomocou týchto metód [6].

Rozloženie farieb na tvári ľudí jednej rasy je veľmi podobné, preto môžeme nájsť určité oblasti s typickou farbou. Pre oblasť očných dŕážok je typická tieňa, pričom nos je inak farebne výrazný a ohraničený tieňami.

Táto metóda vykazuje veľmi dobré výsledky v prípade, že je snímaná tvár dobre osvetlená. Problémy vznikajú pri veľmi jasnom alebo temnom osvetlení a pri rôznych uhloch dopadajúceho svetla na tvár. V týchto podmienkach je veľmi ťažké rozlíšiť rôzne farby a to dokonca aj vtedy, ak sa farby ľudských tvárí od seba výrazne líši. Pri využití termosnímkov táto metóda stráca na účinnosti, pretože pri snímaní termokamerou sa všetky informácie o farbe kože strácajú [6].

2.1.3.4 Metóda založená na informácii o pohybu na scéne

V určitých typoch aplikácií môžeme pre detekciu tváre na scéne použiť časovú sekvenciu snímok. Ak sa osoby pohybujú vzhľadom k pozadiu, ich tváre môžu byť jednoducho detekované na pozadí scény vďaka informácii o pohybe. V praxi sa táto metóda označuje ako metóda optických tokov (optic flow), ktorá je hojne používaná pri lokalizácii ale aj detekcii tváre.

Problémy s detekciou tváre založené na pohybe môžu vznikáť vtedy, ak je na scéne viacej osôb, ktoré sa navyše pohybujú rôznymi smermi, rôznymi rýchlosťami alebo sa prekrývajú

navzájom alebo z predmetmi. Týmto vzniká zmätok rôzne sa šíriacich optických tokov, ktorý je pre program ťažko rozlíšiteľný [6].

2.1.3.5 Metóda založená na symetrii

Ľudská tvár je do určitej miery symetrická a tejto skutočnosti ide využiť pri detekcii tváre na scéne. Princípom metódy je hľadanie obrazu, ktorí odpovedá charakteristikám ľudskej tváre. Poznáme viacero metód vstupu tejto metódy. Jedna z nich sa zaoberá skúmaním kruhových častí a rozhodovaním, či je totožnosť so symetrickou tvárou. Ďalšia metóda používa symetrickú transformáciu, ktorá lokálne detekuje symetrické body, ktoré určia časť tváre [7].

2.1.4 Zrovnávanie šablón

Hľadanie výsledku na základe korelácie obrazu s prednastavenými šablónami buď celej tváre alebo jej jednotlivých častí. Nevýhodou tohto prístupu je nutnosť vytvoriť a mať uložené v pamäti jednotlivé šablóny, ktoré je zvyčajne potreba ručne vytvoriť, čo je veľmi namáhavé a časovo náročné [5].

2.2 Algoritmy používané pri rozoznávaní tváre

Ako sme si už spomenuli, v aplikáciách na rozpoznávanie tváre sa využívajú algoritmy. Tri najlepšie preskúmané a študované algoritmy sú: Analýza hlavných častí (PCA - Principal Components Analysis), Lineárna diskriminačná analýza (LDA – Linear Discriminant Analysis), Elastický zrovnávací diagram (EBGM – Elastic bunch graph matching) [5].

2.2.1 Analýza hlavných komponentov (PCA – Principal Components Analysis)

Každú tvár môžeme rozdeliť na tzv. eigenfaces (vzory tváří – matica jasových úrovní) a potom naspäť zložiť. Každá eigenface je reprezentovaná len číslom, takže namiesto obrazov ukladá len čísla. Metóda využíva normalizovaných obrázkov, ktoré sa vyznačujú štandardizovaným umiestnením očí, uší, a ďalších významných bodov. Metóda PCA urobí redukciu nepotrebných príznakov, čo znamená, že sú odobrané príznaky, ktoré sú korelované s inými príznakmi. Počet príznakov sa tak výrazne zníži a tak je uľahčená klasifikácia a uloženie. Vlastná klasifikácia je založená na niektorej z obvykle využívaných klasifikačných techník (metóda najbližšieho suseda) [5].

2.2.1.1 Spracovanie obrázkov pomocou PCA

Podpriestor definovaný vlastnými vektormi korelačnej matice (eigenspace), t.j. podpriestor, v ktorom skúma obrázky PCA algoritmus, je výsledkom určenia vlastných vektorov kovariančnej matice odvodenéj z obrázkov trénovacej množiny. Vlastné vektory prislúchajúce nenulovým vlastným číslam kovariančnej matice tvoria ortonormálnu bázu, ktorá vlastne otáča obrázky v N -Rozmernom priestore. Teda každý obrázok je uložený vo vektore o veľkosti N .

$$x^i = \begin{bmatrix} x_1^i & \dots & x_N^i \end{bmatrix}^T \quad (1)$$

Od každého obrázku je odpočítaná jeho stredná hodnota (toto sa deje už počas predspracovania).

$$\bar{x}^i = x^i - m, \quad \text{kde } m = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P x^i \quad (2)$$

Všetky tieto vektory vytvorené z trénovacích obrázkov sú uložené do matice, teda tvoria maticu o rozmeroch $N \times P$ (kde P je počet trénovacích obrázkov).

$$\bar{X} = \begin{bmatrix} \bar{x}^1 & | & \bar{x}^2 & | & \dots & | & \bar{x}^P \end{bmatrix} \quad (3)$$

Dátová matica X je prenasobená jej transpozíciou:

$$\Omega = \bar{X} \bar{X}^T \quad (4)$$

Na výpočet vlastných vektorov a vlastných čísel použijeme vzťah:

$$\Omega V = \Lambda V \quad (5)$$

Kde V je matica vlastných vektorov a Λ matica ich vlastných čísel.

Nasleduje zoradenie vlastných vektorov $v_i = \Lambda V$, pričom sa zachovávajú len tie prislúchajúce nenulovým vlastným číslam.

$$V = [V1 | V2 | \dots | VP] \quad (6)$$

Posledným krokom je projekcia trénovacích obrázkov do PCA podpriestoru. Všetky obrázky trénovacej množiny po predspracovaní X sú podrobené nasledovnej transformácii.

$$\bar{X}^i = V^T X^i$$

(7)

Teda prvá hodnota vektora x je výsledkom násobenia obrázkového vektora a prvého vlastného vektora atď. [8].



Obrázok 4: Eigenfaces [24]

2.2.2 Lineárna diskriminačná analýza (LDA – Linear Discriminant Analysis)

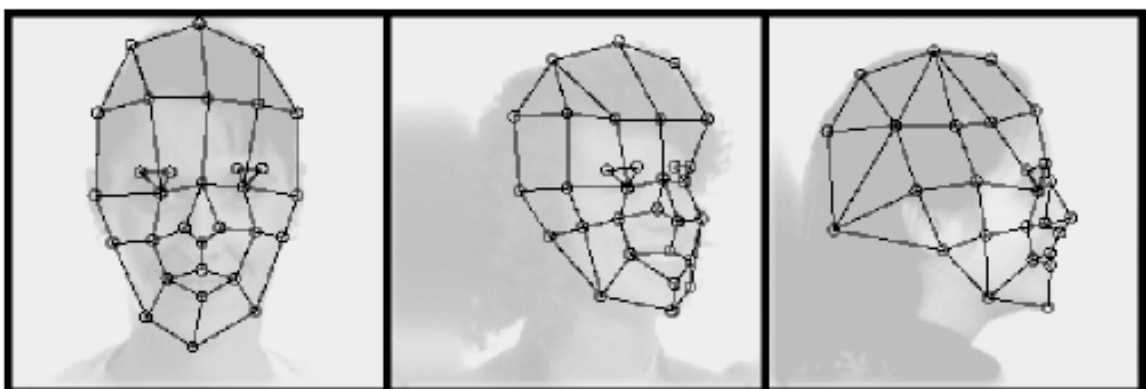
LDA je metóda, pri ktorej sa triedia získané obrazy tváří do skupín. Cieľom je maximalizovať rozdiely medzi jednotlivými skupinami a minimalizovať rozdiely v každej skupine. Každý blok snímok reprezentuje jednu triedu [5].



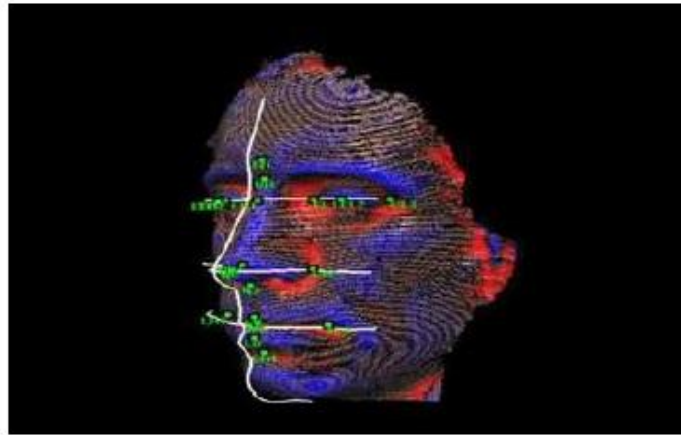
Obrázok 5: Skupiny LDA metódy [25]

2.2.3 Elastický zrovnávací diagram (EBGM - Elastic bunch graph mathic)

Metóda EBGM bola vyvinutá, pretože predošlé metódy nemôžu uvažovať s nelineárnymi charakteristikami ako je osvetlenie okolia, pozícia hlavy alebo výraz tváre (úsmev, zamračenie). Metóda funguje spôsobom, že na tvári sa definujú uzlové body, ktoré sa potom prepoja a tým definujú línie tváre v priestore a vznikne súradnicová sieť tváre. Samotná rozpoznávanie prebieha za pomoci filtrov, pričom systém reaguje na jednotlivé snímané tváre a môže ich potom porovnávať a vyhodnocovať. Problémom je presnosť lokalizácie orientačných bodov na tvári. Riešením môže byť kombinácia s PCA alebo LDA metódou [5].



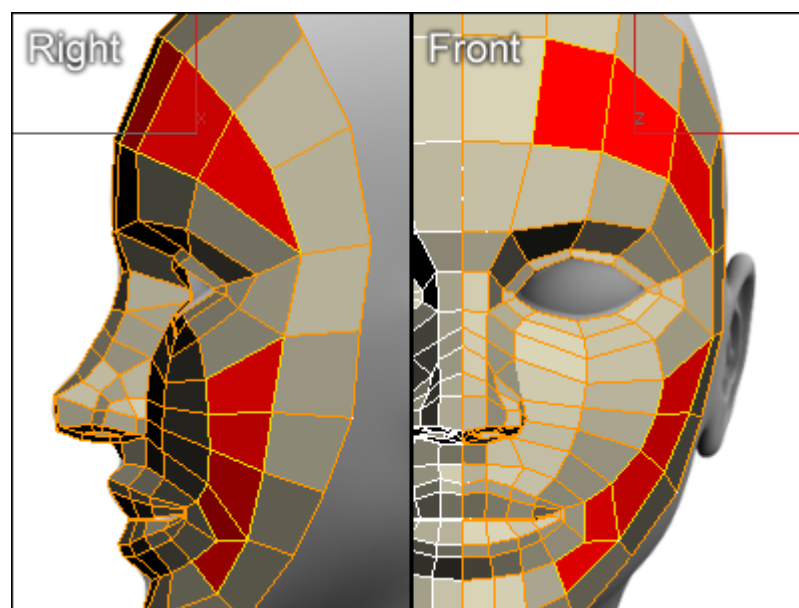
Obrázok 6: Uzlové body EBGM diagramu [26]



Obrázok 7: Uzľové body EBGM diagramu [27]

2.3 3D model tváre

Jednou s najnovších metód identifikácie tváre je vytvorenie jej 3D modelu. Ľudská tvár je deformovaná plochou v 3D priestore. Táto metóda je založená na morfingu a tzv. fittingu – deformácia tohto modelu tváre, ktorý zakóduje tvar a štruktúru v rámci parametrov modelu a na algoritmus, ktorý obnoví tieto parametre z jednotlivého obrazu tváre. Databáza známych vzorov tvári sa vytvára 3D snímačom, alebo aproximáciou, fotografiami z niekoľkých uhlov tváre. Pre identifikáciu tváre je z modelu použitý tvar a textúrové parametre, ktoré sú oddelené od obrazových parametrov, ako je poloha a osvetlenie.



Obrázok 8: Trojrozmerný obraz tváre [28]

2.4 Nepresnosti detekcie tváre

Systémy, ktoré sú schopné rozoznávať tváre, obmedzujú rozsah možného správneho výberu na tretinu všetkých možných kandidátov pozitívnej identifikácie. Ak je tvár osoby vyfotografovaná v exteriéri a z uhlu 45 stupňov, typický automatizovaný systém zlyháva v 80 percentách prípadov. Vplyv má aj premenlivosť osvetlenia, ktorá je spôsobená odlišným oblečením a to má za následok, že 40 percentách prípadoch nedokáže systém danú osobu správne identifikovať na základe uloženej fotografie. Preto môže byť táto metóda nápomocná pri prehľadávaní databázy, ktorá musí obsahovať záber celej tváre a musíme mať dostatočné množstvo pracovníkov, ktorí budú schopný spojiť fotografiu jedinca s fotografiou v databázy [5].

2.5 Rozpoznávanie tváre

V predchádzajúcej kapitole sme si popísali spôsoby detekcie a lokalizácie tváre na scéne. Teraz si rozoberieme samotným rozpoznávaním tváre. Základom týchto metód je vyzdvihnutie identifikačných markantov, ktoré nám pomáhajú vybrať správny záznam.

2.5.1 Metóda založená na rozložení odtieňu šedej v obraze

V predchádzajúcej kapitole sme si vysvetlili použitie rozloženia odtieňu šedej v obraze, to sa však vzťahovalo na lokalizáciu tváre a teraz si vysvetlíme použitie na identifikovanie konkrétnej tváre.

Obraz sa ako aj v prvom prípade rozloží na jednotlivé geometrické bloky mozaiky a na tieto segmenty rozložíme aj segmenty porovnávaného obrazu z databázy. Potom prebieha porovnávanie segmentu z obrazu snímanej tváre z obrazom uloženým v databáze. K porovnaniu sa používa n -rozmerný vektor. V konečnej fázy sa rozhoduje, či dva obrazy patria tej istej osobe. Takto sa postupne vyhodnocujú všetky záznamy z obrazovej databázy, pokiaľ sa nenájde zhoda medzi porovnávanými obrazmi [6].

Nevýhodou tejto metódy je jej výpočtová náročnosť, pretože sa uskutočňuje porovnávanie jednotlivých segmentov zo všetkými segmentmi všetkých obrazov v databáze. Presnosť a rýchlosť porovnávania teda závisí od množstva obrazov v databáze.

2.5.2 Metóda založená na geometrických tvaroch a identifikačných markantoch

Ľudská tvár je plocha na ktorej sa nachádzajú rôzne identifikačné markanty. Existuje 12 základných antropometrických bodov, ktorými sa dá tvár popísať. Medzi ne patrí [6]:

- Vonkajšie a vnútorné kútiky oka
- Vonkajšie horizontálne body pier
- Bod, kde nos prechádza na čelo
- Spodná hrana nosu
- Body na chrupavke ucha
- Prechod ušného laloku do tváre

Skupina metód založená na geometrických tvaroch a identifikačných markantoch je dominantná metóda vo foreznej praxi. Dodnes je používaná bezpečnostnými zložkami pre identifikáciu živých, ale aj mŕtvych podľa kostrových pozostatkov. Metódy antropometrického prístupu majú pri automatizovanom spracovaní nasledujúce problémy:

- Automatická detekcia antropometrických identifikačných bodov nie je vždy spoľahlivá, pretože tieto body sa ťažko hľadajú v obrazoch nízkej kvality alebo pri zlých svetelných podmienkach.
- Počet identifikačných bodov je malý a často je tento počet nedostačujúci pre počítačové spracovanie.
- Iba veľmi ťažko môžeme vyjadriť spoľahlivosť a presnosť týchto meraní všetkých antropometrických charakteristík. Primárne je zameriavanie sa na charakteristiky ako oči, nos a ústa, pretože body v oblasti ucha bývajú veľmi často zakryté vlasmi.

Pre každú tvár je stanovený parametrický model a energetická funkcia, pričom jej premenné sú maximálne a minimálne hodnoty odtieňu šedej v obraze. Následne je postupne hľadané minimum energetickej funkcie zmenou jednotlivých parametrov každého objektu. Získané parametre, ktoré odpovedajú minimu energetickej funkcie definujú geometrické tvary objektu. Tieto metódy nedosahujú príliš dobrý výsledok, preto ako aj u iných metód je dobré vzájomne ich kombinovať. Slúžia ako efektívne filtre pred použitím konečných identifikačných a verifikačných metód [6].

2.5.3 Metóda optických tokov (optic flow)

Metódu optických tokov sa dá popísať ako sekvenciu snímok pohybu hlavy tej istej osoby. Ak budeme pozorovať a analyzovať dvojicu snímok idúcich po sebe, zistíme, že dochádza k dynamickým zmenám svetelnej intenzity medzi odpovedajúcimi bodmi. Zároveň dochádza k pohybu týchto bodov. Tento pohyb môžeme vyjadriť pomocou vektorov, pretože každý bod má svoj smer pohybu a za jednotku času prejde určitú vzdialenosť. Existujú dva typy zmien, ktorým podliehajú dva po sebe nasledujúce obrazy:

- Štruktúrne - zmena intenzity
- Textúrne - priestorová zmena

Metódy optických tokov sa používajú hlavne pri rozpoznávaní emócií. Dôvod je ten, že každá tvár má svoje špecifické rozmiestnenie bodov. Ak vyjadříme pohyb týchto bodov pomocou optického toku, tak môžeme jednoducho študovať emocionálne zmeny na tvári.

Ďalšie využitie je pri zabezpečovacích zariadeniach. Je dokázané, že pri pohybe pier vznikajú pohyby, ktoré sú pre každého individuálne. Tento znak definuje človeka tak isto ako jeho tvár a preto sa tento znak môže použiť na identifikáciu osôb [6].

3 DETEKCIA TVÁRE POMOCOU TERMOGRAFIE

3.1 Termografia

Termografia je nedeštruktívna metóda na zisťovanie teploty a zobrazenie tepelných polí povrchu telesa. Výsledok, ktorý získame sa nazýva termogram. Termografia je v súčasnosti obľúbenou technikou, ktorá využíva infračervené žiarenie odrazené od telesa a premieňa ho na obraz. Signál je zobrazený vo forme teplotných máp [5].

3.2 Čierne teleso

Čierne teleso je definované ako objekt, ktorý pohlcuje všetku radiáciu, ktorá naň dopadne bez ohľadu na vlnovú dĺžku. Chybné označenie „čierne“ u objektov vyžarujúcich žiarenie je vysvetlené pomocou Kirchoffového zákona [9].

$$\frac{M_e}{\alpha} = f(T) \quad (8)$$

Tento zákon hovorí, že teleso, ktoré je schopné pohlcovať akékoľvek žiarenie, je schopné toto žiarenie aj vysielat'.

Konštrukcia čierneho žiariču je veľmi jednoduchá. V praxi môžeme dosiahnuť konštrukciu dokonalého pohlcovača tým, že zoberieme krabicu, ktorá je nepriesvitná, okrem štrbiny na jednej strane. Akákoľvek radiácia, ktorá štrbinou vojde, je roztrieštená a absorbovaná opakovaným odrazom od stien. Iba nekonečne malé množstvo žiarenia unikne späť. Temnota, ktorú v tejto krabici dosiahneme je skoro rovnaká, ako u temného telesa a dokonale pohlcuje všetky vlnové dĺžky [10]. Ak máme k dispozícii takúto izotermickú dutinu a hrejúce teleso, môžeme takto vytvoriť objekt, ktorý sa nazýva dutinkový žiarič. Zahriatím izotermickej dutiny na jednotnú teplotu dosiahneme vyžarovanie čierneho telesa. Toto žiarenie je ale ovplyvňované teplotou v dutine. Takéto dutinkové žiariče sú obvykle používané v laboratóriách, ako zdroj žiarenia pre určité teploty. Využíva sa aj pri kalibrácii rôznych prístrojov. Keby teplota dutinkového žiariča presiahla 525 stupňov Celzia, tak by začal byť dutinkový žiarič viditeľný voľným okom. Jeho farba už prestane byť pre ľudské oko čierna. Toto je ale iba počiatočná teplota. Postupne nadobúda červenú, žltú a napokon bielu farbu. Farbou, akou sa zviditeľňuje čierne teleso sa nazýva farebná teplota. Pre jeho opis sa používajú fyzikálne zákony [10]. Dva z nich si popíšeme nižšie.

3.3 Planckov zákon

Max Planck bol schopný popísať spektrálnu distribúciu žiarenia z čierneho telesa za pomoci nasledujúcej rovnice [10]:

$$W_{\lambda b} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 (e^{hc/\lambda kT} - 1)} 10^{-6} \left[\text{Watt} / \text{m}^2 \mu\text{m} \right] \quad (9)$$

kde:

- c = rýchlosť svetla (3×10^8 m/s)
- h = Planckova konštanta ($6,6 \times 10^{-34}$ Joul/s)
- k = Boltzmanova konštanta ($1,4 \times 10^{-23}$ Joul/K)
- T = Absolútna teplota čierneho telesa (K)
- λ = Vlnová dĺžka (μm)

Grafickým znázornením Planckových kriviek pre rôzne teploty dostaneme skupinu kriviek. Sledovaním akejkoľvek s týchto kriviek zistíme, že spektrálne vyžarovanie je nulové ak $\lambda=0$. Potom prudko vzrastie na svoju maximálnu hodnotu v vlnových dĺžok λ_{max} . Následne zase klesá k nule pri veľmi dlhých vlnových dĺžok. Čím väčšia je teplota, tým je kratšia vlnová dĺžka, v ktorých dosahuje maximálne teploty [9].

3.4 Stefan-Boltzmanov zákon

Použitím Planckovho zákona s hodnotami $\lambda=0$ až $\lambda=\infty$ získame celkovú hodnotu žiarenia čierneho telesa [10].

$$W_b = \sigma T^4 \left[\text{Watt} / \text{m}^2 \right] \quad (10)$$

Uvedená rovnica je Stefan-Boltzmanov zákon, ktorý ukazuje na celkovú silu žiarenia čierneho telesa.

Pokiaľ by sme tento vzorec znázornili graficky, tak W_b znázorňuje plochu pod Planckovou krivkou. V intervale $\lambda=0$ až λ_{max} je len 25% žiarenia. Toto množstvo je zhruba rovnaké ako slnečné žiarenie, ktoré leží vo viditeľnej časti spektra [9].

Pomocou Stefan-Boltzmanového zákona môžeme vypočítať množstvo tepla, ktoré ľudské teplo vyžiari. Ľudské telo pri teplote 300K a veľkosti 2m^2 vyžiari 1kW. Takáto teplotná

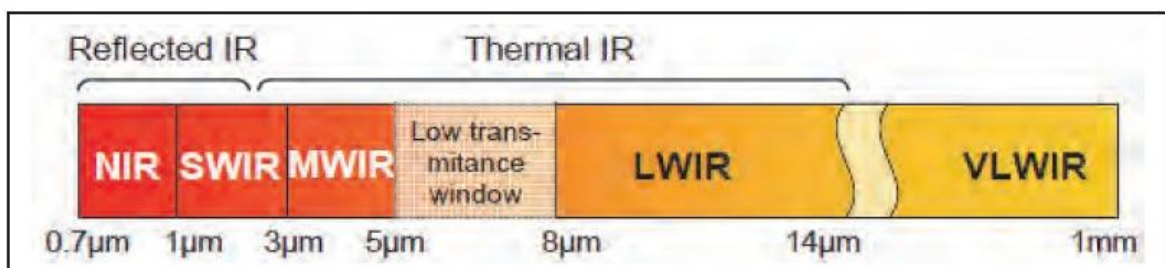
strata by bola smrteľná, preto si to telo kompenzuje prijímaním žiarenia z okolitého prostredia [10].

3.5 Infračervené žiarenie

Jeho doslovný preklad z latinčiny znamená „pod“ červené svetlo. Červená farba má najdlhšiu vlnovú dĺžku zo spektra viditeľného svetla. Infračervené žiarenie má dlhšiu vlnovú dĺžku (a menšiu frekvenciu) ako červené svetlo viditeľné pre človeka. Je to elektromagnetické žiarenie z vlnovou dĺžkou v rozmedzí 0,7 – 300 mikrometrov a frekvenciou 1 – 430 THz. Toto žiarenie sa rozdeľuje na niekoľko podskupín, pričom teplota ľudského tela vyžaruje iba v troch podskupinách [10].

Sú to:

- SWIR (Short-wave Infrared) – Jeho vlnová dĺžka je 1 - 3 mikrometre. Je to žiarenie, ktoré najviac využívame v noci. Spolu so svetlom z hviezd dokážu kamery pracujúce s týmto svetlom rozžiariť obraz 5 - 7 krát.
- MWIR (Middle-wave Infrared) – Vlnová dĺžka je 3 - 5 mikrometrov. Žiarenie využívané pri „Nightvision“ aplikáciách. V kombinácii so SWIR žiarením môžeme zhotoviť snímku s drobnými tepelnými mapami na chladnom pozadí.
- LWIR (Long-wave Infrared) – Vlnová dĺžka je 8 - 14 mikrometrov. Tento druh infračerveného žiarenia je najideálnejší v technológiách zaoberajúcich sa tepelnými snímkami tváre. Ľudská koža pri teplote 37 stupňov Celzia odráža žiarenie s vlnovou dĺžkou 0,91 - 0,97 mikrometra [10].

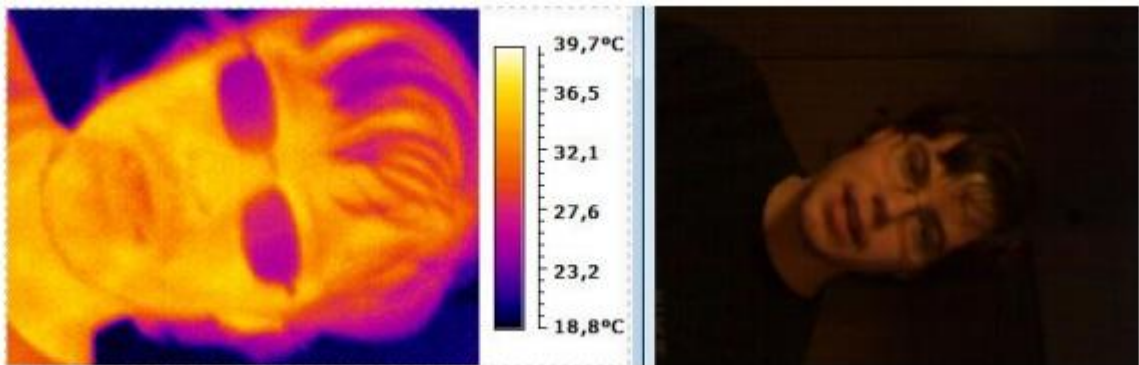


Obrázok 9: Typy infračerveného žiarenia [29]

3.5.1 Termogram

Termogram je infračervený snímok s obsahom teplotných polí, ktorý je získaný pomocou termokamery sa nazýva termogram. Teploty sú na snímkach zobrazené tak, že každej

teplote je priradená určitá farba pomocou farebnej palety. Na každý snímok je možné použiť viacero paliet a tým zvýrazniť niektoré body. Termografické snímky sa delia na rádiometrické a nerádiometrické. Pri rádiometrických snímkach máme možnosť vyčítať jednotlivé teploty z konkrétneho miesta. Pri nerádiometrických túto funkciu prichádzame. Moderné termokamery fotia v dvoch režimoch a teda nám umožňujú náhľad snímky v bežnom zobrazení. Ďalšou funkciou je prelínanie snímkou [11].



Obrázok 10: Termogram a bežné zobrazenie [30]

Tepelné rozpoznávanie tváři a systém rozoznávania tváři berie teplotu tváři ako vstup. Fotografie zhotovené pomocou termokamery sú pre biometrické systémy čistejšie. Termogramy ľudskej tváři sú generované z telesnej teploty ľudskej bytosti. Tepelné infračervené snímky sú nezávislé od okolitých svetelných podmienok a nie sú ovplyvnené ani objektmi v okolí. Teplota ľudskej tváři sa najčastejšie pohybuje v rozmedzí 35,5 – 37,5 stupňa Celzia, sú však aj výnimky (zvýšená teplota zapríčinené chorobou, podchladenie, jedinečná genetika). Teplotné snímky tváři sú závislé predovšetkým na spôsobe rozloženia ciev, žíl, vlások a krvných riekčiek pod pokožkou. Toto rozloženie je u každého človeka unikátne a preto sú unikátne aj tepelné snímky [11].

4 TECHNIKY TERMOGRAFIKÉHO MERANIA

Infračervená kamera meria a zaznamenáva infračervené žiarenie objektov. Vďaka tomuto odrazenému žiareniu je možné, aby kamera odmerala, vypočítala a ukázala túto teplotu na displayi. Žiarenie merané kamerou nezávisí len na teplote povrchu telesa, ale aj na veľkosti emisivity (žiarivosti). Infračervené žiarenie vzniká aj okolo objektu a je odrazené. Žiarenie objektu a odrazené žiarenie z okolia je ovplyvňované tým, ako rýchlo dokáže vzduch tieto lúče pohlcovať. Pre presné meranie teploty preto musíme kompenzovať vplyv ďalších zdrojov žiarenia. Túto kompenzáciu robí kamera automaticky, avšak musíme kamere nastaviť nasledovné parametre [10]:

- Vyžarovanie objektu (emisivita)
- Odrazená teplota od iných telies
- Vzdialenosť objektov od kamery
- Relatívna vlhkosť vzduchu
- Teplota vzduchu

4.1 Emisivita

Najdôležitejším parametrom objektu je emisivita. Je to množstvo infračerveného žiarenia, ktoré objekt vyžaruje do priestoru. Zisťuje sa porovnávaním s emisivitou dokonale čierneho žiariča. Za normálneho stavu materiál objektu a jeho povrchové úpravy vyžaruje emisivitu približne 0,1 až 0,98. Vysoko odrazové plochy (napr. zrkadlo) má emisivitu pod hranicu 0,1, zatiaľ čo zoxidované alebo pomaľované plochy majú vyššiu emisivitu. Olejomaľby, bez ohľadu na to akou farbou sú namaľované, majú emisivitu v infračervenom spektre väčšiu ako 0,9. Ľudská koža má emisivitu od 0,97 do 0,98. Neoxidované kovy sú krajný prípad dokonalej nepriehľadnosti a vysokej odrazivosti. Emisivita kovov je nízka a zvyšuje sa len zväčšovaním teploty. U nekovových predmetov je emisivita vysoká, ale s narastajúcou teplotou sa znižuje [10].

$$M_e = \int_0^{\infty} M_{\lambda} d\lambda \quad (11)$$

4.2 Odrazená teplota iných objektov

Tento parameter je používaný pre kompenzáciu vplyvu odrazeného žiarenia na objekt. Môže sa stať, že je nízka emisivita a teplota objektu rôzna, od tej, ktorá je odzrkadľovaná na našom sledovanom objekte. Vtedy musíme nastaviť kompenzovanie tohto zrkadlového žiarenia.

4.3 Vzďialenosť od objektu

Vzďialenosť je počítaná od meraného objektu k prednej šošovke kamery. Tento parameter je nutný pre kompenzovanie vplyvu na termografickom meraní z dvoch dôvodov [10]:

- Žiarenie objektu je pohlcované vzduchom, ktorý sa nachádza medzi objektom a kamerou
- Samotný vzduch vyžaruje určité žiarenie, ktoré kamera detekuje a zaznamenáva

4.4 Relatívna vlhkosť vzduchu

Ďalším parametrom, ktorý kamera dokáže kompenzovať je vlhkosť vzduchu. Priestupnosť žiarenia závisí na vlhkosti vzduchu. Aby sme mohli nežiaduci vplyv kompenzovať, musíme presnejšie nastaviť kameru. Nastavovanie je podľa meteorologických podmienok.

4.5 Ďalšie parametre

Existujú ďalšie parametre, ktoré je možné nastaviť pre kompenzovanie negatívneho vplyvu na meranie [11]:

- Teplota vzduchu – teplota vzduchu, ktorý sa nachádza medzi šošovkou a objektom
- Teplota externej optiky – pri použití prídavných šošoviek
- Prenos žiarenia externou optikou – pri použití prídavných šošoviek

5 TERMOGRAFY V PRAXI

Vďaka infračervenému tepelnému zobrazovaciemu systému, ktorý nám poskytuje termokamera, máme možnosť lepšie chrániť svoj majetok a znižovať hroziace nebezpečenstvo cez deň aj v noci. Umožňuje nám mať pod stálym dohľadom husté lesy, atómové elektrárne, letiská, mosty, chemické továrne, potrubia a budovy.

V prípadoch kedy sú iné technológie neefektívne je tepelný zobrazovací systém ideálnou voľbou v boji proti narušeniam a neautorizovaným vstupom.

Termografia našla svoje uplatnenie v rôznych pracovných odvetviach. Je to hlavne vďaka metóde, ktorou nedisponuje žiadna iná metóda. Využíva sa pri [12]:

- Priemysel
- Medicína
- Doprava
- Bezpečnosť
- Požiarna ochrana

5.1 Využitie pre priemysel

Kontrola vlhkosti

Nahromadenie vlhkosti, z kondenzátu alebo únikov, je hlavným predpokladom pre vznik plesne. Zatiaľ nepoznáme žiaden praktický spôsob ako obmedziť plesňové spóry vo vonkajšom prostredí. Najlepší spôsob, ako kontrolovať plesne, je kontrolovať vlhkosť. Termografia je rýchla a nenásilná metóda na objavenie vlhkosti v plášti budovy. Termografická kontrola v skutočnosti nedetekuje priamo prítomnosť plesne, ale iba oblasť vlhkosti, kde sa pleseň môže rozšíriť .

Plášte a konštrukcie budov

Opravy chybných konštrukcií zohrávajú podstatnú úlohu v zvyšovaní efektivity budov a integrity konštrukcií. Na základe mechanizmu, kde sa mení povrchová teplota plášťov budov, sa vyskytujú problémy v konštrukcii, teplotnom premostení, nahromadení vlhkosti a únikoch vzduchu. Infračervená termografia jednoducho identifikuje všetky tieto problémy, vrátane únikov teplého a studeného vzduchu, chýbajúcej alebo neadekvátnej izolácie.

Stavebný priemysel – šetrenie energie

Náklady na vykurovanie predstavujú najväčšiu položku v spotrebe energie ako v domácnostiach, tak aj vo všetkých oblastiach priemyslu, poľnohospodárstva a služieb. Preto je prirodzené, že nás všetkých stále viac zaujímajú možnosti zníženia týchto nákladov. Keďže náklady na vykurovanie tvoria až polovicu týchto nákladov, je na mieste otázka ako ich znížiť. Medzi najúčinnšie úsporné opatrenia patrí zateplenie obytných priestorov. Straty energie v budovách s nekvalitnou alebo poškodenou izoláciou sú výrazné.

Budovy, či už obytné, obchodné alebo priemyselné, sú postavené z rôznych typov obvodových konštrukcií, ktoré oddeľujú vnútorný priestor od vonkajšieho prostredia. Cez tieto konštrukcie uniká teplo a s ním peniaze vynaložené na vykurovanie.

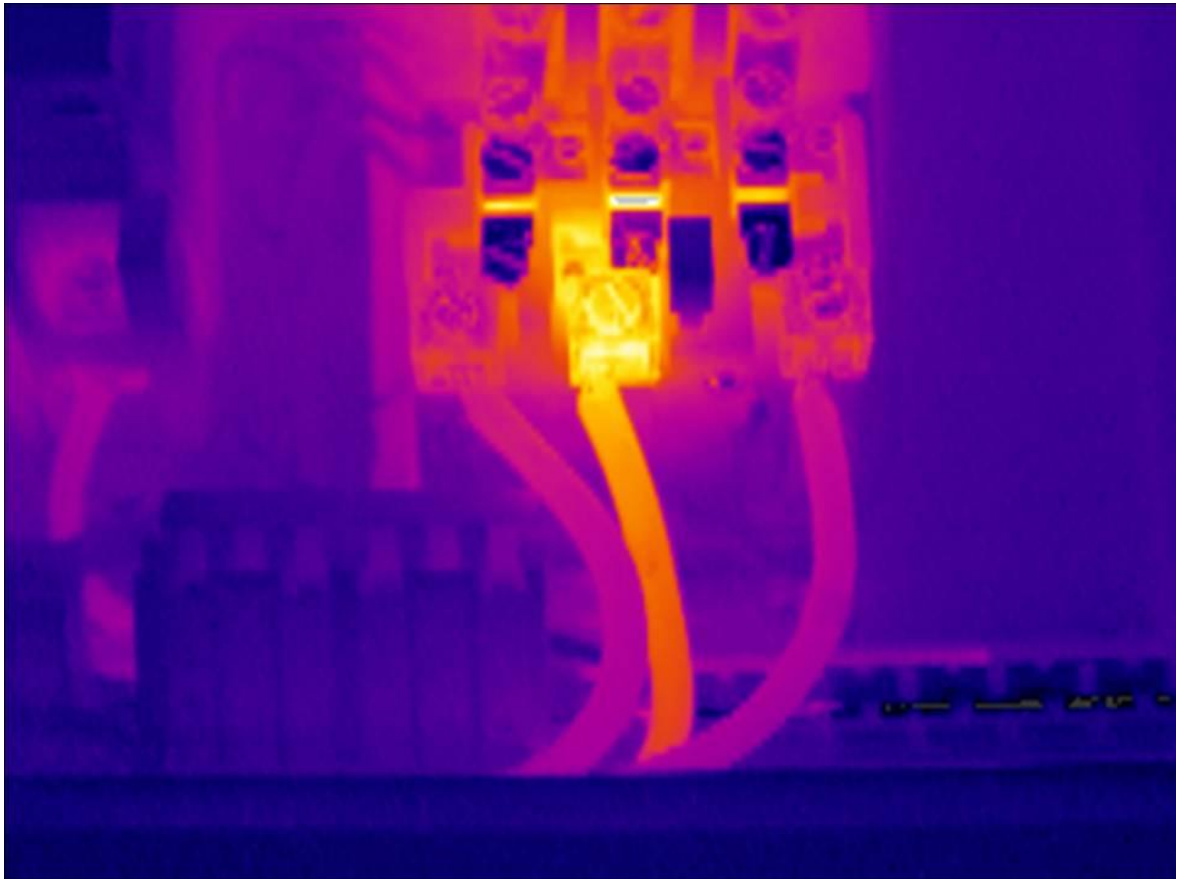
V neľahkej ekonomickej situácii, v ktorej sa väčšina slovenských domácností momentálne nachádza, je otázka šetrenia energiou na mieste. My vám ponúkame riešenie, vďaka ktorému môžete presne určiť miesta úniku energie. Ponúkame vám využitie najmodernejšej technológie, ktorá sa volá termografia. Termografia určí miesta straty energie, na základe zlej konštrukcie budovy alebo nahromadenej vlhkosti v izolačnej vrstve. Termografické meranie môže presne lokalizovať miesto úniku alebo poruchy vykurovacieho potrubia. Zobrazením týchto závad vám termografia pomôže ušetriť množstvo energie [13].



Obrázok 11: Bežné zobrazenie a termogram domu [31]

Elektrické systémy

Nadmerné zahrievanie spolu s vysokým odporom alebo nadmerným elektrickým prúdom spôsobujú problémy v elektrických systémoch. Infračervená termografia umožňuje vidieť tieto neviditeľné teplotné znaky hroziaceho poškodenia skôr, ako spôsobia prehriatie obvodov a následný výpadok alebo výbuch [13].



Obrázok 12: Rozvádzač elektrickej energie [32]

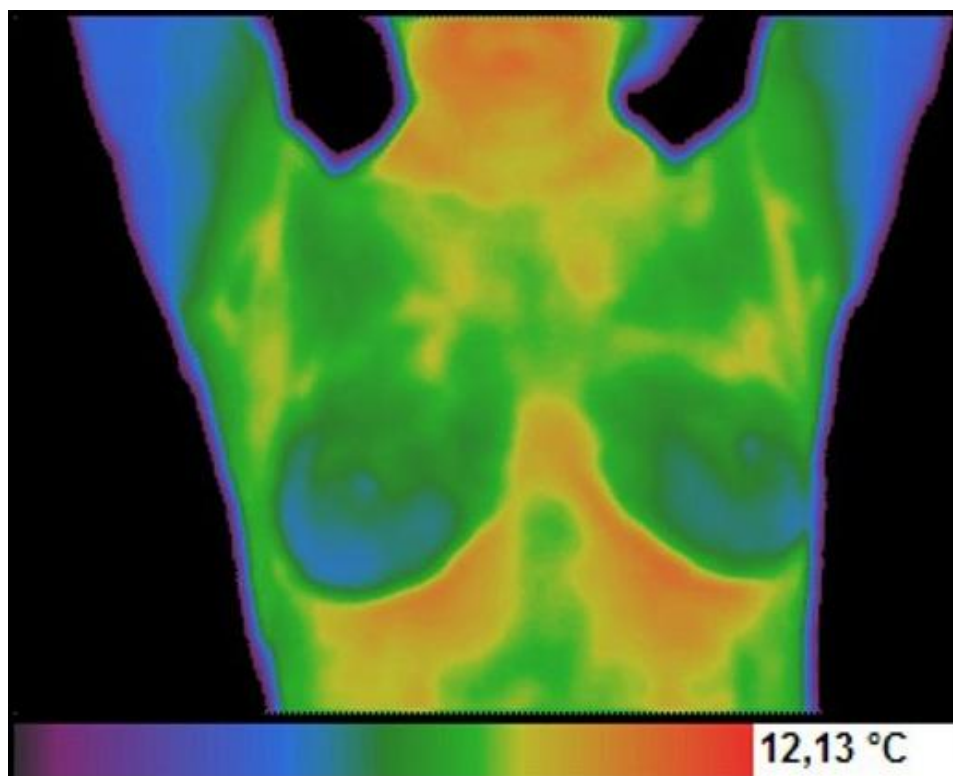
Petrochemická výroba

Petrochemická výroba je proces náročný na spotrebu energie a vyžaduje starostlivé teplotné monitorovanie na zabezpečenie bezpečnosti a teplotnej efektivity každého procesu. Kontrola takýchto tepelných procesov vysokoteplotným termografickým meraním poskytuje rýchlu a presnú diagnózu problémov a bezpečnosť rafinácie a zníženie nákladov zo škôd. Rafinácia môže dospieť do vysokého stupňa produktivity a zvýšiť ziskovosť použitím termokamery na zabezpečenie hladiny cisterny, diagnostiku plochy kondenzátora, údržbu povrchu, kontrolu celistvosti žiaruvzdornej výmurovky, elektrotechnickej a mechanickej údržby [13].

5.2 Využitie v medicíne

Infračervená termografia vďaka svojej presnosti a spoľahlivosti uľahčuje zdravotnícku starostlivosť o ľudí aj zvieratá. Pomáha detekovať, diagnostikovať príznaky a monitorovať vplyv liečby bez narušenia súkromia osôb alebo zvierat [13].

- vyšetrenia napríklad hyperextenzie krku, zranení chrbtice, syndróm karpálneho tunela ...
- vyhodnotenie choroby - rakovina prsníka, artróza a ďalšie
- zubné lekárstvo, dysfunkcia sánky a ďalšie
- vyhodnotenie športových úrazov a vývoj liečby
- vyšetrenie zranení koní, vnútorné zlomeniny, chromosť
- kontrola infekčných ochorení medzi ľuďmi, zvieratami a navzájom
- určenie nerovnomerností laserom



Obrázok 13: Termogram z vyšetrenia prsníkov [33]

5.3 Využitie v doprave

S infračerveným termografickým systémom môžu byť rozlíšení jazdci, cyklisti a chodci; nie je problém odhaliť ukrytých cudzincov, prekážky a riziká počas tmavej noci. Vďaka tomu je možnosť nehody alebo nebezpečenstva výrazne obmedzená. Odolnosť voči zmenám úrovně osvetlenia, pozadia a prostredia, termografia môže tiež poskytovať presné informácie v reálnom čase o premávke a doprave, čo môže slúžiť napríklad na zvýšenie efektivity prepravných programov. Stanice a letiská môžu byť monitorované, získavajú sa informácie o užívateľských úrovniach, preťaženiach a cestujúcich pohybujúcich sa v priestoroch letiska. Jednotky môžu byť zapojené tak, aby pokrývali väčšiu plochu [13]:

- skryté nebezpečenstvá v úplnej tme
- počítanie vozov a cestujúcich
- monitorovanie letísk, železničných a autobusových staníc
- monitorovanie dopravných zápch
- monitorovanie automobilov
- monitorovanie cyklochodníkov
- monitorovanie chodcov
- monitorovanie tunelov
- ostatné

5.4 Využitie v bezpečnostnom priemysle

Infračervená termografia pomáha chrániť fyzický majetok a znižovať nebezpečenstvo cez deň i v noci. Úplný dohľad na lesy, atómové elektrárne, letiská, mosty, petrochemické zariadenia, závody, potrubia, cargo terminály, komerčné komplexy a súkromné sídla.

Cez deň či v noci, vo všetkých podmienkach v ktorých iné technológie zlyhávajú, je termografia ideálnou voľbou pre aktívny dozor proti vniknutiu, neoprávnenému vstupu a iným potencionálnym ohrozeniam bezpečnosti v rozsiahlych priestranstvách ako sú vodné plochy, pobrežia, letiská, prístavy, sklady atď.

Termografia umožňuje nenásilné sledovanie páchatel'ov, nezvestných osôb, opustených automobilov, skrytých priehradok v automobiloch atď. a tak poskytuje polícii a bezpečnostným zložkám výkonný systém na ochranu života a odhaľovanie kriminality.

Termografia našla uplatnenie pri týchto konkrétnych prípadoch:

- prevencia lesných požiarov
- bezpečnosť verejných aj súkromných budov a komplexov
- bezpečnosť na letiskách
- bezpečnosť vo výrobe a vývoji
- bezpečnosť v galériách, múzeách a na výstavách
- bezpečnosť v bankách a budovách
- bezpečnosť vo väzniciach a inštitúciách
- letová bezpečnosť
- pátranie po utečencoch
- bezpečnosť úradných osôb
- vyšetrovanie vo verejnej doprave
- záchranné systémy



Obrázok 14: Termogram na letisku [34]

5.5 Protipožiarna ochrana

Termokamera sníma káble elektrického vedenia, abnormálne prevádzkované stroje, oslabenia štruktúr a ostatné skryté potenciálne zdroje požiaru atď. Termokamery pomáhajú predchádzať kalamitám skôr ako vzniknú. Termokamery tiež pomáhajú pri hľadaní obetí v

hustom dyme alebo tme, vyhľadať sídlo alebo epicentrum požiaru pozorovaním unikajúcich horúcich plynov, vďaka čomu už požiarnici nemajú problémy s oslepnutím. Po uhasení požiaru využijeme termokameru na objavenie obetí a záchranu ich života, ako aj objavenie skrytých neuhasených ohnísk a nebezpečenstiev.

- detekovanie skrytých i očividných zdrojov požiaru
- hľadanie a záchrana obetí
- vyznačenie skrytého nebezpečia

5.6 Využitie pri epidémiách

Využitie termokamery pri epidémiách sa prvýkrát využil v roku 2009, kedy svet zachvátil strach z prasacej chrípky. Termokamery kontrolovali teplotu cestujúcich vo vzduchu, ale aj po prilete do krajiny. Kontrolované boli najmä turisti, ktorý prichádzali z Mexika. Výhoda tejto metódy pri kontrole príznakov epidémií je jej komfort, pri ktorom cestujúci ani nevedia že sú kontrolovaní [14].

Pri príznakoch ochorenia na prasaciu chrípku má ľudské telo zvýšenú teplotu, ktorú dokáže termokamera detekovať. Cestujúci boli podľa termokamery rozdelení do troch skupín [14]:

- Normálna telesná teplota – ľudia bez príznakov
- Mierne zvýšená teplota – ľudia s nejednoznačnými príznakmi
- Vysoká teplota, horúčka – ľudia s jednoznačnými príznakmi

5.7 Termokamera a detektor lži

Využitie termokamery si našlo uplatnenie aj pri takých zariadeniach ako je detektor lži. Pri skúmaní jej vlastností sa zistilo, že u 75% osôb, ktoré sa dopúšťali lži, sa vytvoril ruženec okolo očí, ktorý je podľa vedcov dôkazom klamania. Tento detektor by sa mal dostať do praxi hlavne na letiskách a hraničných prechodoch, kde bude cestujúci zodpovedať na otázky, a pritom nebude ani len tušiť, že ho sníma termokamera. Použitie termokamery je oproti röntgenovej kontrole celého tela pre ľudské telo absolútne nezávadné. Podľa britského denníka Daily mail má tento spôsob úspešnosť 60 - 70%. Sú však aj vedci, podľa ktorých môže byť ruženec okolo očí spôsobený úzkosťou a strachom a nemusí vždy signalizovať klamstvo [15].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 MERANIE A ZHOTOVOVANIE TERMOSNÍMKOU

6.1 Termokamera

Termokamera je digitálne zariadenie, ktoré slúži na zhotovovanie snímok zvané termografy. Naše snímanie osôb bolo robené termokamerou TP8 thermal imager od spoločnosti ThermoPro (Obrázok 16). TP8 je vysoko citlivá a presná teplotná infra kamera s VGA obrazovkou na monitoring vo výrobe, kontrolu konštrukčnej celistvosti, kvality výroby, kvality tepelných plášťov, vývoj a výskum. Je veľmi cenným pomocníkom pre údržbu a sledovanie výrobných procesov. Detekuje nedostatky, odchýlky už v zárodku, skôr ako spôsobia veľké škody [16].

Jej využitie je v rozsahu teplôt -20°C až 800°C . má zabudované dve kamery: infra s rozlíšením 384×288 a vizuálnu s rozlíšením 1280×1024 , s laserovým zameriavačom, môže pracovať v automatickom režime, má radiometrické nahrávanie v reálnom čase infra a video do jedného súboru, funkciu „hot spot“ (najteplejšie body), kapacita záznamu 1000 záberov/2 GB. Za pomoci Ir Analyser je možné okamžite vytvoriť správu o meraní.

Aplikácie: Kontrola prehriatia prevodoviek, transformátorov, bus-bar konduktorov. Identifikácia vadných komponentov v elektronických zariadeniach. Kontrola plášťov budov, kotlov a iných zariadení, upchané potrubia atď. Detekcia rozloženia teplôt vo vysokých peciach, naberačkách, torpédach. Vyhodnocuje celistvosť tepelných plášťov, chybné konštrukčné metódy asfaltovania atď [16].



Obrázok 15: Termokamera ThermoPro PT8 [35]

6.2 Podmienky merania

Meranie sme uskutočnili v priestoroch Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati, konkrétne v učebni U54/309, ktorá sa nachádza na 3 poschodí budovy. Pre menšiu časť merania sme sa premiestnili pred vchod do budovy, pretože dosiahnutie veľmi nízkych teplôt v učebni by mohlo poškodiť niektoré prístroje.

Merania sa zúčastnilo 9 ľudí. Všetci boli mužského pohlavia. Traja z adeptov sa nezúčastnili vonkajšieho merania, pretože predčasne ukončili štúdium. Meranie bolo rozdelená na dve časti. Prvé sa uskutočnilo v decembri minulého roka (2011) a druhé vo februári tohto roku. Meranie sa nemohlo rozdeliť na viac etáp, pretože bolo problematické zosynchronizovanie stretnutia všetkých ľudí, dostupnosť učebne, termokamery a to všetko pri nami vyhovovanej teplote vonkajšieho prostredia.

Prvé meranie bolo v učebni U54/309 a zúčastnilo sa ho 9 ľudí. Pri každej zo zvolených teplôt sme urobili 10 snímku tej istej osoby, aby sme mali čo najpresnejšie výsledky. Pri vstupe do teploty sme oknom naregulovali teplotu na 20°C. Každý z adeptov sa pred fotením nahrieval 80 W infralampou Philips po dobu 5 minút zo vzdialenosti 20 cm (približná teplota cca 35°C). Po nafotení všetkých ľudí, sme fotenie opakovali pri teplote 20°C, ale bez nasvietenia infralampou. Postupne sme regulovali teplotu v miestnosti na 15°C, 10°C a 5°C. Na zistenie aktuálnej teploty sme použili digitálny teplomer. Do úvahy spadalo aj rozloženie teploty v miestnosti, preto sme pred každým novým meraním počkali na rovnomerné rozloženie teploty v miestnosti a taktiež na aklimatizovanie tvári našich adeptov na aktuálnu teplotu (asi 10 min). Meranie prebiehalo za týchto podmienok:

- Dátum: 5. december 2011
- Teploty: 20°C + infralampa, 20°C, 15°C, 10°C, 5°C
- Vzdialenosť šošovky termokamery a meraného objektu: 1,5 m
- Vlhkosť vzduchu: 35 %

Meranie číslo 2 sa uskutočnilo pred vchodom do budovy fakulty Aplikovanej informatiky. Zúčastnilo sa ho 6 ľudí. Keďže vonkajšia teplota bola -10°C, jedno meranie sa uskutočnilo priamo vo vchode do budovy, kde sme si dvermi uregulovali teplotu na -5°C a taktiež 0°C.

- Dátum: 2. február 2012
- Teploty: 0°C, -5°C, -10°C

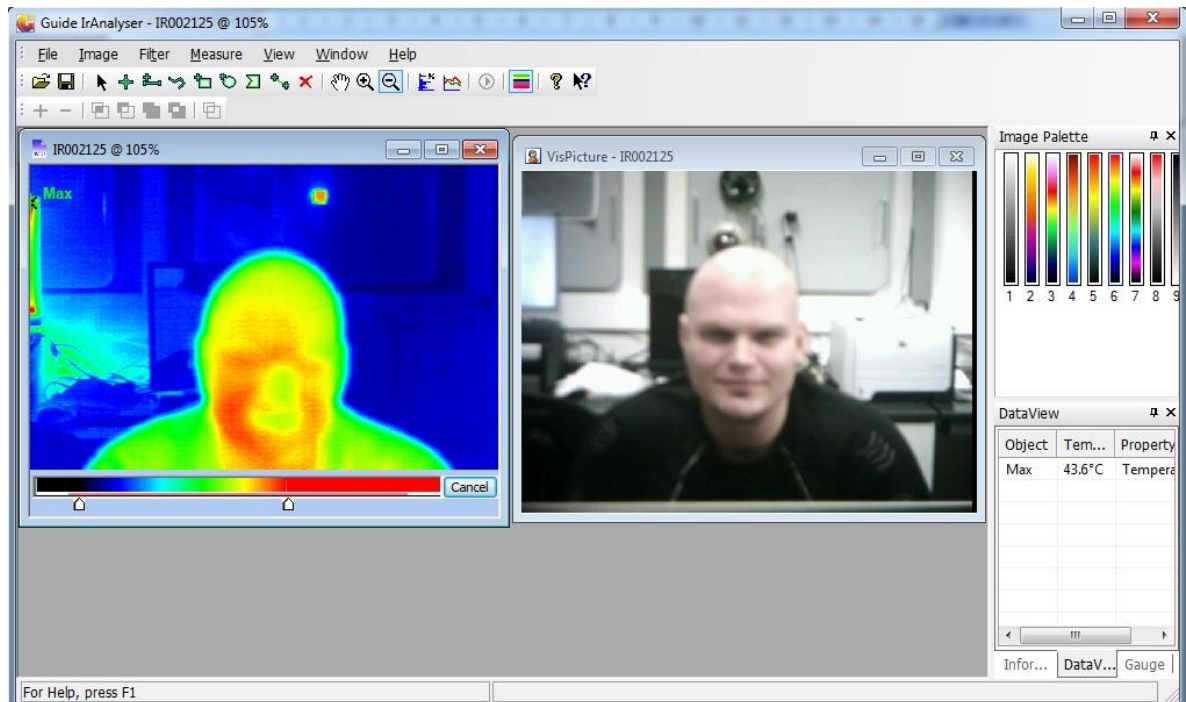
- Vzdialenosť šošovky od meraného objektu: 1,5 m
- Vlhkosť vzduchu (vonkajšia): 56 %
- Rýchlosť prúdenia vzduchu: 1,67 m/s

6.3 Použitý software

Na analýzu vyhotovených termosnímkou sme použili program priamo od výrobcu termokamery. Chceli sme vyskúšať aj iný software, ale mali sme problém s licenciou programu a neskôr s formátom snímku, ktoré zhotovovala naša termokamera. Program sa nazýva IrAnalyser. Jeho využívanie je veľmi jednoduché a intuitívne. Po otvorení niektorej snímky nám automaticky otvorí dve polia. V jednom je termosnímkok a v druhej časti normálny snímok (Obrázok 17). Na pravej strane nám automaticky ponúkne výber z deviatich palet. Jej výber a zmena je dôležitá pre podrobnejšiu analýzu obrazu, kedy si môžeme prehľadne meniť farbu, ktorá zodpovedá určitej teplote. Paleta číslo 6 je prednastavená programom. Ak prejdeme kurzorom myši nad termosnímkok, ukážu sa nám pixelové súradnice a teplota. V pravo dole si môžeme prezerať informácie o snímku a to nasledovné:

- Aktuálna pozícia kurzoru myši na súradnici x a y
- Aktuálna teplota, na ktorú ukazuje kurzor myši
- Maximálna teplota na snímku
- Priemerná teplota snímku
- Použitá paleta a filter

Program disponuje aj s použitím rôznych filtrov. Slúži na vyselektovanie určitých markantov z obrazu. Taktiež máme možnosť zobrazenia histogramu.



Obrázok 16: Fotografia software na spracovanie termosnímkou

6.4 Analýza identifikačných markantov

Analýzu identifikačných markantov sme robili na vzorke 6 ľudí. Každého človeka sme odfotografovali 10 krát pri rôznych teplotách a následne vyhodnotili pomocou programu. Údaje sme prehľadne zaznamenali v nasledujúcej tabuľke. Tabuľky jednotlivých identifikačných markantov sú uložené v prílohe č.1. Všetky uvedené hodnoty sú v stupňoch Celzia (°C).

Tabuľka 1: Priemerné hodnoty teplôt identifikačných markantov

	oči	nos	ústa	líca	čelo
20 + infralampa	35,9	32,3	35,3	35,5	35,4
20	34,3	30,5	33,8	33,4	33,1
15	33,0	25,1	30,3	30,4	31,6
10	31,5	22,1	29,7	29,0	31,1
5	30,1	19,9	28,1	27,9	30,6
0	29,0	17,3	26,4	25,6	28,9
-5	30,7	18,5	27,1	25,7	31,0
-10	29,1	16,0	25,9	24,4	25,4

Tabuľka 2: Minimá a maximá indentifikačných markantov

	oči	nos	ústa	líca	čelo
minimum	27,8	12,9	23,7	18,1	23,6
maximum	37,1	34,2	37,1	37,7	36,2

V tabuľke môžeme vidieť, že teplota je na povrchu ľudskej tváre rozložená nerovnomerne, a jej akumulovanie na jednotlivých častiach je tiež odlišná. Najstudenšia časť ľudskej tváre je nos, ktorý mal pri všetkých prípadoch najnižšiu teplotu, a taktiež ju aj najrýchlejšie strácal v prostredí s menšou teplotou. Teplota očí sa postupne znižovala, avšak ustálila sa pri teplote okolo 30°C. Oblasť očí sa hlavne pri poslednej meranej teplote hľadala veľmi ťažko, aj po analýze obrázka v rôznych paletách. Ústa a líca boli na tom skoro rovnako. Počiatočná a aj koncová teplota sa pri oboch snímkach veľmi nelíši.

Pri prechode z miesta s teplotou 5°C do miesta s teplotou pod bodom mrazu sa nám teplota nepatrne zvýšila. Bolo to spôsobené prirodzenou ochranou organizmu, kedy sa vlásoknice v povrchovom tkanive podieľajú na nadmernom prekrvovaní tých častí tela, ktoré sú vystavené extrémnej zmene teploty. Pri teplote -10°C je zmena znižovania teploty opäť dobre viditeľná.

Z tabuľky č.2 môžeme vidieť, že najväčšia diferencia nastala na nosovej časti. Naopak najmenšia zmena nastala pri očiach. Najvyššiu teplotu tváre dosiahla líčna časť, ktorá naberá v mrazoch svoju charakteristickú „červenkastú“ farbu. Najnižšiu teplotu dosiahol nos, ktorý je kvôli svojej členitosti najmenej chránený pred odovzdávaním tepla do prostredia.

Tváre dvoch ľudí boli pri niektorých teplotách skoro celé zafarbené do červena. Bolo to spôsobené tým, že dotyčné osoby nemali na hlave vlasy. Termokamera vtedy meria teplotu priamo z pokožky hlavy. Z toho nám vyplýva, že pokožka hlavy bez vlasov má podobnú teplotu ako pokožka na tvárovej časti hlavy.



Obrázok 17: Příklad snímku z termokamery pre jednu osobu

6.5 Zhrnutie

Vďaka vyhotoveným fotografiám a softwaru sme mohli preskúmať databázu termosnímkou. Údaje z obrázkov sme zjednotili a spriemerovali do tabuľky. Dokázali sme, že teplota má veľký vplyv na zhotovené termosnímkou, že termografia je využiteľná pre biometrické systémy zamerané na tvár. Použitie by malo obmedzenú funkčnosť pri teplotách pod bod mrazu, pretože vtedy rozlišovacie schopnosti kamery nie sú schopné vyobrazit' studenšie a teplejšie miesta; a naopak pri teplotách nad 35 °C. V tom prípade by bolo možné biometriu tváre skombinovať s iným biometrickým systémom ako je odtlačkom prsta, obrazom sietnice alebo s biometriou chôdze. Ďalšia možnosť je kombinácia biometrického systému tváre s tokenom, kľúčom alebo čipovou kartou.

ZÁVER

Problematika využitia diaľkového bezkontaktného snímania infračervenej časti elektromagnetického spektra na detekciu, lokalizáciu a identifikáciu ľudskej tváre je veľmi komplexná.

Pomocou vytvorenej databázy snímkou som preskúmal vplyv teploty na termogram ľudskej tváre. Pri ich analýze som sa zameril na vlastnosti a využiteľnosť pri automatizovanom rozpoznávaní tvári.

S využitím dostupného softwaru som porovnal identifikačné markanty a typické časti tváre. Potom som spriemeroval teploty jednotlivých častí a zaznamenal do tabuľky. Ukázalo sa, že existuje rada náhodných vplyvov a podmienok, ktoré nám negatívne ovplyvňujú použitie termografu pri detekcii, lokalizácii či identifikácii tváre.

Toto využitie sa zvyšuje v kombinácii s ďalšími používanými metódami, či už biometrickými, alebo na princípe kľúčov.

Detailnejšiu analýzu snímkov bolo obmedzené horšími rozlišovacími schopnosťami kamery pri mínusových teplotách.

Jeden s prínosov mojej bakalárskej práce je vytvorenie databáze termografických snímkou, ktoré dokazujú, že použitie termografu pri biometrii ľudskej tváre je zatiaľ víziou budúcnosti. Vytvorená databáza môže taktiež poslúžiť ako východisko pre ďalšia merania a zrovnania.

Bezpečnostné systémy na princípe rozoznávania tváre bez použitia termografu je pomerne nová záležitosť a ich uplatnenie sa začína prehľbovať čím ďalej tým viac. V nasledujúcich rokoch sa dá predpokladať ich zdokonalenie a vývoj, čo povedie širšiemu uplatneniu. V budúcnosti budeme možno svedkami, kedy si auto alebo bankomat sám verifikuje oprávnenú osobu.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The problem of using non-contact remote sensing infrared part of the electromagnetic spectrum to detect, locate and identify the human face is very complex.

By creating a database snapshot, I examined the effect of temperature on human facial thermogram. In their analysis, I have focused on the features and usability of the automated face recognition.

Using available software, I compared a typical minutiae identification of the face. I averaged the temperature of individual parts and noted into the table. It turned out that there are numerous random influences and conditions which are adversely affecting the use of thermographs in detecting, locating and identifying faces.

The increasing use in combination with other methods, whether biometric or keys on the principle.

More detailed analysis of the images has been limited by using worse distinctive capabilities cameras when temperature was low.

One of the benefits of my work is creating a database thermography images showing that the use of thermographs for human facial biometrics is still a vision for the future.

Security systems based on facial recognition without the use of thermography is a relatively new issue and the application begins to be deeper. In the coming years We can expect their improvement and development, leading to a wider application. In the future we will be seeing when the car itself or cash machine verifies an authorized person.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KLEMERA, Jozef. *Somatologie a antropologie*. 1. vyd. Praha, 502 s. + 1, 1981. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1981.
- [2] DOKLÁDAL, Milan a Libor PÁČ. *Anatomie člověka*. 2. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 1997, 257 s. ISBN 80-210-1633-7.
- [3] ENLOW, D.H. a M.G HANS. *Essentials of Facial Growth*. Oxford: W. B. Saunders Company, 1996.
- [4] TAYLOR, Karen T. *Forensic art and illustration*. Boca Raton, Fla.: CRC Press, c2001, 580 p. ISBN 08-493-8118-5.
- [5] ŠČUREK, Radomír. Biometrické metody identifikace osob v bezpečnostní praxi. [online]. 2008 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: http://www.fbi.vsb.cz/miranda2/export/sites-root/fbi/040/cs/sys/resource/PDF/biometricke_metody.pdf
- [6] Rak R. et al.: Biometrie a identita člověka ve forenzních a komerčních aplikacích. Pra-ha, Grada Publishing, 2008, ISBN 978-80-247-2365-5
- [7] Siegel J. A. et al.: *Encyclopedia of Forensic Sciences*. Four-Volume Set, pgs. 773 ? 815, Elsevier, 2000, ISBN: 978-0-12-227215-8
- [8] MAZANEC, Ján. *Rozpoznávanie tváří v biometrii založené na metodách PCA a SVM* [online]. Bratislava, 2008 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://diplomovka.sme.sk/zdroj/3427.pdf>. Diplomová práce. Slovenská technická univerzita Bratislava. Vedoucí práce Doc. Dr. Ing. Miloš Oravec.
- [9] HALLIDAY, David. *Fyzika: Vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. 1. vyd. Brno/Praha: VUTIUM/PROMETHEUS, 2000, 1198 s. ISBN 80-214-1869-9.
- [10] *FLIR system, ThermaCAM Reporter - user's manual: Professional Edition*. 8,1. 2007.
- [11] KOČÁR, RADEK. *EXPERIMENTY S TERMOSNÍMKY OBLIČEJŮ* [online]. 2009, Brno [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.fit.vutbr.cz/study/DP/rpfile.php?id=6332>. Bakalárska práca. Vysoké učení technické. Vedoucí práce Ing. MARTIN DRAHANSKÝ, Ph.D.
- [12] Termografia. [online]. [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.termo-kamera.sk/termografia/>
- [13] Aplikácie priemysel. [online]. [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.termografia.sk/clanky/aplikacie-priemysel>

- [14] TASR. Z Mexika priletí 180 Čechov: Skontrolujú ich termokamery. [online]. 2009 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.cas.sk/clanok/114917/z-mexika-prileti-180-cehov-skontroluju-ich-termokamery.html>
- [15] BZK. Británie chystá termální detektory lži. Cestující na letištích o nich nebudou vědět. [online]. 2011 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://zpravy.ihned.cz/c1-53819160-britanie-chysta-termalni-detektory-lzi-cestujici-na-letistich-o-nich-nebudou-vedet>
- [16] AMETEK COMPANY. *GUIDE ThermoPRO TP8* [online]. Pittsburgh [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: http://www.mavis-slovakia.sk/pdf/ThermoPro_TP8.pdf
- [17] Shoniregum C. A., Crosier S.: *Securing Biometric Applications*. Springer Science+Business Media LLC., 2008, e-ISBN: 978-0-387-69933-2
- [18] Plasencia Y. et al.: A Study on Representations for Face Recognition from Thermal Images. In *CIARP 2009, LCNS 5856*, pp. 185-192, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2009
- [19] Prokoski F. J., Riedel R. B.: *Infrared Identification of Faces and Body Parts*. Michigan State University, course materials, 2005
- [20] Lawlor M.: Thermal Pattern Recognition System Faces Security Challenges Head on. In *Signal 52 (3)*: 64-66, 1997
- [21] http://nd01.jxs.cz/006/050/781549bdbd_37590047_o2.png (Google)
- [22] http://nd01.jxs.cz/332/484/a3cf1d936f_37319975_o2.png (Google)
- [23] <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b8/Ear.jpg/220px-Ear.jpg> (Google)
- [24] <http://www.cs.princeton.edu/~cdecoro/eigenfaces/eigenfaces.jpg> (Google)
- [25] http://www.cc.gatech.edu/~kihwan23/images2/pj_face_recog.JPG (Google)
- [26] <http://daraboland.files.wordpress.com/2011/07/facer.jpg> (Google)
- [27] <http://i.ytimg.com/vi/Waur8GMYv-w/1.jpg> (Google)
- [28] http://www.secondpicture.com/tutorials/3d/3d_modeling_a_face_with_polygons_in_3ds_max.png (Google)
- [29] http://www.starfire.com/wpcontent/uploads/2012/01/faq_color_temperature_scale.jpg (Google)

- [30] KOČÁR, RADEK. *EXPERIMENTY S TERMOSNÍMKY OBLIČEJŮ* [online]. 2009, Brno [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.fit.vutbr.cz/study/DP/rpfile.php?id=6332>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické. Vedoucí práce Ing. MARTIN DRAHANSKÝ, Ph.D.
- [31] http://www.privileg.sk/images/fullscreen/termogram_image_01.jpg (Google)
- [32] <http://www.uniatest.com/galeria/33308191351.jpg> (Google)
- [33] <http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/tvmultimedia/imagens/6fisica/2termografia.jpg> (Google)
- [34] http://www.nytimes.com/slideshow/2009/04/26/world/20090426-SWINEFLU_3.html (Google)
- [35] http://www.infraredtraining.com/community/boards/images/866241764_ThermoproTP8.jpg

Seznam použitých symbolů a zkratk

- PCA Principal components analysis- analýza hlavních částí
- SVD Singular Value Decomposition- dekompozícia jedinečných hodnôt.
- LDA Linear discriminant analysis- lineárna diskriminačná analýza
- EBGM Elastic bunch graph matching- elastický zrovnávací diagram

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázok 1: Kostra hlavy [21]</i>	13
<i>Obrázok 2: Svaly hlavy [22]</i>	15
<i>Obrázok 3: Ušný boltec [23]</i>	18
<i>Obrázok 4: Eigenfaces [24]</i>	26
<i>Obrázok 5: Skupiny LDA metódy [25]</i>	27
<i>Obrázok 6: Uzľové body EBGM diagramu [26]</i>	27
<i>Obrázok 7: Uzľové body EBGM diagramu [27]</i>	28
<i>Obrázok 8: Trojrozmerný obraz tváre [28]</i>	28
<i>Obrázok 9: Typy infračerveného žiarenia [29]</i>	34
<i>Obrázok 10: Termogram a bežné zobrazenie [30]</i>	35
<i>Obrázok 11: Bežné zobrazenie a termogram domu [31]</i>	39
<i>Obrázok 12: Rozvádzač elektrickej energie [32]</i>	40
<i>Obrázok 13: Termogram z vyšetrenia prsníkov [33]</i>	41
<i>Obrázok 14: Termogram na letisku [34]</i>	43
<i>Obrázok 15: Termokamera ThermoPro PT8 [35]</i>	46
<i>Obrázok 16: Fotografia software na spracovanie termosnímkou</i>	49
<i>Obrázok 17: Príklad snímku z termokamery pre jednu osobu</i>	51

SEZNAM TABULEK

<i>Tabuľka 1: Priemerné hodnoty teplôt identifikačných markantov</i>	49
<i>Tabuľka 2: Minimá a maximá indentifikačných markantov</i>	50

SEZNAM PŘÍLOH

Príloha 1: Tabuľky pre jednotlivé identifikačné markanty

Príloha 2: Kompletne fotografie zvyšných 5 ľudí

PŘÍLOHA I: TABULKY PRE JEDNOTLIVÉ IDENTIFIKAČNÉ MARKANTY

oči	1	2	3	4	5	6
20 + infra	36	36,3	36,2	34	35,9	37,1
20	33,6	35,2	33,7	32,9	34,4	36
15	33	33,1	32,4	31,1	34	34,1
10	32,5	30,9	30,5	30,7	31,4	33,1
5	29,6	30,5	29,9	30	31,1	29,7
0	28,6	30,2	29,3	28,2	29,2	28,4
-5	27,9	30,5	31	31,9	31	32
-10	27,8	28,9	31,2	28,3	28,4	29,7

nos	1	2	3	4	5	6
20 + infra	34,1	32	33,3	28,3	34,2	32,1
20	31	30,6	30	26,6	33,5	31
15	24,2	25,1	21,9	19,9	32,2	27,4
10	27	19,4	18,6	19,7	27,9	19,8
5	24,8	18,1	17,8	18,8	22,7	17
0	19,3	16	16,9	15	20,2	16,1
-5	17,9	16,6	18,9	19,5	21	16,8
-10	17,5	15,4	13,7	12,9	20,5	16

ústa	1	2	3	4	5	6
20 + infra	34,8	37,1	34,6	33,6	36,2	35,6
20	33,5	36	33,5	30	35,2	34,3
15	31,3	31,4	29,6	27	32,7	30
10	31,2	31,2	28,8	28	29,5	29,3
5	31	29,8	27,5	27,5	25,1	27,4
0	27,8	28,6	26,4	25,1	23,7	26,6
-5	26,7	27,2	27	28,2	26,3	27,4
-10	25,8	27	27,8	24,8	24,3	25,7

líce	1	2	3	4	5	6
20 + infra	35,8	34,8	35,2	34	35,6	37,7
20	34,3	33,5	31	31	34,4	36,3
15	30	31,4	29	27,5	32,4	32
10	31,2	29,3	27,2	27,2	29,7	29,1
5	30,8	28,3	26,1	26,6	27,2	28,4
0	25	27	25,9	23	26,5	26,2
-5	23,1	26,8	28,1	24,2	26,4	25,6
-10	25	26,4	27,2	18,1	24,9	24,6

čelo	1	2	3	4	5	6
20 + infra	35,5	35,7	35,2	34,3	35,7	36,2
20	33,3	33,1	32,9	33,4	32,9	32,9
15	31,6	31,8	32	30,4	32	32
10	31,4	31,2	31,2	30,5	31,2	31,3
5	31	30,8	30,5	30,2	30,6	30,5
0	28,6	29	28,8	29,8	28,8	28,6
-5	31,2	30,9	31,2	31	30,2	31,2
-10	25,7	25,9	25,8	23,6	25,5	26,1

PŘÍLOHA I: KOMPLETNÉ FOTOGRAFIE ZVYŠNÝCH 5 LUDÍ

