



SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A INFORMATIKY

Ing. Marian Špilka

Autoreferát dizertačnej práce
Komplexný systém pre identifikáciu používateľa na základe metód rozpoznávania
3D tváre

na získanie akademického titulu: „doktor“ („philosophiae doctor“, v skratke „PhD.“)

v doktorandskom študijnom programe: Telekomunikácie

v študijnom odbore: 5.2.15. Telekomunikácie

Forma štúdia denná

Miesto a dátum: Bratislava, 2019

Dizertačná práca bola vypracovaná na: Ústav multimediálnych komunikačných a
informačných technológií
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Slovenská technická univerzita v Bratislave

Predkladateľ: **Ing. Marian Špilka**

Slovenská technická univerzita v Bratislave
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Ústav multimediálnych komunikačných a
informačných technológií
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava

Školiteľ: **prof. Ing. Gregor Rozinaj, PhD.**

Slovenská technická univerzita v Bratislave
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Ústav multimediálnych komunikačných a
informačných technológií
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava

Oponenti: **prof. Ing. Jozef Juhár, PhD.**

Technická univerzita v Košiciach
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky a multimediálnych
telekomunikácií
Boženy Němcovej 32
041 20 Košice
Slovenská republika

doc. Ing. Kamil Říha, Ph.D.

Vysoké učení technické v Brně
Fakulta elektrotechniky a komunikačních
technologií
Technická 3082/12
616 00 Brno
Česká republika

Autoreferát bol rozoslaný:.....

Obhajoba dizertačnej práce sa bude konať dňa **o****h.**

na STU FEI Ústave multimediálnych informačných a komunikačných technológií

.....
Prof. Dr. Ing. Miloš Oravec
dekan fakulty

Obsah

1	Úvod	1
2	Súčasný stav riešenej problematiky.....	2
2.1	Ovplyvňujúce faktory.....	2
	Snímanie objektu.....	2
	Snímacie podmienky	2
2.2	Skenery 3D objektov	3
2.3	Proces rozpoznania tváre.....	4
	Zachytenie tváre	4
	Spracovanie vzorky	4
	Registrácia.....	4
3	Ciele dizertačnej práce	5
4	Metódy riešenia dizertačnej práce	6
4.1	Architektúra riešenia	6
	4.1.1 Ciele architektúry	6
4.2	Moduly riešenia.....	6
	4.2.1 Profil tváre.....	7
	4.2.2 Šikmé profily tváre.....	8
	4.2.3 Regióny tváre	9
	4.2.4 Nosová časť tváre	10
	4.2.5 Tvárový polygón	10
	4.2.6 Spodná časť tváre - brada	11
5	Zhrnutie výsledkov	12
6	Stručný prehľad naplnených cieľov	14
7	Zoznam použitej literatúry	16
8	Zoznam publikácií autora.....	19
9	Riešené výskumné projekty.....	20
10	Patenty	21

1 Úvod

Biometria ponúka aj v súčasnej dobe čoraz rýchlejšie sa vyvíjajúcich technológií možnosti stále širšieho aplikovania a využitia poznatkov. Aj keď identifikácia človeka na základe rôznych biometrických parametrov už existuje, sú odvetvia, kde by rozšírenie a kvalitatívny posun efektívnej identifikácie na základe biometrie značne uľahčili používanie aplikácií alebo systémov. Príkladom môže byť identifikácia na základe ľudskej tváre, ktorá je stále viac žiadaná ako riešenie neinvazívnej identifikácie používateľa hlavne v oblasti inteligentných systémov. Rozpoznávanie tváre je v dnešnej dobe už na pomerne vysokej úrovni. Identifikácia na základe 2D fotografie je skúmaná oproti 3D modelu dlhšie, avšak využitie hĺbkového rozmeru otvára nový priestor pre výskum a tiež rôzne možnosti prístupu spracovania. Rozpoznanie tváre s použitím 2D dát nie je robustné a je silno závislé od podmienok snímania. Hĺbkový rozmer umožňuje zájsť v tejto oblasti podstatne ďalej, avšak získanie kvalitného hĺbkového obrazu nie je jednoduché, keďže vyhovujúce zariadenia nie sú tak cenovo dostupné. Riešenie ponúkajú zariadenia, ktoré síce nedisponujú vysokou presnosťou, ale umožňujú získať dáta v uspokojivej kvalite, ktoré sa ďalej spracovávajú. Kombinácia lacného zariadenia a nenáročnej ale zároveň robustnej metódy ponúka možnosť kvalitného uplatnenia v inteligentných systémoch, ktoré sú určené pre širokú verejnosť. Zároveň však jednoduchší a výpočtovo nenáročný prístup rozpoznávania tváre nemusí mať takú dostatočnú úspešnosť ako iná komplexná metóda, ktorá vyžaduje silnejší výpočet. Spojenie viacerých nezávislých prístupov umožňuje získať vyrovnaný výsledok aj v prípade neštandardného vstupu. Preto je našou ambíciou skombinovať viacero riešení a ich spoločnou synergiou získať robustný systém, ktorý dokáže čeliť nepriaznivým podmienkam.

2 Súčasný stav riešenej problematiky

2.1 Ovpływujúce faktory

Rozpoznávanie tváre môžeme v súčasnosti pokladať za vyriešený problém, keďže existujú rôzne prístupy, či už v 3D (napríklad [3]), alebo v 2D, dokonca navrhnuté pre systém Android [18] a používajú sa na rôznych miestach a v rozličných odvetviach vo svete. Avšak výsledok ovplyvňujú viaceré faktory, ako pozícia tváre, snímacie podmienky, kvalita, mimika, pohyb tváre a mnoho ďalších, ako už bolo uvedené [11] [19], kde je priestor na inovatívne vylepšenia riešení. Na druhej strane zariadenie na skenovanie tváre ovplyvňuje nielen výsledok, ale aj použitie. So stúpajúcou kvalitou sa zvyšuje invazívnosť skenovania voči používateľovi, keďže zachytenie kvalitnej snímky môže vyžadovať prísnejšie podmienky a aj interferovať s rýchlosťou snímania. Zároveň úmerne s kvalitou rastie aj cena, čím sa znižuje dostupnosť zariadení. Teda kvalitné rozpoznávanie tváre na lacnejších zariadeniach, ktoré si môže dovoliť široká verejnosť, je výzvou. Výber zariadenia, algoritmu, či spracovania záleží v prvom rade od účelu, pôsobenia systému a podmienok, od ktorých sa odvíjajú požiadavky na systém.

Snímanie objektu

Správne zachytenie vzorky, obsahujúcej dôležité črty a informácie na porovnanie, môže byť pri snímaní ľudskej tváre problémom z dôvodu dynamickosti objektu. Vyplývajú z toho nasledovné komplikácie:

- Vzdialenosť tváre od snímača
- Náklon tváre
- Snímanie tváre z uhla (až úplné odvrátenie tváre)
- Maskovanie (okuliare, čiapka, brada, maľovanie, make-up)
- Mimika a emócie

Snímacie podmienky

V závislosti od použitého zariadenia ovplyvňujú výsledok aj podmienky snímania, ktoré nesúvisia s objektom, ale s prostredím, kde sa objekt spolu so zariadením nachádza. Následkom nevyhovujúcich podmienok vzniká šum, teda potlačenie špecifického príznaku na snímanom zábere, až po úplné znemožnenie prevádzky zariadenia. Snímanie ovplyvňujú:

- Svetelné podmienky (protisvetlo, tieň, preexponované časti obrázka)
- Poveternostné podmienky (exteriér)
- Teplota miestnosti (interiér)

Pridanie tretieho rozmeru pri snímaní tváre prispelo k riešeniu viacerých problémov so snímaním objektu – hlavne s pozíciou tváre. Keďže snímanie hĺbky obrazu je založené na inom princípe (napríklad s použitím infračerveného svetla), tento postup je odolnejší aj voči nevhodným svetelným podmienkam. Dôležitým prínosom tretieho rozmeru je získanie

d'alších dát z tváre, čo je významné nielen pri rozpoznávaní celej tváre, ale tiež v prípade, že tvár nebude možné (napríklad kvôli maskovaniu) zachytiť celú. [3]

2.2 Skenery 3D objektov

3D skenery sa používajú na zachytenie objektu a prevedenie do virtuálnej reality za účelom digitalizácie. V súčasnosti sa technológie vyvíjajú enormne rýchlym tempom a kvalita výrobkov vzrastá. Existuje veľa zariadení na snímanie v 3D, využívajúcich rôzne technológie so širokou paletou účelov a zameraní. Kvalita snímacieho zariadenia úzko súvisí s presnosťou, na ktorú je bezprostredne naviazaná kvalita výsledku. Čím presnejšie je zariadenie, tým je kvalitnejší výsledok. 3D skenery sa delia podľa technológie na [20]:

- Kontaktné
- Time-of-flight (zachytávajú dĺžku letu elektromagnetických vln)
- Pasívne stereoskopické
- So štruktúrovaným svetlom
- Laserové

Podľa použitia sú rozdelené na:

- Ručné
- Statické

Ručné skenery sú určené predovšetkým na skenovanie menších objektov, na rozdiel od statických, ktoré sa používajú hlavne pri väčších rozmeroch, resp. pri skenovaní špecifických objektov, ako napríklad tvár, telo.

Dnes najpresnejšie zariadenia používajú laser alebo štruktúrované svetlo a zároveň patria k najdrahším. Ich presnosť sa pohybuje až v stotínach milimetrov. V prípade, že na kvalite výsledku do takej miery nezáleží a chybovosť snímania môže presiahnuť aj 1 mm, je možnosť použiť aj lacnejšie zariadenia založené na inom princípe, a to na zachytávaní vysielaného IR žiarenia alebo tiež na menej precíznom štruktúrovanom svetle.

2.3 Proces rozpoznania tváre

Proces rozpoznávania tváre zahŕňa rôzne algoritmy a metódy. Každá metóda je zodpovedná za istú časť procesu. Celý proces môžeme rozdeliť na štyri hlavné kroky [19]:

- Zachytenie tváre
- Spracovanie vzorky
- Registrácia
- Určenie zhody

Zachytenie tváre

Ľudská tvár má z viacerých pohľadov mnoho jedinečných charakteristík, ktoré môžeme spracovať rôznymi spôsobmi, preto každý prístup sa pokúša zachytiť najsignifikatnejšie črty tváre podľa zadaných podmienok. Tvárové dáta teda môžeme variabilne zachytiť a uložiť. Nižšie sú popísané najznámejšie prístupy, ktorých základné rozdelenie sa nachádza v [8]:

- Hĺbková mapa a zhuk bodov
- Textúra
- Tvárové krivky
- Geometrické vlastnosti
- Rozdielová geometria

Spracovanie vzorky

Na spracovanie vzorky, ktorá bola zachytená v predošlom kroku, sa využívajú rôzne algoritmy, ktoré predspracovávajú zachytené tvárové dáta, tieto sa efektívne vkladajú do databázy, spracúvajú aktuálnu tvárovú vzorku alebo porovnávajú ju so vzorkou v databáze. Na rozpoznanie tváre sa používajú nasledovné známe algoritmy:

- Iteratívne najbližší bod
- Analýza hlavných komponentov
- Metóda podporných vektorov
- Analýza nezávislých komponentov
- Lineárna diskriminačná analýza
- Neurónové siete
- Fuzzy logika

Registrácia

Tento krok je dôležitý pre efektívne získanie zhody medzi zachytenou tvárou a vzorkou uloženou v databáze. Uložené vzorky treba upraviť, aby boli pripravené na porovnávanie. Napríklad vzorky sa namapujú na seba, aby body tváre medzi vzorkami sa presne prekrývali, alebo sa vyberú vzorové objekty, čo závisí na implementácii registrácie. Tým sa už pri prevádzke rozpoznávacieho systému podstatne môže znížiť realizačná doba, pretože tento krok je z hľadiska celého procesu časovo najnáročnejší. [48] Klasifikovať dáta je možné rôznymi spôsobmi. V [10] sú spomenuté registračné algoritmy ako:

- „One to all“ architektúra
- „Average Face model“ architektúra
- „Proposed registration“ architektúra

3 Ciele dizertačnej práce

Po dôkladnej analýze súčasného stavu rozpoznania tváre v 3D a analýze potrieb sme vybrali tieto ciele dizertačnej práce:

- Navrhnuť/modifikovať algoritmy pre identifikáciu používateľov na základe 3D tváre, ktoré skvalitnia proces identifikácie
- Navrhnuť nový originálny systém pre identifikáciu používateľov na základe viacerých metód spracovania 3D tváre
- Navrhnuť metodiku výberu a váhovania jednotlivých metód pre optimalizáciu systému na identifikáciu používateľov na základe viacerých metód spracovania 3D tváre

Okrem týchto cieľov sa budeme venovať nasledovným úlohám:

1. Vytvoriť architektúru, ktorá umožňuje riešenie využiť na výskumné a pedagogické účely pridaním vlastného modulu.

4 Metódy riešenia dizertačnej práce

Na základe vedeckých článkov a literatúry sme vybrali vhodné metódy a navrhli sme ich implementácie, modifikácie a nové algoritmy. Vzniknuté hypotézy sme podrobili experimentom a výsledky vyhodnotili.

Keďže podstatná časť dizertačnej práce je súčasťou patentovej prihlášky, sú v autoreferáte zverejnené vybrané časti dizertačnej práce.

4.1 Architektúra riešenia

Základným princípom architektúry je modularita. Keďže naším cieľom je využiť viacero prístupov rozlišovania tváre a identifikácie osôb, je nutné prispôbiť tomuto cieľu dizajn celého systému. Aj preto sme sa rozhodli postaviť architektúru riešenia na technológii micro-services a s použitím technológie „Spring-boot“, kde každý modul systému je spring-boot inštancia, ktorý komunikuje cez HTTP s ostatnými modulmi. Program je napísaný v jazyku Java a plne využíva objektový princíp.

4.1.1 Ciele architektúry

Architektúra je základom celého programu a predurčuje systém na spôsob jeho používania a tiež definuje jeho silné a slabé stránky. Vytýčením správneho návrhu nastavujeme celému procesu tie vlastnosti, ktoré od systému očakávame. Týmito vlastnosťami vzhľadom k našim cieľom sú:

- Identifikácia založená na viacerých prístupoch
- Prispôbenie systému na zmenu
- Škálovateľnosť a distribúcia riešenia v prevádzke
- Podpora výskumných a pedagogických účelov

4.2 Moduly riešenia

Moduly riešenia boli vytvárané nielen za účelom kreovať identifikačný systém, ale aj overiť funkčnosť navrhutej architektúry a spôsobu spracovania. Úmyslom na pozadí celého návrhu je využiť pokiaľ možno čo najväčší počet odlišných klasifikátorov. Sme si vedomí, že tým, že použijeme viacero odlišných prístupov identifikácie, bude dochádzať medzi nimi ku „konfliktom“. Čím je vyššia presnosť skupiny klasifikátorov, tým je priestor na diverzitu nižší. [56] Zároveň musia byť jednotlivé moduly čo najmenej závislé od mimiky a tvárových výrazov a takisto odolné pred maskovaním (okuliare, brada a iné). Pri výbere sme sa inšpirovali už existujúcimi prístupmi, ktoré boli spomenuté v predchádzajúcich kapitolách.

4.2.1 Profil tváre

Vzorku zachytávame na základe označených tvárových bodov. Na extrakciu profilu z modelu tváre potrebujeme zadať rovinu, v ktorej sa profil nachádza. Na definíciu roviny potrebujeme 3 body. V našom prípade sú to: stred očí, špička nosa a spodok brady. Tieto body sme vybrali preto, že sú pre získanie roviny pomerne odolné voči výrazom a sú tak aj označené v tvárovom modeli. Keď máme zadanú rovinu, vyberieme iba tie body, ktoré sa na rovine a v jej blízkom okolí nachádzajú. Z profilu tváre odignorujeme spodnú časť, ktorá obsahuje ústa a bradu, keďže táto časť nie je odolná pri zmene výrazu. Takto nájdené body transformujeme do 2D priestoru. Zredukujeme dimenziu bodov o zložku X, ktorá predstavuje horizontálnu polohu bodu v rámci tváre. Body následne zoradíme podľa vertikálnej polohy na tvári a odstránime zdublikované body vzniknuté redukciou dimenzie. Takto zoradený zoznam bodov je pripravený na ďalšie spracovanie. Body interpolujeme splinovým interpolátorom a získame tak funkciu, ktorá presne popisuje profil tváre. Pri registrácii je do databázy uložený serializovaný objekt matematickej funkcie.

Identifikácia prebieha tak, že vstupná vzorka sa spracuje do spomínanej funkcie a z databázy je po jednom vyberaná funkcia reprezentujúca osobu v databáze. Vzorky sa na seba presne namapujú. V obidvoch funkciách potom hľadáme globálne maximum, čo predstavuje špička nosa. Na označený bod priamo z modelu tváre z databázy Bosphorus sa nemôžeme spoľahnúť, keďže sme zaznamenali veľké nepresnosti v označení špičky nosa a malo to dopad na celkovú úspešnosť klasifikátora. Na základe nájdeného bodu prevedieme posun funkcie, aby sme dokončili normalizáciu. Keď máme profily tváre na seba namapované, môžeme prejsť k určeniu chyby. Chybu určíme tak, že odpočítame dve funkcie od seba a dostaneme tretiu funkciu, nad ktorou vykonáme MSE. Aj keď sme databázové vzorky znormalizovali pomocou ICP a získané krivky posunuli, aby sa čo najviac prelínali, môže prísť k natočeniam profilu. K podobnému efektu natočenia môžu prispieť aj rôzne mimiky tváre. Aby sme aj tento faktor odstránili, rozhodli sme sa k dvom krokom. K použitiu lineárnej regresie nad výslednou funkciou odčítania a tiež k ignorovaniu 5% najväčších chýb pri výpočte MSE. Tým dosiahneme správne natočenie profilu a odfiltrovanie zašumených častí tváre. Pre znázornenie výpočtu chyby medzi dvomi profilmi uvádzame vizualizáciu. (Obrázok 1 - Porovnanie dvoch vzoriek a výpočet chýb) Na obrázku sú dva vstupné profily tej istej osoby (červený a zelený). Modrý profil je posunutý a znormalizovaný profil podľa vzorky z databázy. Žltá funkcia predstavuje funkciu odpočítania dvoch profilov a fialová priamka znázorňuje regresnú funkciu pre minimalizáciu chyby. Na porovnanie uvádzame aj znázornenie dvoch profilov odlišných osôb. **(Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.)**

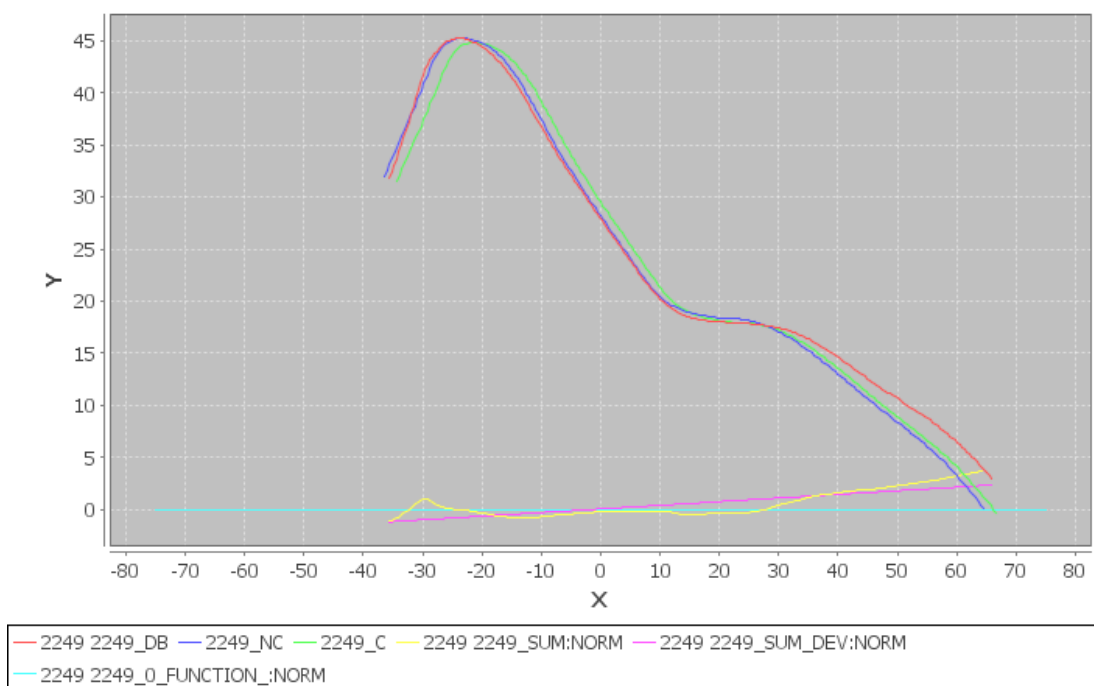
$$E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(f_1(x_i) - f_2(x_i)) - Reg(x_i)]^2$$

Rovnica 1 - Rovnica výpočtu chyby medzi dvomi profilmi

f_1, f_2 – funkcia profilu tváre 1 a 2

$Reg(x)$ – Funkcia lineárnej regresie z funkcie odčítania $f_1(x_i) - f_2(x_i)$

n – počet 95% zo všetkých bodov (bez 5% bodov s najväčšou chybou z výpočtu MSE)



Obrázok 1 - Porovnanie dvoch vzoriek a výpočet chýb – tá istá osoba a iný výraz

4.2.2 Šikmé profily tváre

Rovnako, ako pri predošlom riešení, potrebujeme definovať rovinu, na základe ktorej získame šikmý profil. Pred výberom bodov vyjadrujúcich rovinu je potrebné získať zošikmené body. Spodný zošikmený bod predstavuje kombináciu horizontálnej polohy stredu ľavého/právneho oka a vertikálnej polohy vrchu hornej pery. Horný zošikmený bod je vypočítaný ako zrkadlový premet okolo bodu stredu očí s tým, že horizontálna a hĺbková hodnota je prevzatá zo stredu oka. Posledný bod na definíciu šikmej roviny je samotný stred očí. Potom už postup získania šikmého profilu a matematickej funkcie je rovnaký ako pri predošlom module. Výstupom extrakcie sú dva tvárové šikmé profily, ktoré sú svojou definíciou zrkadlovo symetrické. Pri registrácii sú tak dve matematické funkcie uložené do databázy.

Proces identifikácie sa podobá predchádzajúcemu prístupu až na to, že vo výpočte chyby vynechávame 15% najväčších rozdielov medzi krivkami, aby sme mierne eliminovali chybu spôsobenú pohybom mäkkých častí tváre alebo náhodným šumom, ktorý by spôsobil znehodnotenie správnej vzorky. Chyby oboch kriviek sčítame a výsledok súčtu považujeme za finálnu chybu.

$$E = E_1 + E_2$$

Rovnica 2 - Výpočet chyby dvoch dvojíc funkcií šikmých profilov

$E_{1,2}$ - výpočet chyby dvoch ľavých/právých šikmých profilov

4.2.3 Regióny tváre

Kvôli dostatočnému pokrytiu tváre sme sa rozhodli pre spracovanie 3 rôznych rezov. Koeficient hĺbky, podľa ktorého určíme, v akej hĺbke rezy vykonáme pre danú tvár, vypočítame ako rozdiel hĺbky špičky nosa a stredu očí.

$$d = z_{nose_tip} - z_{eyes_center}$$

Rovnica 3 - Výpočet hĺbkového koeficientu

Na základe vykonaných meraní sme sa rozhodli pre nasledovné rezy v týchto hĺbkach:

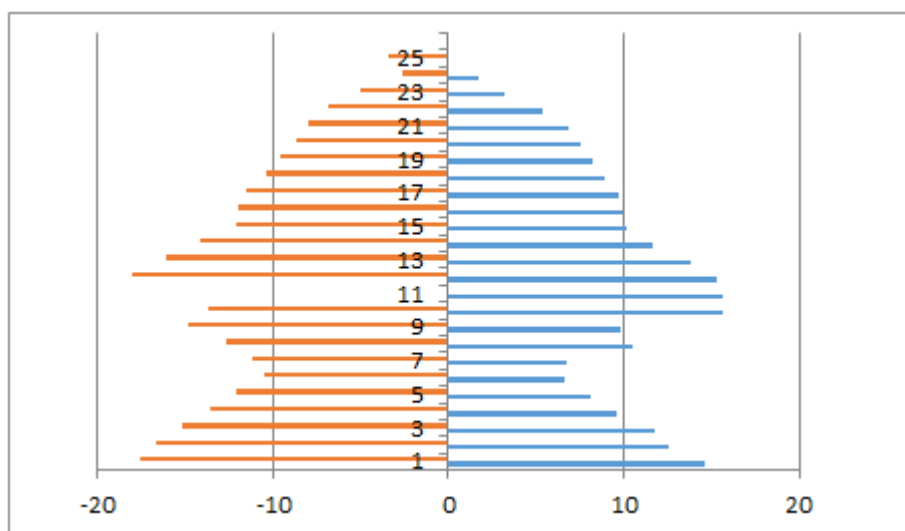
$$Rez_1 = z_{nose_tip} - d * 0,4$$

$$Rez_2 = z_{nose_tip} - d * 0,65$$

$$Rez_3 = z_{nose_tip} - d * 1,25$$

Rovnica 4 - Rovnice definujúce hĺbku rezu

Každý rez sme očistili od nesúvisiacich bodov, ktoré sa tiež v danej hĺbke nachádzali, aby sme dosiahli spojitý rez a odstránili sme časť brady a úst kvôli vplyvu na zmenu výrazu. Rez potom rozpolíme na dve polovice podľa osi symetrie a každú polovicu prične rozdelíme na rovnaký počet častí. Pre každú časť vypočítame plochu a hodnoty jednotlivých plôch uložíme do databázy. Takto máme zaregistrovanú vzorku v databáze. Nižšie uvádzame znázornenie vypočítaných plôch.



Obrázok 2 - Rez 1 - nos a časť medzi nosom a ústami

Keďže v databáze máme už uložené všetky plochy, určiť rozdiel medzi vzorkami je pomerne jednoduché. Pre každý rez určíme chybu použitím MSE a chyby rezov vynásobíme. (Rovnica 5)

$$E = MSE(r_1, s_1) * MSE(r_2, s_2) * MSE(r_3, s_3)$$

Rovnica 5 - Výpočet chyby rezov

$r_{1,2,3}$ – plochy rezov 1,2,3 tváre 1

$s_{1,2,3}$ – plochy rezov 1,2,3 tváre 2

4.2.4 Nosová časť tváre

Z tvárových dát vyberieme body, ktoré ohraničujú nos (dva body pri očných spojivkách a dva body pri spodných nosných vráskach) a špičku nosa. Pomocou týchto bodov získame parametre ako šírku spodnej a hornej časti nosa, dĺžku a výšku nosa a centrálny bod základne nosa. Ako posledný parameter vypočítame objem nosa, ktorý získame súčtom hĺbok všetkých jeho bodov. Všetky tieto parametre uložíme do databázy a tak sú pripravené na proces identifikácie.

Hodnoty parametrov pri každej tvári môžu byť rôzne a tiež rozdiely medzi jednotlivými parametrami majú rôznu váhu. Preto sme sa rozhodli chybu vypočítať pre každý parameter nasledovne:

$$E_{p1} = \frac{P_{c1}}{P_{d1}} - 1$$

Rovnica 6 - Výpočet chyby jedného parametra

P_{c1} – Vzorka s parametrom 1 na vstupe

P_{d1} – Vzorka s parametrom 1 z databázy

E_{p1} – Vypočítaná chyba v parametre 1 medzi dvomi vzorkami

Týmto postupom zabezpečíme, že chyby medzi jednotlivými parametrami sú porovnateľné, keďže potrebujeme získať jedno číslo ako výstup a zároveň pri vstupe, ktorý je blízko k registrovanej vzorke z databázy, chyba bude smerovať k 0. Takto pripravené hodnoty vložíme do vektora chýb, kde každá zložka predstavuje chybu v jednom parametre vypočítanú vyššie uvedeným vzorcom. Finálny výsledok potom vypočítame ako štandardnú dĺžku vektora. (Rovnica 7)

$$E = \sqrt{E_{p1}^2 + E_{p2}^2 + E_{p3}^2 + E_{p4}^2 + \dots}$$

Rovnica 7 - Výpočet celkovej chyby ako dĺžky vektora chýb

4.2.5 Tvárový polygón

Zachytenie vzorky je priamočiare. Vyberieme z modelu tieto označené body:

Ľavý kraj ľavého oka, pravý kraj ľavého oka, ľavý bod hornej nosovej časti, ľavý bod dolnej nosovej časti, špička nosa, pravý bod dolnej nosovej časti, pravý bod hornej nosovej časti, ľavý kraj pravého oka, pravý kraj pravého oka. Týchto deväť bodov uložíme do databázy.

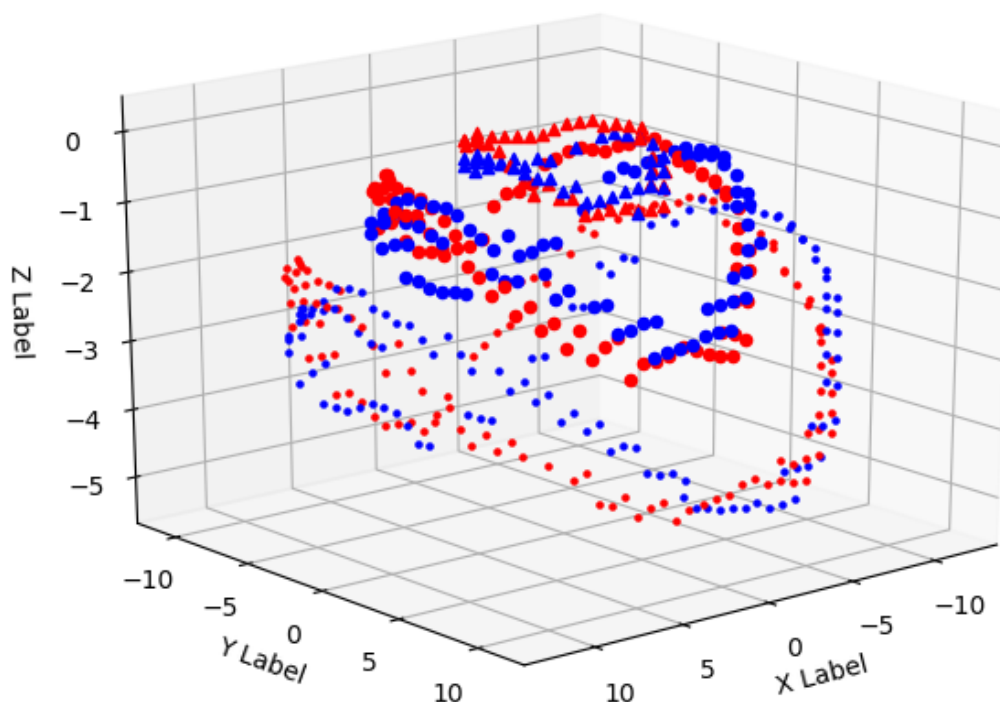
Identifikácia spočíva v určení vzdialeností medzi prislúchajúcimi bodmi. Získame tak deväť vzdialeností, ktoré vynesieme do deväťrozmerného vektora. Celkovú chybu získame tak, že vypočítame dĺžku daného vektora.

4.2.6 Spodná časť tváre - brada

Prvým krokom spracovania brady je získanie pevného bodu, ktorý je odolný voči pohybu. Najprv sme sa spoliehali na už označený bod z databázy „CHIN-TIP“. Ten však poukazoval nie na bradu, ale na spodný kraj tváre a často bol odlišný pri jednotlivých rôznych tvárach. Preto sme museli zvoliť iný prístup. Podobne ako pri spracovaní profilu tváre sme vybrali všetky body ležiace na osi symetrie tváre. Pomocou označených bodov sme sa zamerali na body, ktoré sú pod spodnou perou a ako pevný bod brady sme z nich zvolili ten, ktorý je najvyššie položený. Tým sme získali špičku brady, ktorú sme mohli použiť pri ďalšom spracovaní.

Z dôvodu, že brada je charakteristická svojim tvarom a zaoblením, rozhodli sme sa ju zachytiť pomocou troch rezov. Rezy vytvárame tak, že za body rezu považujeme iba tie body, ktoré majú rovnakú vzdialenosť od špičky brady. Pre každý rez máme definovanú vlastnú vzdialenosť. Rez je však závislý od natočenia tváre resp. brady a aj keď bod je odolný voči pohybu, od mierneho natočenia rezistentný nie je. Preto je potrebné rezy normalizovať. Proces normalizácie prebieha tak, že najprv pomocou preloženia priamky s najmenšou chybou cez body rezu v osi X a Y zistíme natočenie rezu vzhľadom k oboj osiam a potom rez natočíme, aby ležal rovno na osiach X a Y. Tak máme vytvorené tri samostatné rezy, ktoré sú znormalizované, popisujú tvar brady a zachytávajú jej charakter. Takto zachytené rezy ukladáme do databázy a tým registrujeme vzorku.

Tento proces je implementovaný tak, že každý rez sa porovnáva samostatne a jednotlivé chyby sa potom sčítavajú. Pri porovnaní rezu sa na vzorku z databázy mapuje vstupná vzorka. Pre každý bod z databázy sa hľadá najbližší bod zo vstupu. Vzdialenosti takto nájdených bodov sa porovnávajú a spracujú sa všetky okrem istých percent najväčších chýb, aby sme odstránili možné zašumenia a vedľajšie chyby. Pri rezoch sú percentá nasledovné: 0% pri najbližšom reze, 2% v strednom a 20% v najvzdialenejšom. Dôvodom nastavenia týchto hodnôt je, že pri najvzdialenejšom reze rozličnosť bodov bola vyššia, keďže začína zasahovať do mäkkých častí tváre a aj pri rovnakom modeli s iným výrazom sa body mohli od seba výraznejšie líšiť v niektorých zakriveniach. Cieľom tohto nastavenia je zamerať sa na pevnejšie body a stanoviť jasný výsledok. Chyby zo všetkých rezov sa sčítajú a určí sa výsledná chyba. Nižšie uvádzame vizualizáciu rezov s porovnaním medzi rôznymi osobami a výrazmi. (Obrázok 3)



Obrázok 3 - Porovnanie rezov brady - rovnaká osoba, iný výraz

5 Zhrnutie výsledkov

Úspešnosť budeme sledovať z celkového hľadiska a tiež z pohľadu jednotlivých typov tvárových výrazov, ako sú emócie (E), zmena hornej časti tváre (UFAU), dolnej časti tváre (LFAU), maskovanie (zväčša nosenie okuliarov) (O) a neutrálny výraz (N). Vstupná množina obsahuje aj minoritnejšie pózy ako kombinácia aktívnych častí (CAU) a IGN, ktorá v dokumentácii nie je popísaná a podľa fotografií ide o mierny pohyb ústnej časti. Počet vstupných tvárí je 3010 a majú nasledovné zastúpenie:

Typ výrazu	Počet
LFAU	1541
E	451
UFAU	431
O	206
N	194
CAU	169
IGN	18

Tabuľka 1 - Početnosť množiny vstupov podľa typov póz

Výsledky sme zozbierali pomocou systémových logov naprogramovaných na tento účel, ktoré sme pomocou „Elastic Stacku“ (Elasticsearch, Kibana, Logstash) spracovali a vizualizovali.

Typ výrazu	Špička brady	Šikmý profil	Nosová časť	Regióny	Polygón	Profil
LFAU	15.25%	36.60%	36.28%	50.29%	59.05%	63.01%
UFAU	25.99%	34.57%	41.30%	72.85%	67.05%	44.78%
E	15.74%	24.17%	31.93%	42.35%	52.11%	40.58%
N	36.08%	69.59%	51.03%	87.11%	72.68%	92.78%
O	18.93%	30.58%	34.47%	35.44%	50.00%	68.45%
Celkovo	18.67%	35.75%	36.91%	53.72%	59.17%	59.50%

Tabuľka 2 - Prehľadová tabuľka výsledkov jednotlivých modulov

Typ výrazu	Hodnotiaci algoritmus	Po optimalizácii
LFAU	80.40%	88.97%
UFAU	89.56%	93.98%
E	75.39%	83.37%
N	96.91%	100.00%
O	72.82%	84.88%
Celkovo	81.66%	89.47%

Tabuľka 3 - Prehľadová tabuľka zlučovacích prístupov

Pri komparácii môžeme pozorovať výborné výsledky optimalizačnej časti, ktorá dokonca dosiahla medzi ostatnými v tvárovej kategórii „O“ zlepšenie až 12%. V každej tvárovej kategórii sa prejavil priaznivý vplyv na výsledok a spresnenie identifikácie. Pri neutrálnych výrazoch optimalizácia dosahuje až 100% úspešnosť, čo je na jednej strane pozitívne, no na druhej strane ukazuje na potrebu preverenia väčším počtom vzoriek, keďže neutrálnych výrazov je 194. Celkovým výsledkom optimalizácie je spresnenie identifikácie o necelých 8%, čiže finálna úspešnosť celého algoritmu je 89,47%.

Systém vykazuje dobré výsledky simulácie a architektúra spojenia rôznych modulov založených na viacerých prístupoch, v spojení s hodnotiacim algoritmom a optimalizáciou preukázala výborné vlastnosti a pozitívny vplyv na celkovú presnosť. Systém je neinvazívny, keďže nepotrebuje pri identifikácii používateľovu neutrálnu tvár a vie ho spracovať s inou mimikou, emóciou, grimasou, či s použitím okuliarov.

6 Stručný prehľad naplnených cieľov

- Navrhnuť/modifikovať algoritmy pre identifikáciu používateľov na základe 3D tváre
Navrhli sme a vytvorili 6 originálnych, nových a tiež aj zmodifikovaných algoritmov na identifikáciu osôb. Každý algoritmus sme zaobalili do samostatného modulu a pre každý prístup sme vyhodnotili výsledky. Moduly vedia pracovať spolu a tiež aj samostatne.
- Navrhnuť nový originálny systém pre identifikáciu používateľov na základe viacerých metód spracovania 3D tváre.
Vytvorili sme celkom nový systém s inovatívnou architektúrou, ktorá je založená na modernej technológii „microservices“ a využíva strojové učenie na optimalizáciu. Systém je modulárny a podporuje možnosť vytvorenia a vloženia vlastného rozpoznávacieho modulu, čím sa dá využiť na edukatívne účely pre študentov v oblasti rozpoznávania a identifikácie 3D tváre.
- Navrhnuť metodiku výberu a váhovania jednotlivých metód pre optimalizáciu systému na identifikáciu používateľov na základe viacerých metód spracovania 3D tváre
Navrhli sme metodiku, ktorá umožňuje spojiť výstupy z nezávislých modulov a spracovať ich do spoločného výstupu. Metodika vyberá najvhodnejšie výstupy a pripravuje vstup pre optimalizáciu. Vytvára tak synergický efekt, ktorý využíva diverzitu jednotlivých metód na získanie presnejších výsledkov.

Podstatná časť dizertačnej práce je predmetom patentovej prihlášky STU, ktorá sa prihlasuje na Patentový úrad SR v čase odovzdávania tejto dizertačnej práce! (Z tohto dôvodu sú v autoreferáte znázornené iba vybrané časti dizertačnej práce)

7 Resumé

The dissertation focuses on identification based on a human 3D face and it deals with 3D face recognition. Our ambition was to create a new complex identification system which uses more different identifying approaches in the same time.

- We created 6 new, original or modified algorithms for identifying persons. Each algorithm we wrapped into a module and each approach we evaluated. Modules can work together or separately.
- We created a completely new system with innovative architecture which is based on modern technology – microservices and it uses machine learning for optimization. The system is modular and supports the creation and insertion of a custom module. This enables to use the system for educational purposes for students in the face recognition area.
- We designed methodology in the face identification process, which enables us to merge outputs from the independent modules and process them into a common output. This methodology chooses the most suitable outputs and prepares them for optimization. It makes the synergy effect, which uses diversity from given methods to get more accurate results.

The major part of this thesis is a subject of STU patent submission, which has been already submitted at the patent Office of Slovak Republic.

8 Zoznam použitej literatúry

- [1] C. Beumier, "3D face recognition," in Industrial Technology, 2006, ICIT 2006, IEEE International Conference on, 2006, pp. 369–374.
- [2] A. Mian, M. Bennamoun, and R. Owens, "An efficient multimodal 2d-3d hybrid approach to automatic face recognition," IEEE Trans. on Pattern Anal. and Machine Intel., 29(11):1927–1943, 2007
- [3] B. Y. Li, A. Mian, W. Liu, and A. Krishna, "Using kinect for face recognition under varying poses, expressions, illumination and disguise," in Applications of Computer Vision (WACV), 2013 IEEE Workshop on, 2013, pp. 186–192.
- [4] J. Yang, C. Liu, and L. Zhang, "Color space normalization: Enhancing the discriminating power of color spaces for face recognition," Pattern Recognition, 43(4):1454–1466, 2010
- [5] Ch. Beumier, "3D Face Recognition." In Industrial Technology, 2006, ICIT 2006. IEEE International Conference on, 369–374, IEEE, 2006, http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4237707.
- [6] J. Cartoux, J. T. LaPreste, M. Richetin, "Face authentication or recognition by profile extraction from range images.," in Workshop on Interpretation of 3D Scenes, 1989, pp. 194–199.
- [7] G. Pan, S. Han, Z. Wu, Y. Wang, "3D Face Recognition using Mapped Depth Images," 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05) - Workshops, San Diego, CA, USA, 2005, pp. 175-175. doi: 10.1109/CVPR.2005.560
- [8] D. Petrovska-Delacrétaz, B. Dorizzi, G. Chollet, eds., „Guide to Biometric Reference Systems and Performance Evaluation,“ London: Springer London, 2009, http://link.springer.com/10.1007/978-1-84800-292-0_, p.p 270, 277
- [9] C. Samir, A. Srivastava, M. Daoudi, "Three-Dimensional Face Recognition Using Shapes of Facial Curves," in IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 28, no. 11, pp. 1858-1863, Nov. 2006.
- [10] M. Rui, J. Choi, G. Medioni, and J. L. Dugelay, "Real-Time 3D Face Identification from a Depth Camera." In Pattern Recognition (ICPR), 2012 21st International Conference on, 1739–1742. IEEE, 2012. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6460486.
- [11] A. Scheenstra, A. Ruifrok, and R. C. Velkamp, 'A survey of 3D face recognition methods', in International Conference on Audio-and Video-based Biometric Person Authentication, 2005, pp. 891–899.
- [12] L. Torres, 'Is there any hope for face recognition?', in Proc. of the 5th International Workshop on Image Analysis for Multimedia Interactive Services, WIAMIS, 2004, vol. 21, p. 23.
- [13] B. Huang, M. Chen, P. Huang, and Y. Xu, 'Gait modeling for human identification', in Proceedings 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2007, pp. 4833–4838.
- [14] D. Maraj, A. Maraj and A. Hajzeraj, "Application interface for gesture recognition with Kinect sensor," 2016 IEEE International Conference on Knowledge Engineering and Applications (ICKEA), Singapore, Singapore, 2016, pp.98-102. doi: 10.1109/ICKEA.2016.7803000
- [15] A. Buzo, H. Cucu, L. Petrică, D. Burileanu, and C. Burileanu, 'An Automatic Speech Recognition solution with speaker identification support', in Communications (COMM), 2014 10th International Conference on, 2014, pp. 1–4.
- [16] C. S. Dhir and S.-Y. Lee, 'Face recognition based on modified discriminant independent component analysis, IEEE Transactions on Neural Networks, vol. 22, no. 6, pp. 845–857, 2011.
- [17] N. Kudu, V. W. DJSCOE, and S. Karamchandani, 'Biometric Identification System using Fingerprint and Knuckle as Multimodality Features'.
- [18] S. Stoimenov, G. T. Tsenov, and V. M. Mladenov, 'Face recognition system in Android using neural networks', in Neural Networks and Applications (NEUREL), 2016 13th Symposium on, 2016, pp. 1–4.

- [19] J. Malhotra and N. Raina, "Biometric face recognition and issues," 2015 2nd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom), New Delhi, 2015, pp. 1239-1241.
- [20] P. Frantis and M. Toman, 'Low-cost 3D scanner using Off-The-Shelf technologies', in Military Technologies (ICMT), 2015 International Conference on, 2015, pp. 1-7.
- [21] K. Khoshelham and S. O. Elberink, 'Accuracy and Resolution of Kinect Depth Data for Indoor Mapping Applications', *Sensors*, vol. 12, no. 12, pp. 1437-1454, Feb. 2012.
- [22] D. A. Forsyth and J. Ponce, *Computer vision: a modern approach*. Prentice Hall Professional Technical Reference, 2002.
- [23] M. Emambakhsh and A. Evans, 'Nasal Patches and Curves for an Expression-robust 3D Face Recognition', *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, pp. 1-1, 2016.
- [24] T. Li, W. Hou, F. Lyu, Y. Lei, and C. Xiao, 'Face Detection Based on Depth Information Using HOG-LBP', 2016, pp. 779-784.
- [25] J. Lei, J. Zhou, M. Abdel-Mottaleb, and X. You, 'Detection, localization and pose classification of ear in 3d face profile images', in 2013 IEEE International Conference on Image Processing, 2013, pp. 4200-4204.
- [26] B. A. Efraty, D. Chu, E. Ismailov, S. Shah, and I. A. Kakadiaris, '3D-aided profile-based face recognition', in 2009 16th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), 2009, pp. 4125-4128.
- [27] Y. Lei, Q. Li, X. Song, Z. Shi, and D. Chen, '3D face hierarchical recognition based on geometric and curvature features', in Computer Network and Multimedia Technology, 2009. CNMT 2009. International Symposium on, 2009, pp. 1-4.
- [28] M. M. M. Tin and M. M. Sein, 'Multi triangle based automatic face recognition system by using 3D geometric face feature', in Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2009. I2MTC'09. IEEE, 2009, pp. 895-899.
- [29] E. Vezzetti and F. Marcolin, 'Geometrical descriptors for human face morphological analysis and recognition', *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 60, no. 6, pp. 928-939, Jun. 2012.
- [30] A. Burlacu, A. Cohal, S. Caraiman, and D. Condurache, 'Iterative closest point problem: A tensorial approach to finding the initial guess', in System Theory, Control and Computing (ICSTCC), 2016 20th International Conference on, 2016, pp. 508-513.
- [31] C. Cortes and V. Vapnik, 'Support-vector networks', *Machine learning*, vol. 20, no. 3, pp. 273-297, 1995.
- [32] O. Konopka, J. Šťastný, 'Analýza hlavných komponent', *Semestrálna práca*, 2005.
- [33] J. Lei, C. Lu, and Z. Pan, 'Enhancement of Components in ICA for Face Recognition', 2011, pp. 33-38.
- [34] A. L. Taha, L. Y. Taha, and E. Abdel-Raheem, 'FastICA architecture utilizing FPGA and iterative symmetric orthogonalization for multivariate signals', in 2015 IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology (ISSPIT), 2015, pp. 279-284.
- [35] S. N. Borade, R. R. Deshmukh, and S. Ramu, 'Face recognition using fusion of PCA and LDA: Borda count approach', in Control and Automation (MED), 2016 24th Mediterranean Conference on, 2016, pp. 1164-1167.
- [36] L. Benkušová, 'Umelé neurónové siete', 2010
- [37] M. Owayjan, R. Achkar, and M. Iskandar, 'Face Detection with Expression Recognition using Artificial Neural Networks', in Biomedical Engineering (MECBME), 2016 3rd Middle East Conference on, 2016, pp. 115-119.
- [38] X. Zhang, M. Peng, and T. Chen, 'Face recognition from near-infrared images with convolutional neural network', in Wireless Communications & Signal Processing (WCSP), 2016 8th International Conference on, 2016, pp. 1-5.
- [39] P. Sharma, R. N. Yadav, and K. V. Arya, 'Face recognition from video using generalized mean deep learning neural network', in Computational and Business Intelligence (ISCBI), 2016 4th International Symposium on, 2016, pp. 195-199.
- [40] Y. Wen, Z. Li, and Y. Qiao, 'Latent Factor Guided Convolutional Neural Networks for Age-Invariant Face Recognition', 2016, pp. 4893-4901.

- [41] Y. Sun, X. Wang, and X. Tang, 'Sparsifying Neural Network Connections for Face Recognition', 2016, pp. 4856–4864.
- [42] L. A. Zadeh, 'Fuzzy logic', 1988.
- [43] P. Melin, O. Mendoza, and O. Castillo, 'Face Recognition With an Improved Interval Type-2 Fuzzy Logic Sugeno Integral and Modular Neural Networks', IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans, vol. 41, no. 5, pp. 1001–1012, Sep. 2011.
- [44] A. Chowdhury and S. S. Tripathy, 'Human skin detection and face recognition using fuzzy logic and eigenface', in Green Computing Communication and Electrical Engineering (ICGCCEE), 2014 International Conference on, 2014, pp. 1–4.
- [45] X. Wang, T. X. Han, and S. Yan, 'An HOG-LBP human detector with partial occlusion handling', in 2009 IEEE 12th International Conference on Computer Vision, 2009, pp. 32–39.
- [46] F. A. Bhat and M. A. Wani, "Gabor wavelet based face recognition under varying lighting, pose and expression conditions," 2015 2nd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom), New Delhi, 2015, pp. 1314-1318.
- [47] N. Alyuz, B. Gokberk, and L. Akarun, 'A 3D face recognition system for expression and occlusion invariance', in Biometrics: Theory, Applications and Systems, 2008. BTAS 2008. 2nd IEEE International Conference on, 2008, pp. 1–7.
- [48] R. Liu, R. Hu, and H. Yu, '3D face registration by depth-based template matching and active appearance model', in Wireless Communications and Signal Processing (WCSP), 2014 Sixth International Conference on, 2014, pp. 1–6.
- [49] J. Janáček, 'Říadení přístupu', presentation, 2013
- [50] N. N. Kaashki and R. Safabakhsh, '3D constrained local model-based face recognition using Kinect under variant conditions', in Telecommunications (IST), 2014 7th International Symposium on, 2014, pp. 361–366.
- [51] Y. Hu and Z. Chen, 'Kinect-Based Face Recognition and Its Application in MOOCs Production', 2015, pp. 298–301.
- [52] C. Samir, A. Srivastava, M. Daoudi, 'Automatic 3D Face Recognition Using Shapes of Facial Curves', 2005
- [53] I. A. Kakadiaris, G. Passalis, G. Toderici, M. N. Murtuza, and T. Theoharis, '3D Face Recognition.', in BMVC, 2006, pp. 869–878.
- [54] N. Dragoni et al., "Microservices: yesterday, today, and tomorrow", arXiv:1606.04036 [cs], jún. 2016.
- [55] NAMIOT, Dmitry; SNEPS-SNEPPE, Manfred. On micro-services architecture. International Journal of Open Information Technologies, 2014, 2.9: 24-27.
- [56] H. K. Butler, M. A. Friend, K. W. Bauer, a T. J. Bihl, "The effectiveness of using diversity to select multiple classifier systems with varying classification thresholds", Journal of Algorithms & Computational Technology, roč. 12, č. 3, s. 196, sep. 2018.
- [57] T. Chen a C. Guestrin, "XGBoost: A Scalable Tree Boosting System", v Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining - KDD '16, San Francisco, California, USA, 2016, s. 785–794.
- [58] CHIUNHSIUN Lin, KUO-CHIN Fan, Triangle-based approach to the detection of human face, Pattern Recognition, Volume 34, Issue 6, 2001, Pages 1271-1284, ISSN 0031-3203
- [59] Y. Wu, G. Pan, a Z. Wu, "Face Authentication Based on Multiple Profiles Extracted from Range Data", v Audio- and Video-Based Biometric Person Authentication, roč. 2688, J. Kittler a M. S. Nixon, Ed. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2003, s. 515–522.
- [60] WATERS RICHARD C, "System And Method For Identifying Face", US2006056667 (A1), 2006
- [61] Gokberk, Berk & Salah, Albert & Akarun, Lale & Etheve, Remy & Riccio, Daniel & Dugelay, Jean-Luc. (2009). 3D Face Recognition. 10.1007/978-1-84800-292-0_9.

9 Zoznam publikácií autora

Publikované príspevky na zahraničných vedeckých konferenciách registrovaných v databázach Web of Science alebo SCOPUS:

- AFC01 M. Špilka [50%], G. Rozinaj, "Face recognition methods by using low resolution devices," 2016 International Symposium ELMAR, Zadar, 2016, pp. 185-188. V databáze: IEEE, SCOPUS, WoS
- AFC02 M. Špilka [25%], A. Posoldova, G. Rozinaj and P. Podhradský, "Importance of recommendation system in modern forms of learning," 2016 International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP), Bratislava, 2016, pp. 1-4. V databáze: IEEE, SCOPUS, WoS
- Citované v:
1. Y. Zhou, et al. "Personalized learning full-path recommendation model based on LSTM neural networks", Information Sciences, 2018, 444: 135-152.
- AFC03 M. Špilka [33%], G. Rozinaj, R. Rybárová, "Context analysis using bigrams". In INES 2015 : 19th International conference on intelligent engineering systems. Bratislava, Slovakia. September 3-5, 2015. Danvers : IEEE, 2015, S. 401-404. ISBN 978-1-4673-7939-7. V databáze: IEEE, INSPEC: 15604417, SCOPUS

Publikované príspevky na domácich vedeckých konferenciách:

- AFD01 T. Salák, M. Špilka [50%], "Face recognition based on face profile", Redžúr 2017 : 11th International workshop on multimedia information and communication technologies. Bratislava, Slovakia. May 19, 2017. 1. vyd. Bratislava : Vydavateľstvo Spektrum STU, 2017, ISBN 978-80-227-4691-5.
- AFD02 M. Špilka [50%], G. Rozinaj, "Bigrams in context analysis", Redžúr 2015 [elektronický zdroj] : 9th International workshop on multimedia and signal processing. Smolenice, Slovakia. April 22-23, 2015. 1. vyd. Bratislava : Nakladateľstvo STU, 2015, S. 31-34. ISBN 978-80-227-4346-4.
- AFD03 M. Špilka [50%], M. Vasek, "Weighting of Words in Context Analysis", Redžúr 2013 : proceedings; 7th International Workshop on Multimedia and Signal Processing; Smolenice, Slovakia, 1. Máj 2013. 1. vyd. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2013, s. 27--30. ISBN 978-80-227-3921-4.
- AFD04 M. Špilka [50%], M. Vasek, "Kontextová analýza", ŠVOČ 2013 [elektronický zdroj] : Zborník vybraných prác, Bratislava, 23. apríl 2013. s. 384--389.

10 Riešené výskumné projekty

H2020 NEWTON - Networked Labs for Training in Sciences and Technologies for Information and Communication

Rozinaj Gregor (STU coordinator), H2020 ICT-20 2015 - Information and Communications Technologies, Technologies for better human learning and teaching (2015-2018)

MUFLON - Advanced Multimedia Services in the Environment of ICT Future Networks (Progresívne multimediálne služby v prostredí IKT sietí budúcnosti (future networks))

Rozinaj Gregor, APVV-0258-12, (FEI No: AK17)(2013-2016)

IMUROSА - Integration of Multimedia Signal Processing Methods into Multimodal Interface and Network Applications (Integrácia metód spracovania MULTimediálnych signálov do multimodálneho ROzhrania a Siet'ových Aplikácií)

Rozinaj Gregor, VEGA 1/0708/13, (FEI No: 1494/115722)(2013-2015)

MINCA - "Multimedia Information and Communication Technologies" Study Programme in English (Študijný program "Multimediálne informačné a komunikačné technológie" v anglickom jazyku)

Rozinaj Gregor (principal coordinator), KEGA 047STU-4/2013, (FEI No: 1721/116725)(2013-2015)

11 Patenty

Názov	Spôsob identifikácie osoby na základe 3D modelu tváre a zapojenie identifikačného systému
Patentová prihláška PP 85-2019	https://wbr.indprop.gov.sk/WebRegistre/Patent/Detail/85-2019
Prihláška úžitkového vzoru PUV 109-2019	https://wbr.indprop.gov.sk/WebRegistre/UzitkovyVzor/Detail/109-2019