

Princípy algoritmov pre biometrické identifikačné systémy

Algorithm principles of biometric identification systems

Katarína Okresová

Bakalárska práca
2008



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav elektrotechniky a měření

akademický rok: 2007/2008

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Katarína OKRESOVÁ**
Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**

Téma práce: **Principy algoritmů pro biometrické identifikační systémy**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s principy biometrických identifikačních systémů.
2. Proveďte popis matematických postupů, používaných pro identifikaci vybraných objektů.
3. Proveďte hlubší analýzu jednoho identifikačního algoritmu.
4. Výsledky analýzy použijte pro odhad požadavků na technické parametry vybraného systému.
5. Navrhněte možnou aplikaci vaší práce pro výuku na FAI UTB.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. **Anil K. Jain: Fundamentals of digital image processing, Prentice Hall 1989**
2. **Rafael C. Gonzales, Richrd E. Woods, Steven L. Eddins: Digital image processing using MATLAB, Prentice Hall 2004**
3. **Firooz Sadjadi, Bahram Javidi eds.: Physics of Automatic Target Recognition, Springer 2007**
4. **firemní literatura fy Phobos**

Vedoucí bakalářské práce:

doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.
Ústav elektrotechniky a měření

Datum zadání bakalářské práce:

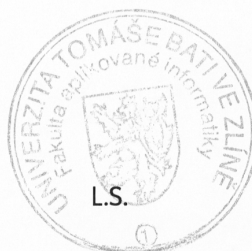
22. února 2008

Termín odevzdání bakalářské práce:

3. června 2008

Ve Zlíně dne 22. února 2008

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan



doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Cieľom je matematický popis algoritmov používaných pre vybrané biometrické identifikačné systémy (predpokladajme optické).

Kľúčové slová:

biometrické identifikačné systémy, identifikácia, rozpoznávanie tváre, invariant, algoritmus

ABSTRACT

A goal is a mathematical description of algorithm used in selected biometric identification systems.

Keywords:

biometric identification systems, identification, face recognition, invariant, algorithm

Dovoľujem si vyjadriť poďakovanie svojim rodičom za morálnu podporu pri štúdiu a doc. RNDr. Vojtěchovi Křesálekovi, Csc. za odborné znalosti, vedomosti a pripomienky poskytnuté pri spracovaní mojej bakalárskej práce.

Motto:

„Dôležitá vec je neprestať sa pýtať.“

Albert Einstein

Prehlasujem, že som na bakalárskej práci pracovala samostatne a použitú literatúru som citovala. V prípade publikácie výsledkov, ak je to uvoľnené na základe licenčnej zmluvy, budem uvedená ako spoluautor.

V Zlíne

.....
Podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČASŤ	10
1 BIOMETRICKÉ IDENTIFIKAČNÉ SYSTÉMY VŠEOBECNE	11
1.1 VŠEOBECNÝ POPIS BIOMETRICKÉHO IDENTIFIKAČNÉHO SYSTÉMU	11
1.1.1 Základné funkcie biometrického systému	11
1.1.2 Komponenty biometrických identifikačných systémov.....	12
1.2 ROZDELENIE BIOMETRICKÝCH IDENTIFIKAČNÝCH SYSTÉMOV	12
1.2.1 Biometrické znaky.....	12
1.2.1.1 Rozdelenie biometrických znakov	13
2 VŠEOBECNÁ CHARAKTERISTIKA VYBRANÝCH BIOMETRICKÝCH IDENTIFIKAČNÝCH SYSTÉMOV	15
2.1 BIOMETRICKÉ SYSTÉMY VYUŽÍVAJÚCE ODTLAČOK PRSTA	15
2.1.1 Daktyloskopické vzory	15
2.1.2 Identifikácia využívajúca odtlačok prsta	17
2.1.2.1 Optická metóda snímania odtlačku prsta	17
2.1.2.2 Metóda využívajúca polovodičmi generované elektrické pole	18
2.2 BIOMETRICKÉ SYSTÉMY VYUŽÍVAJÚCE TVÁR.....	18
2.2.1 Metóda porovnávania obrazov	19
2.2.2 Metóda využívajúca neurónové siete.....	20
2.2.3 3D verifikácia tváre	22
2.3 BIOMETRICKÉ SYSTÉMY VYUŽÍVAJÚCE OČNÚ DÚHOVKU.....	22
2.4 BIOMETRICKÉ SYSTÉMY VYUŽÍVAJÚCE OČNÚ SIETNICU	24
2.5 BIOMETRICKÉ SYSTÉMY VYUŽÍVAJÚCE HLAS	25
2.5.1 Porovnávanie pomocou šablóny	25
2.5.2 Analýza úsekov.....	26
3 MATEMATICKÉ POSTUPY POUŽÍVANÉ VYBRANÝMI BIOMETRICKÝMI IDENTIFIKAČNÝMI SYSTÉMAMI	27
3.1 BIOMETRICKÉ SYSTÉMY VYUŽÍVAJÚCE PRE IDENTIFIKÁCIU ODTLAČOK PRSTA	27
3.1.1 Porovnávací metóda.....	27
3.1.2 Metóda skúmajúca detaily odtlačku prsta s využitím akustickej holografie.....	28
3.2 BIOMETRICKÉ SYSTÉMY VYUŽÍVAJÚCE NA IDENTIFIKÁCIU TVÁR.....	31
3.2.1 3D rozpoznávanie tváre	32
3.2.2 3D rozpoznávanie tváre využívajúce deformovaný tvárový model.....	33
4 INVARIANTNÁ ALGEBRA	38
4.1 TEÓRIA INVARIANTNEJ ALGEBRY	38
4.1.1 Základný teorém invariantného momentu	40
4.1.2 Dvojmerná geometrická invariancia.....	41
4.1.3 Spojenie geometrickej a materiálnej invariencie.....	42

4.2	INVARIANTNÉ VÝRAZY 3D ROZPOZNÁVANIA TVÁRE.....	46
4.2.1	Nerigidné porovnávanie povrchu	46
4.2.1.1	Zakrivené invarianty kanonických tvarov	47
4.2.1.2	Meranie geodetických vzdialeností trojuholníkovou metódou	49
II	PRAKTICKÁ ČASŤ	50
5	ROZSAH ZOBRAZENÝCH ÚDAJOV PRE ZÍSKANIE INVARIANTNÝCH VÝRAZOV 3D ROZPOZNÁVANIA TVÁRE.....	51
5.1	TECHNICKÝ POPIS SNÍMACIEHO PRÍSTROJA	51
5.2	3D ROZPOZNÁVANIE TVÁRE POUŽITÍM VLASTNEJ (EIGENFACE) FORMY	51
5.3	VÝSLEDKY	52
6	POŽIADAVKY NA TECHNICKÉ PARAMETRE VYBRANÝCH BIOMETRICKÝCH IDENTIFIKAČNÝCH SYSTÉMOV	55
6.1	TECHNICKÉ PARAMETRE VYBRANÝCH SYSTÉMOV DOSTUPNÝCH NA TRHU.....	55
6.1.1	Technické parametre systémov využívajúcich na identifikáciu odtlačok prsta.....	55
6.1.2	Technické parametre systémov využívajúcich na identifikáciu tvár	56
7	APLIKÁCIA PRÁCE VO VÝUKE NA FAI UTB.....	57
7.1	TEORETICKÁ ČASŤ VÝUKY BIOMETRICKÝCH SYSTÉMOV	57
7.2	PRAKTICKÁ ČASŤ VÝUKY BIOMETRICKÝCH SYSTÉMOV	58
7.2.1	Systém VisionAccess	58
7.2.2	Praktické použitie systému VisionAccess	60
	ZÁVER.....	61
	CONCLUSION.....	62
	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	63
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	65
	ZOZNAM OBRÁZKOV.....	66
	ZOZNAM TABULIEK.....	67
	ZOZNAM PRÍLOH	68

ÚVOD

Slovo „biometria“ pochádza zo starého Grécka. Je zložené z dvoch samostatných slov, kde bio znamená „život“ a metro „merať“.

V biometrickej histórii hrali veľkú úlohu starovekí Egypťania a Číňania, pričom táto história siaha až do obdobia približne pred tisíc rokmi.

Jeden z prvých známych prípadov použitia biometrie je zaznamenaný u čínskych obchodníkov, ktorí používali na identifikáciu biometrické črty tváre. Spisy prieskumníka a obchodníka Joaoa de Barrosa hovoria o obchodníkoch zo 14. storočia, ktorí vyriešili vtedajší problém rozlíšenia detí. Pomocou atramentu otláčali detské ruky na papier, a tak začali používať určitú formu biometrie.

V roku 1890 sa parížsky policajný dôstojník Alphonse Bertillon usiloval o vyriešenie problému identifikácie usvedčených kriminálnikov. Problémom bolo, že kriminálnici pri zatknutí často uvádzali nepravé mená. Bertillon preto začal študovať telesné mechanizmy a merania potrebné na identifikáciu kriminálnikov. Uvedomil si, že určité znaky na každej osobe ostávajú rovnaké aj pri zmene váhy, pri ostrihaní vlasov, atď. a tak vytvoril metódu merania nemenných časti tela (napr.: veľkosť lebky, dĺžka prstov). Všetky záznamy boli ukladané na papierové karty. Systém prevzali viaceré policajné stanice po celej zemi. Väčšie mestá však mali s ukladaním na papierové karty problém, pretože ich mali príliš veľa a identifikácia kriminálnika zaberala veľa času. Ďalšou negatívnou stránkou systému bolo, že identifikované časti nepatrili medzi jedinečné časti. Neskôr bolo odhalené, že dvaja rôzni ľudia môžu zdieľať rovnaké merania, čo znamenalo koniec pre Bertillonovú metódu.

Vývoj pokračoval v rokoch 1960 až 1970, kedy bola vyvinutá procedúra biometrického podpisu. Armáda a bezpečnostné agentúry začali skúmať a vyvíjať identifikačnú biometrickú technológiu.

Postupne sa vyvinuli technológie, ktoré boli presnejšie a rýchlejšie ako v minulosti. Rozlišovanie jednotlivých biometrických znakov sa stávalo presnejšie a výkonnejšie a vývoj v tejto oblasti stále pokračuje.

Biometria umožňuje identifikovanie človeka s neznámou identitou na základe jeho neopakovateľných a nenapodobiteľných znakov a je schopná overiť, či je človek naozaj

identický s osobou, za ktorú sa vydáva.

I. TEORETICKÁ ČASŤ

1 BIOMETRICKÉ IDENTIFIKAČNÉ SYSTÉMY VŠEOBECNE

1.1 Všeobecný popis biometrického identifikačného systému

Biometrický identifikačný systém charakterizujeme ako automatizovaný systém, ktorý umožňuje nasnímať jednotlivé biometrické vzorky, čiže údaje reprezentujúce biometrickú vlastnosť užívateľa tak, ako bola nasnímaná.

Získané údaje systém spracuje a porovnáva s jednou, alebo viacerými referenčnými šablónami v systéme. Na základe tohoto porovnávania rozhodne, na koľko percent sa obidve vzorky zhodujú a indikuje totožnosť, alebo netotožnosť.

Tieto systémy vo všeobecnosti fungujú ako automatické systémy, ktoré merajú fyzické črty alebo správanie sa ľudí. Ich cieľom je rozlišovať medzi črtami a správaním sa osôb a okamžite požadovanú osobu identifikovať. Biometrické identifikačné a verifikačné systémy identifikujú alebo verifikujú priamo identitu človeka, nie predmety, kódy alebo heslá. Jednotlivé biometrické znaky je totiž možné „previesť“ do elektronickej podoby.

Systémy, ktoré využívajú biometrické overenie nepotrebujú žiadne vecné pomôcky, ako napr. kľúče, identifikačné karty a pod. Najväčšou výhodou biometrického overenia je neprenosnosť identifikačných znakov na inú osobu. Práve prenos identifikačných znakov je najzraniteľnejšie miesto všetkých ostatných používaných metód.

Biometrické technológie sa odlišujú na základe toho, čo a akým spôsobom snímajú, ale princíp ich fungovania je veľmi podobný. Pomocou snímacieho zariadenia, sú nasnímané identifikačné biometrické znaky. Pomocou presne stanovených algoritmov sa na základe nasnímaných autentických obrazov vyberú potrebné prvky, z ktorých sa vytvorí šablóna. Na jednotlivé biometrické procesy je využitá takto vzniknutá šablóna, ktorá je použitá na automatizované biometrické procesy, ako sú overenie alebo určenie totožnosti. Konkrétne ide o určenie stupňa pravdepodobnosti, že oddelene získané biometrické znaky určujú alebo neurčujú totožnosť požadovanej osoby. Dôležité je určenie stupňa, ktorý rozhoduje, či je prekročená stanovená medzná hodnota, alebo nie.

1.1.1 Základné funkcie biometrického systému

Biometrické systémy plnia 2 hlavné funkcie:

1. Identifikáciu - porovnávajú vstupnú vzorku s databázou a identifikujú zhodu z

množiny všetkých vzorov. Táto metóda sa používa v prípadoch, keď identifikovaná osoba systému vopred nie je známa.

2. Verifikáciu - slúži pre overenie identity systému vopred známej osoby. V tomto prípade je potrebné porovnať len vzory, teda vstupný vzor s uloženým vzorom pre identifikovanú osobu [4].

1.1.2 Komponenty biometrických identifikačných systémov

1. Snímacie zariadenie - slúži pre akvizíciu biometrických dát a pre ich konverziu do digitálnej podoby.
2. Algoritmy pre spracovanie signálu - spracovávajú vstupné dáta a generujú biometrický vzor.
3. Databáza - uchováva vzory, ktoré slúžia ako podklad pre autentifikáciu.
4. Algoritmy pre porovnávanie vzorov - vyhodnocujú porovnanie vstupného biometrického vzoru s uloženými vzormi v databáze.
5. Rozhodovací proces - slúži pre podporu konečného rozhodnutia o úspechu, alebo neúspechu autentifikácie. Tento proces môže byť automatizovaný alebo semi-automatizovaný [4].

1.2 Rozdelenie biometrických identifikačných systémov

Jedným z kritérií rozdelenia biometrických identifikačných systémov je delenie podľa toho, aký biometrický znak skúmajú. V závislosti od použitého biometrického znaku, každý systém pracuje na odlišnom princípe, pričom tieto princípy nie sú navzájom priveľmi odlišné.

1.2.1 Biometrické znaky

Biometrický znak je základný prvok, ktorý je skúmaný biometriou, na základe ktorého je vykonaná identifikácia (zist'ovanie totožnosti), verifikácia (overovanie, overenie, preskúmanie a potvrdenie pravosti, alebo správnosti) alebo autentizácia (overenie identity).

Každý druh biometrie je závislý vo väčšej, či menšej miere na príslušnom biometrickom znaku, ktorý je skúmaný.

Kvalita biometrických technológií sa odvíja od charakteristík jednotlivých biometrických znakov, ktoré sú definované nasledovnými dimenziami:

1. Univerzálnosť - biometrický znak musí byť prítomný v cieľovej populácii.
2. Unikátnosť - biometrický znak je unikátny, t.j. jedinečný pre každého jedinca.
3. Trvalosť - vyjadruje, do akej miery a ako dobre daný prvok odoláva stárnutiu.
4. Akvizícia – vyjadruje zložitosť získavania biometrických dát.
5. Presnosť, rýchlosť a robustnosť biometrických technológií.
6. Nahraditeľnosť – skúma, či je možné danú biometrickú metódu nahradiť inou [4].

1.2.1.1 Rozdelenie biometrických znakov

1. Základné rozdelenie biometrických znakov:
 - Univerzálny biometrický znak - prvok, ktorý existuje u všetkých ľudí.
 - Jedinečný biometrický znak - prvok, ktorý bezpečne a s úplnou istotou odlišuje jedného človeka od všetkých ostatných.
 - Stály biometrický znak – každý človek si v priebehu času tento biometrický prvok trvale uchováva.
2. Ďalšie rozdelenie biometrických znakov na základe toho, aký typ údajů obsahujú:
 - Stabilné údaje – ide o údaje založené na fyzických alebo fyziologických charakteristikách osôb, ktoré sú v priebehu života nemenné. Medzi stabilné údaje sa zaraďujú údaje o :
 - odtlačkoch prstov,
 - očnej dúhovke,
 - očnej sietnici,
 - ľudskej tvári,
 - markantoch hlavy,
 - tvare ucha,
 - pachu tela,

- hlase,
- DNA.
- Nestabilné údaje, alebo charakteristiky sú založené na rysoch chovania alebo správania sa osôb. Nestabilné údaje skúmajú postupy:
 - verifikácia vlastnoručného podpisu,
 - analýza chôdze,
 - analýza pohybov úst,
 - analýza stláčania tlačidiel [5].

2 VŠEOBECNÁ CHARAKTERISTIKA VYBRANÝCH BIOMETRICKÝCH IDENTIFIKAČNÝCH SYSTÉMOV

2.1 Biometrické systémy využívajúce odtlačok prsta

Biometrické systémy, ktoré pracujú s odtlačkami prsta vo svojej primárnej podstate využívajú prvky daktyloskopie. Daktyloskopia je kriminalistická disciplína, ktorá skúma obrazy papilárnych línií na vnútornej strane článkov prstov, prípadne dlaní alebo chodidiel. V našom prípade sa bude jednať len o skúmanie línií na vnútornej strane článkov prstov. Papilárne línie vytvárajú obrazce, podľa ktorých je možné stanoviť niekoľko vzorov. Takto vytvorené vzory slúžia na základné rozdelenie obrazcov. Odtlačky prstov sa vytvárajú vylučovaním potu z kanálikov papilárnych línií prstov rúk a spravidla bývajú bezfarebné.

Daktyloskopia je založená na vedeckých poznatkoch a jej identifikačný dôkaz je zakotvený v troch fyziologických princípoch:

- Individuálnosť znamená odlišnosť alebo neopakovateľnosť, pričom papilárne línie dvoch ľudí sú vždy odlišné (na svete neexistujú dvaja ľudia s rovnakými papilárnymi líniami vo všetkých podrobnostiach).
- Nemeniteľnosť spočíva v stálosti papilárnych línií, ktorých individuálne znaky ostávajú po celý život človeka nemenné. Počas života vznikajú len nepatrné rozdiely, ako sú napr.: veľkosť plochy, narušenie tvaru vráskami, jazvami, atď.
- Neodstrániteľnosť papilárnych línií znamená, že línie sú zachované v pôvodnom stave aj pri poškodení vrchnej časti kože. Zmena papilárnych línií a ich trvalé poškodenie môže nastať až pri poškodení zárodočnej (spodnej) časti kože.

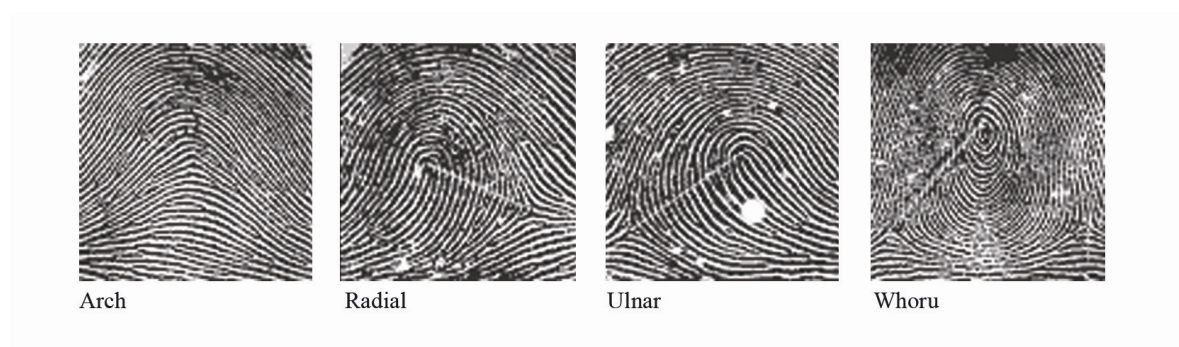
2.1.1 Daktyloskopické vzory

Pri klasifikácii jednotlivých odtlačkov prstov sa celosvetovo využívajú daktyloskopické vzory.

Medzi 4 základné daktyloskopické vzory patria:

- Arch – papilárne línie tvoria jednoduché oblúky,

- Radial – papilárne línie tvoria smyčku, ktorá vedie vľavo, vpravo od stredu smyčky sa nachádza delta a medzi deltou a stredom musí byť aspoň jedna počítateľná línia,
- Ulnar – papilárne línie tvoria smyčku, ktorá vedie vpravo, vľavo od stredu smyčky sa nachádza delta a medzi deltou a stredom musí byť aspoň jedna počítateľná línia,
- Whorl – línie tvoria kruhové, oválne, špirálové, dvojsmyčkové obrazce a obsahujú najmenej dve delty s jednou samostatnou počítateľnou líniou [6].



Obr. č. 1: Základné daktyloskopické vzory [6]

Určenie základného vzoru odtlačku prsta neumožňuje identifikáciu nositeľa odtlačku. K individuálnej identifikácii je potrebné určenie zhodnosti individuálnych znakov. Za individuálne znaky považujeme:

- Oko,
- Vidlicu,
- Protividlicu,
- Hák,
- Končiacu líniu,
- Začínajúcu líniu,
- Nedokončenú slučku,
- Vloženú líniu,
- Prerušovanú líniu,

- Ostrov a spojenú vidlicu [6].



Obr. č. 2: Individuálne znaky v poradí zľava: oko, vidlica, protividlica, hák, protihák, končiaca línia, začínajúca línia, nedokončená slučka, vložená línia, prerušovaná línia, ostrov a spojená vidlica [6]

Pre kriminalistickú identifikáciu je dôležité dosiahnuť 12 zhodných znakov k individuálnej zhode. Znaky sa však posudzujú vo vzťahu k vzájomnej polohe, nie individuálne.

2.1.2 Identifikácia využívajúca odtlačok prsta

Pre identifikáciu jednotlivca pomocou snímania odtlačku prsta existujú v podstate dve základné typy technológií:

1. Optická metóda,
2. Ostatné metódy využívajúce polovodičmi generované elektrické pole.

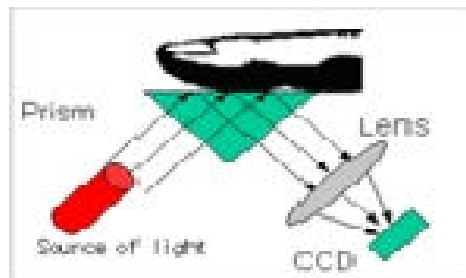
Okrem základných technológií existujú aj ďalšie spôsoby snímania odtlačku prsta, a to napr.: metódy porovnávania bodov minutiae, porovnávanie vzorov papíl, porovnávanie okrajov papíl, kapacitná metóda (meranie odtlačkov prsta je prevádzané pomocou lineárneho kapacitného senzora, meraná je kapacita jednotlivých častí odtlačkov) alebo metóda s použitím ultrazvuku (je použitý ultrazvuk na zistenie povrchu prsta) [7].

2.1.2.1 Optická metóda snímania odtlačku prsta

Podstatou optickej metódy je vizuálny obraz prsta. Štruktúra optickej metódy snímania odtlačku prstov je nasledovná : svetlo zo zdroja sa odráža od hranola a odrazené svetlo zachytí šošovka, ktorá pošle informáciu snímaciemu a archivovaciemu zariadeniu. Umiestenie a uhol šošovky musí byť zladený. Je potrebné použiť osobitné zariadenie, ktoré potvrdí, že sa prst dotkol snímača. Zariadenie spracuje odtlačok prsta pomocou ultrafialového lúča vysielaného snímačom a odolnosti ľudského tela voči nemu.

2.1.2.2 Metóda využívajúca polovodičmi generované elektrické pole

Štruktúra polovodičového senzora je veľmi jednoduchá (pozri obr.3). Senzor zosníma obraz odtlačku prsta ihneď po tom, ako sa dotkne povrchu senzora. Polovodiče sa rozdeľujú podľa kritérií, ako sú hodnota vyrovnania, tlak, snímanie tepla rôzneho druhu pomocou skupiny sensorov, kontaktný alebo kĺzavý spôsob kontaktu senzora s prstom. Snímanie odtlačkov prstov pomocou polovodičov je vyvinuté pre systémy založené na PC. Táto najnovšia technológia umožnila spraviť zo zariadení na snímanie odtlačkov prstov menšie a jednoduchšie zariadenia, a tak rozšíriť oblasť použitia tejto technológie. Taktiež masová produkcia polovodičov znížila výrobné náklady a ceny zariadenia.



Obr. č. 3: Snímanie odtlačkov pomocou polovodičov [7]

2.2 Biometrické systémy využívajúce tvár

Biometrické metódy, používané v posledných rokoch pri verifikačných a identifikačných procesoch, získali na trhu svoju stabilnú pozíciu. Jedna z metód, o ktorej sa v poslednom období diskutuje, je verifikácia tvárových biometrických znakov. Na trhu je mnoho zariadení, ktoré využívajú tzv. "tvárovú biometriu". Ide o rôzne jednoduché až veľmi kvalitné a pokročilé riešenia.

Tvárová biometrická metóda je predmetom mnohých výskumov. Problematika identifikácie osôb využívajúca rozpoznávanie tváre je veľmi obsiahla a v súčasnosti je jednou z najviac skúmaných metód.

Pri biometrickom rozpoznávaní tváre sa vyskytujú určité problémy, ktoré znepresňujú rozpoznávanie biometrických znakov na tvári. Ide o:

1. polohu hlavy (a tváre),
2. osvetlenie,

3. výraz tváre,
4. starnutie.

V súčasnej dobe je známych niekoľko techník rozpoznávania tváre. Medzi najviac používané patria:

1. Metóda merania geometrických vlastností.
2. Metóda porovnávania obrazov.
3. Metóda využívajúca neurónové siete (patrí medzi najnovšie metódy).

Ostatné techniky, ktoré sa používajú na rozpoznávanie tváre, sa rozdeľujú podľa toho, aký typ obrazu je nasnímaný. Patrí sem:

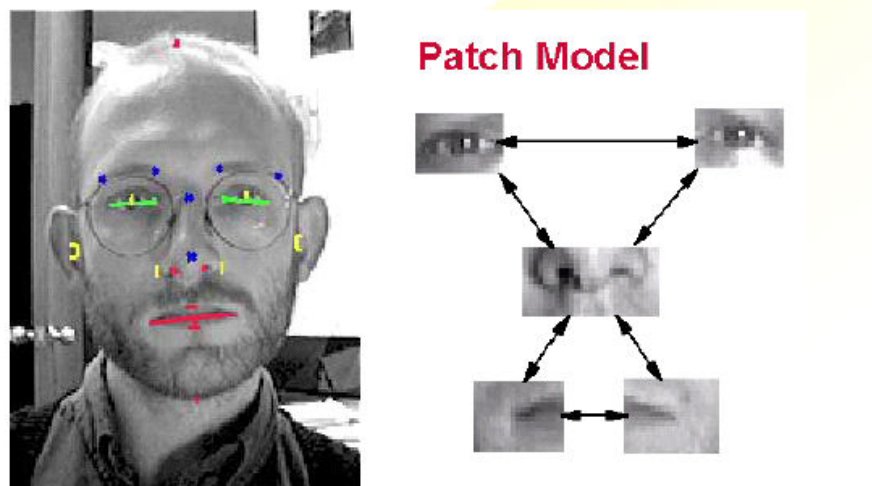
1. 2D verifikácia tváre.
2. 3D verifikácia tváre.

2.2.1 Metóda porovnávania obrazov

Metóda je založená na porovnaní obrazu získaného kamerou s obrazom, ktorý je uložený v centrálnej databáze. K jednoznačnej identifikácii slúži väčšinou tvar tváre a poloha opticky významných miest na tvári, ako sú:

- oči,
- nos,
- ústa,
- obočie.

Porovnávanie prebieha na základe vzdialeností medzi jednotlivými bodmi (viz obr. 4).



Obr. č. 4: Verifikácia tváre pomocou metódy porovnávania obrazov (model rozpoznávania Patch model) [8]

Obraz v počítači môže byť uložený ako matica jasových úrovní, častejšie je diskriminovaný funkciou, ktorá znižuje redundanciu údajov. Neuchováva sa teda presná poloha očí, nosa a úst, ale ukladá sa len vzdialenosť očí, vzdialenosť úst od nosu, uhol medzi špičkou nosu a jedným okom, atď.

Atraktivnosť rozpoznávania tváre je z hľadiska praktickej aplikácie pochopiteľná. Avšak doposiaľ tvárové rozpoznávacie systémy nemali v reálnych praktických aplikáciách veľký úspech [8].

2.2.2 Metóda využívajúca neurónové siete

Modernú a novú alternatívnu metódu kontroly identity osôb predstavuje identifikačná metóda, ktorej princípom je použitie neurónových sietí.

Jadrom systému je neurónová sieť. Táto sieť rozhoduje, či vstupný normalizovaný obraz zodpovedá ľudskej tvári, alebo nie.

Neurónové siete sú robustné a vysokovýkonné algoritmy, ktoré napodobňujú činnosť mozgu živých tvorov a sú aj podobným spôsobom "učiteľné". Tým sa výrazne zvyšuje kvalita a presnosť požadovanej funkcie a je zaistená vysoká spoľahlivosť verifikácie:

1. Pravdepodobnosť chybného zamietnutia (FRR): <1%.
2. Pravdepodobnosť chybnjej akceptácie (FAR): 0,1%.

3. Čas verifikácie: 3 sekundy.

Pri verifikácií tváre musia byť splnené nasledujúce kritéria:

- rozmer obrázku 20x20 bodov,
- tvár by mala byť bez akéhokoľvek natočenia,
- umiestnenie nosu približne v strede obrazu,
- normalizované osvetlenie a kontrast,
- odstránenie zvyškov pozadia v rohoch obrázku.

Popisovaný systém používa počítačom riadené rozpoznávanie tváre k verifikácii jemu známych osôb, aby im umožnil prístup do kontrolovaného priestoru. K tomu je potrebné vytvoriť "zápis" do systému a danej osobe tak priradiť oprávnenie k vstupu. Odobratím snímku v kontrolnom mieste a jeho vyhodnotením sú získané dáta, ktoré popisujú biometrické markanty tváre danej osoby. Nasnímané dáta sú pri kontrole vstupu porovnávané s dátami uloženými v databáze systému.

Systém umožňuje verifikáciu osôb aj pri rôznej veľkosti alebo pozícii tváre v zornom poli kamery, nezávisle na mimike a pod.

Ide o novú metódu verifikácie, ktorá zabezpečí "dorovnávanie" nedostatkov vzniknutých v priebehu vytvorenia snímku pri kontrole totožnosti. Taktiež možné odcudzenie karty, resp. vynútenie osobného kódu, neznamená žiadne nebezpečie, lebo údaje zodpovedajúce oprávnenej osobe sa pri kontrole nezhodujú s tými, ktoré systém zistí z tváre neoprávnenej osoby.

Ergonómia systému zaručuje bezpečnú a pohodlnú verifikáciu pre osoby rozdielneho vzrastu.

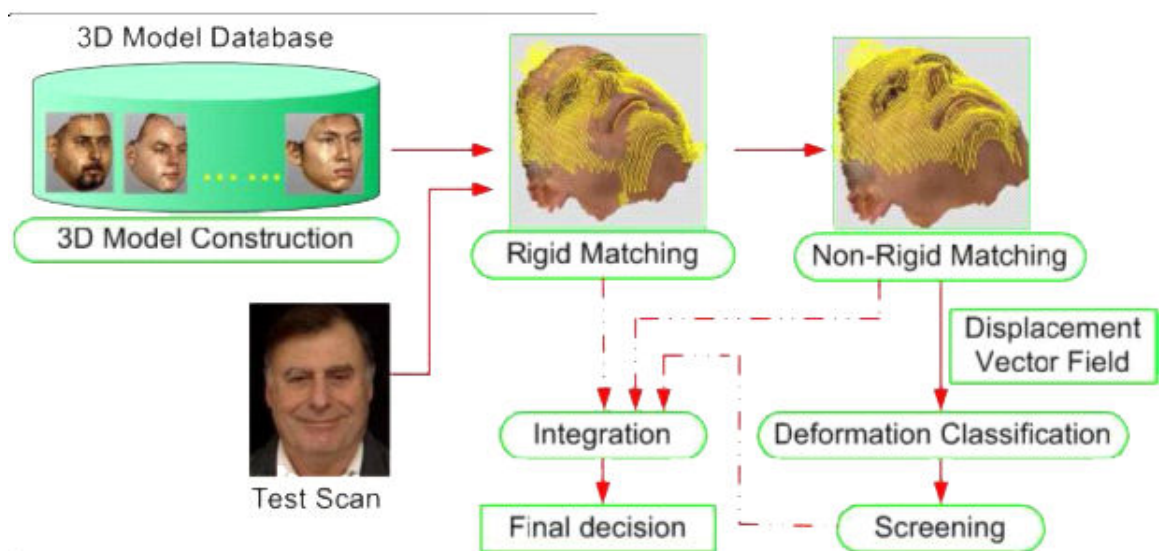
Táto metóda umožňuje vytvorenie obrazových protokolov, ktoré je možné na servere pohodlne prehliadať. Pri neoprávnených pokusoch je možné identitu neoprávnených osôb veľmi ľahko zistiť na základe uložených snímok. Ide o celkom novú kvalitu systému oproti bežným biometrickým metódam [9].

2.2.3 3D verifikácia tváre

Proces rozpoznávania 3D tvárí:

1. Získanie 3D modelov.
2. Rozpoznanie a odstránenie rigid deformácií.
3. Vytvorenie modelu nonrigid deformácií.
4. Vyhodnotenie výsledkov a konečné rozhodnutie.

Proces rozpoznávania tvárí v 3D je zobrazený na nasledujúcom obrázku:



Obr. č. 5: Postup 3D verifikácie tváre [10]

Rozdelenie deformácií:

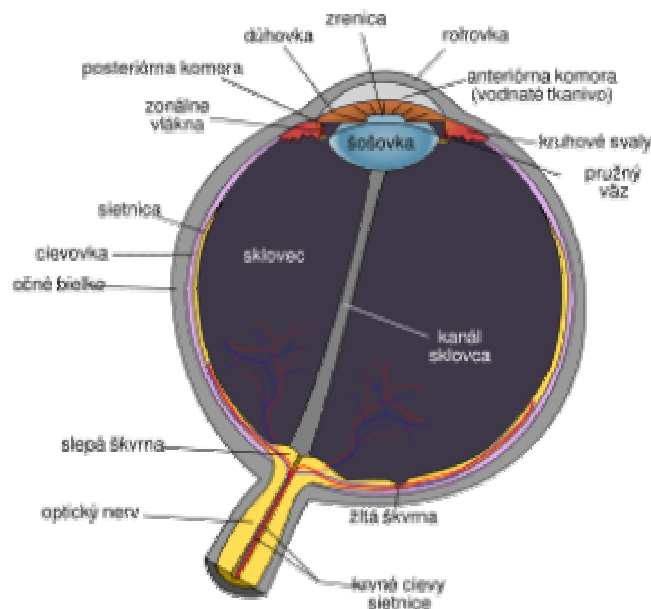
1. Rigid deformáciu tváre spôsobujú zmeny polohy tváre, ktoré sú spôsobené zmenou polohy hlavy.
2. Non-rigid deformácie sú spôsobené ostatnými zmenami, ako sú napr.: výraz tváre alebo zmeny spôsobené stárnutím. [10]

2.3 Biometrické systémy využívajúce očnú dúhovku

Dúhovka je predný úsek strednej vrstvy očnej gule, ktorá má tvar kruhovitého terčika. Jej

štruktúra je nehomogénna a zapríčiňuje, že na prednej strane vznikajú dva prstence. Histologicky sa skladá zo šiestich vrstiev, pričom jej najdôležitejšie vrstvy sú vrstvy svalová a pigmentová. Ďalej sa skladá z dvoch svalov a zväzku elastických vlákien, ktoré vytvárajú špecifické a unikátne vzorce ešte pred narodením človeka. V svalovej vrstve sa nachádza zvieráč a rozširovač zrenice. Farba dúhovky je závislá od množstva a hĺbky uloženia pigmentu.

Úlohou dúhovky je kontrola množstva svetla vstupujúceho do zreničky. Každá dúhovka je unikátna a nemení sa ani rokmi. Dúhovka každého jednotlivca má podobné špecifické individuálne rysy ako DNA.



Obr. č. 6: Anatómia oka [11]

Očná dúhovka sa osvedčuje ako spoľahlivá forma identifikácie osôb. Táto metóda je dokonca považovaná za spoľahlivejšiu, ako metóda, ktorá využíva odtlačky prstov.

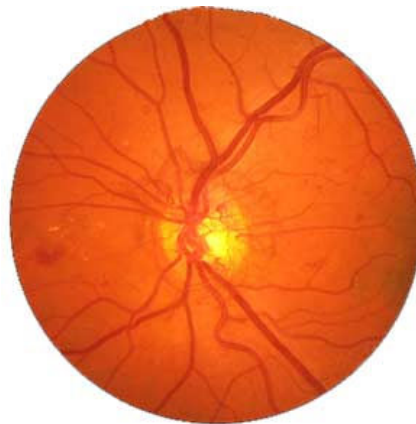
K zobrazeniu dúhovky sa používajú infračervené lúče, ktoré vytvoria digitálny kód, ktorý charakterizuje usporiadanie vlákien. Snímaná osoba môže byť od snímacieho zariadenia vzdialená až 1 meter. Skenovanie dúhovky je založené na pohybe zreničky, ktorá v dúhovke neustále pulzuje a chveje sa [11].

Technológia rozpoznávania oka kombinuje počítačovú techniku, rozpoznávanie obrazov, optiku a statické závery. Účelom je reálny čas, vysoká dôvera rozpoznania identity matematickou analýzou vzorov, ktoré sú viditeľné vnútri oka.

Začiatok procesu je založený na obrazovej akvizícii, čiže nasnímaní obrazov. Jedná sa o pasívny proces dosiahnutý používaním CCD videokamier. Obraz je potom spracovaný a zakódovaný do kódového záznamu (512 bajtov), ktorý je uložený v databáze a neskôr je využitý na identifikáciu.

2.4 Biometrické systémy využívajúce očnú sietnicu

Sietnica sa nachádza na vnútornej strane oka. Vo všeobecnosti môžeme povedať, že je to vlastne svetlocitlivý film. Sú v nej uložené receptory, ktoré reagujú na svetelné podnety. Sietnica sa skladá z niekoľkých bunkových vrstiev, z ktorých najdôležitejšiu vrstvu tvoria tyčinky a čapíky, čo sú receptory umožňujúce vnímať svetlo a farby.



Obr. č. 7: Ľudská sietnica [12]

Metóda snímania očnej sietnice je omnoho zložitejšia, ako metóda snímania očnej dúhovky. V tomto prípade je nutné použiť zložitejšie technické vybavenie. Na snímanie sietnice sa používa laser, ktorý je namierený priamo do oka.

Snímanie sietnice vyžaduje, aby osoba, ktorá je snímaná, si z okolia očí v prípade potreby odstránila okuliare, alebo iné predmety. Zvolená osoba si umiestni oko blízko snímacieho zariadenia, kde upriami pozornosť na zvolený bod. Takto je nutné zotrvať približne 10-15

sekúnd, zatiaľ čo je snímanie dokončené. Svetelný zdroj osvetlí krvné cesty na tenkom nerve v zadnej strane očnej gule, ktorá spracováva svetlo na sietnici. Krvné cesty sú vyfotografované a analyzované. Vzniknutá šablóna má len 96 bajtov, čo je najmenej zo všetkých biometrických technológií. Vzhľadom k tomu, že sietnica sa nachádza vnútri oka, je jej skenovanie veľmi obtiažne. Preto môže nastať mnoho nezrovnalostí vplyvom chybného skenovania. Sietnicové pigmenty sú vysoko charakteristické rysy, ktoré sú absolútne jedinečné. Túto metódu v dnešnej dobe nie je možné oklamať, pretože neexistuje nič, čo by napodobnilo ľudskú sietnicu.

2.5 Biometrické systémy využívajúce hlas

Ľudský hlas je zvukový prejav vytvorený hlasovými orgánmi, čiže hlasivkami. Prúd vzduchu z pľúc rozochvieva zovreté hlasivky, čím vznikajú zvuky s rôznymi kmitočtami. Napnutím hlasiviek vzniká aj nelineárne skreslenie, ktoré sa spolupodieľa na farbe hlasu.

Rozpoznávanie hlasu definujeme ako schopnosť zariadenia, alebo programu, prijať a interpretovať diktát, alebo porozumieť a uskutočniť požadované príkazy.

Najbežnejšie postupy, ktoré vykonávajú rozpoznávanie reči, môžu byť rozdelené do dvoch skupín:

1. Porovnávanie pomocou šablóny.
2. Analýza úsekov [13].

2.5.1 Porovnávanie pomocou šablóny

Rozpoznávanie hlasu pomocou metódy porovnávania šablónou patrí medzi najjednoduchšie. V prípade, že je táto technika vykonávaná podľa všetkých pravidiel, patrí medzi najpresnejšie, aj keď obsahuje množstvo obmedzení. Presnosť správneho rozpoznávania môže dosiahnuť až 98 %. Prvým krokom je nahovorenie slova alebo frázy do mikrofónu. Elektrický signál z mikrofónu je digitalizovaný a následne uložený v pamäti. Určuje sa, či sa hlasový vstup zhoduje so šablónou alebo vzorom, ktorý bol nahovorený ako vzor. Program obsahuje šablónu, ktorá je porovnávaná s aktuálnym vstupom použitím jednoduchého príkazu.

Hlas každého človeka je odlišný, preto program nemôže obsahovať šablónu pre každého človeka. Hlas každého potencionálneho používateľa musí byť na začiatku zaznamenaný

ako nový možný hlasový vstup. Nahrávanie nového hlasu spočíva v zobrazení slova alebo fráze, ktorá je niekoľkokrát nahovorená do mikrofónu. Program vypočíta priemer všetkých nahovorených vzorov rovnakého slova. Takto vzniknutý priemerný vzor je uložený ako šablóna. Rozpoznávanie hlasu je však obmedzené len na slová, ktoré boli pôvodne nahovorené a len na ľudí, ktorých hlasy boli v databáze uložené. Systém môže obsahovať niekoľko stoviek slov alebo krátkych fráz.

2.5.2 Analýza úsekov

Táto metóda nevyužíva porovnávanie vstupu s vopred nahovoreným vzorom. Analýza úsekov využíva spracovanie hlasového vstupu použitím Fourierovej transformácie, alebo lineárneho kódovania. Systém sa pokúša nájsť charakteristické podoby medzi očakávanými vstupmi a aktuálnym digitalizovaným hlasovým vstupom. Do systému teda nemusí každý nový používateľ nahovoriť nové vzory.

Rozpoznávanie hlasu je veľmi zložitá z dôvodu rôznorodosti akcentov, skloňovania, atď. Presnosť rozpoznávania je o niečo menšia, než u systémov využívajúcich metódu porovnávania šablónou. Obvykle sa jedná o 90 – 95 % úspešnosť. Presnosť rozhodovania je závislá aj na tom, či sa jedná o diskkrétne slová, spojené slová alebo o nepretržitú reč. Najzložitejšie je rozpoznávanie hlasu pri nepretržitej reči.

Charakteristickým znakom súčasných systémov pre overovanie hlasu je, že overenie môže byť za určitých okolností (nachladnutie, šum okolia, atď.) omnoho komplikovanejšie, ako u iných biometrických techník, čo vedie k názoru, že verifikácia hlasu je v niektorých prípadoch pre užívateľov menej prijateľná. Avšak vzhľadom na význam tejto techniky, predpokladáme jej rozvoj v budúcnosti.

Biometrické systémy, ktoré využívajú na identifikáciu hlas, sú omnoho technicky zložitejšie ako iné systémy, ktoré na identifikáciu využívajú napr. odtlačok prsta alebo tvár [13].

3 MATEMATICKÉ POSTUPY POUŽÍVANÉ VYBRANÝMI BIOMETRICKÝMI IDENTIFIKAČNÝMI SYSTÉMAMI

Na komerčnom trhu existuje veľké množstvo biometrických systémov. Odlišujú sa podľa toho, aký typ biometrického znaku používajú na identifikáciu, a preto existuje aj mnoho odlišných matematických postupov používaných jednotlivými systémami. Navyše, aj pre biometrické systémy využívajúce jeden znak existuje viac metód, ktoré môžu byť pri identifikácii použité. V ďalšom sa zameriame na vybrané biometrické systémy, a to systémy využívajúce odtlačok prsta a systémy využívajúce na identifikáciu tvár.

3.1 Biometrické systémy využívajúce pre identifikáciu odtlačok prsta

Jednou z metód, ktoré využívajú biometrické systémy využívajúce na identifikáciu odtlačok prsta je metóda skúmania detailov na jednotlivých odtlačkoch. Táto základná metóda využíva viac technológií, medzi ktoré patrí aj porovnávacia metóda.

3.1.1 Porovnávacia metóda

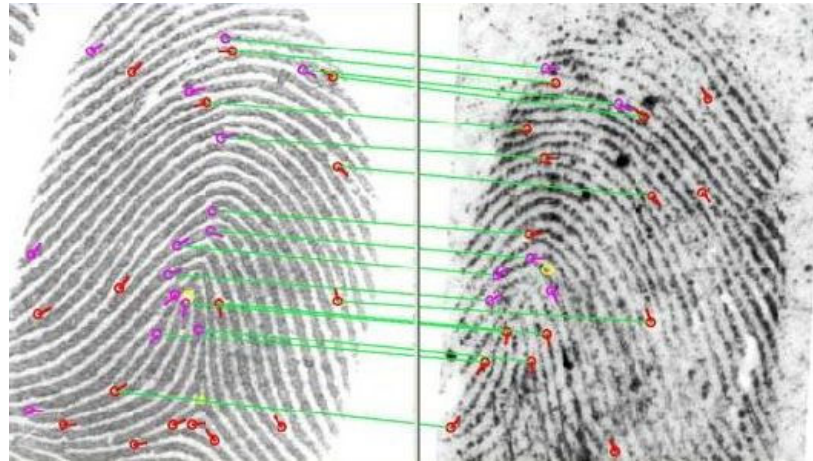
Princíp porovnávacej metódy spočíva v zautomatizovanom porovnávaní dvoch obrazov, ktoré pochádzajú z rovnakého prsta.

Porovnávacia metóda využíva viac dostupných algoritmov, medzi ktoré patrí napr.:

1. Priama (optická) korelácia (korelácia predstavuje vzájomný vzťah medzi premenlivými znakmi alebo vlastnosťami dvoch, alebo viacerých javov, t.j. súvzťažnosť), ktorá však nie je vhodná pre veľké databázy, preto v praxi nebýva často využívaná.
2. Využitie hlavného tvaru odtlačku prsta, všeobecne sa používa na prvotný proces, čím sa redukuje hľadanie vo veľkej databáze. Využitie sú hlavné smery liniek odtlačku prsta, prítomnosť jadra a delty.
3. Algoritmy využívajúce detaily a zvolené body (napr. ukončenia, rozvetvenia). Pre ďalšie porovnanie sú v popise uložené len smer a pozície týchto rysov.
4. Algoritmy, ktoré počítajú počet vrcholov medzi jednotlivými bodmi (detailami). Počítanie je vykonávané z pozície, nie zo vzdialenosti.
5. Vzory odpovedajúce algoritmom, ktoré používajú hlavný tvar vrcholov. Odtlačok

prsta je rozdelený do malých sektorov a smer vrcholov, fáza sú vytiahnuté a uložené.

Porovnávacia metóda veľmi často využíva kombinácie predchádzajúcich algoritmov [14]



Obr. č. 8: Porovnanie odtlačku prsta z desiatich vzorov so skrytým odtlačkom prstu využitím detailov [14]

3.1.2 Metóda skúmajúca detaily odtlačku prsta s využitím akustickej holografie

Holografia je bezšošovkový spôsob tvorby priestorového obrazu predmetu, založený na jeho zachytení pomocou oporného koherentného žiarenia a vln odrazených od predmetu. Odtlačky prstov získané pomocou akustickej holografie nie sú veľmi odlišné od odtlačkov získaných inými metódami (optickými, kapacitnými, atď.). Vzniknutý odtlačok je dokument, ktorý môže byť popísaný pomocou Fourierovej transformácie, alebo pomocou odpovede z impulzov. Fourierovu transformáciu považujeme za vyjadrenie časovo závislého signálu pomocou harmonického signálu (funkcií \sin a \cos). Všeobecne slúži na prevod signálu z časovej oblasti do oblasti frekvenčnej. Štruktúra takéhoto dokumentu má podobnosť s identifikovaním, pretože boli použité vlny s dĺžkou príslušných vzdialeností medzi vrcholmi odtlačku prsta.

Existuje algoritmus, ktorý dovoľuje popis odtlačku prsta s použitím malého počtu parametrov, kedy sú z obrázkov získané ultrazvukové údaje. Odtlačok prsta môže byť videný ako vlnový model (sínusoidálna periodická štruktúra na povrchu), ktorý je popísaný použitím nasledujúcej funkcie:

$$F(x, y) = \cos(j(x, y)),$$

kde funkcia $j(x, y)$ popisuje fázu „vlnovej štruktúry“, ktorá je nemenná vo forme odtlačku prsta. Táto fáza má 2 časti:

1. Pomalá zmena častí, ktorá popisuje tvar vrcholov ($j_g(x, y)$).
2. Rýchla zmena častí, ktorá spôsobuje vznik detailov ($j_o(x, y)$).

Matematická formulácia fázy „vlnovej štruktúry“, zložená z obidvoch častí:

$$j(x, y) = j_g(x, y) + j_o(x, y).$$

Odtlačok prsta je lokálne interpretovaný ako druh mriežky, skonštruovaný z rovnobežných priamok. Prvá časť funkcie môže byť preto považovaná za informáciu o smere mriežky a jej hustote. Popisuje tvar, ktorý je podobný tvarom nájdeným v odtlačkoch prstov.

Popis druhej časti funkcie odtlačku prsta je omnoho zaujímavejšia. Definujeme preto ďalšiu funkciu $Y^q_{x_2z}(x_1, y)$. Každý bod (x, y) predstavuje hodnotu pozície uhlu vo vzťahu ku špeciálne vybraným stredným bodom (x, z) . Pre každé x a y , funkcia $Y^q_{x_2z}(x_1, y)$ musí byť monotónna, mení sa od 0 do 2π (2π) okolo bodu (x, z) , má charakteristický skok od 0 do 2π pre vybraný uhol q . Popisujeme ďalšiu funkciu, ktorá obsahuje všetky predchádzajúce argumenty:

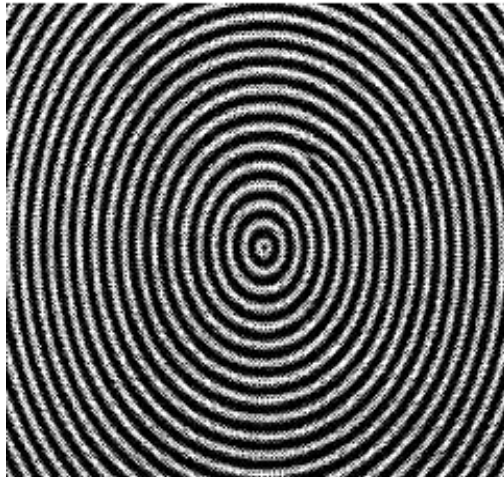
$$Y^q_{x_2z}(x_1, y) = \arctg\left(\frac{x_1 - x_2}{y - z}\right).$$

Ak je táto funkcia implementovaná na funkcii, ktorá popisuje prst, spôsobí v bode (x, z) fázový posun. Vzniknutý fázový posun bude pozorovaný ako detail. Môžu byť pozorované dva druhy detailov, závislých na znaku (odčítanie alebo sčítanie) druhej časti vo vzorci $j(x, y) = j_g(x, y) + j_o(x, y)$. Detaily môžu byť definované aj pomocou uhlu q (použité vo vzorci 3). V nasledujúcom obrázku č.10 je základná štruktúra stavebnou formou sústredených kruhov a detaily sú spôsobené súborom $(x, z) = (30, 20)$.

Ak jednoduchá predchádzajúca funkcia 3 bude nahradená sumou týchto funkcií:

$$j_o(x, y) = \sum_{k=1}^N S_k Y_k(x, y), \text{ kde } S_k = \text{signum}(Y_k),$$

bude možné popisovať štruktúru, ktorá obsahuje veľa detailov. Ak je základná funkcia, ktorá vznikla z prstu dobre popísaná, vzorec dovoľuje implementovať všetky známe detaily v požadovanom mieste.



Obr. č. 9: Z obrázku je viditeľné, koľko bodov pracuje na jednoduchej štruktúre oblúku [15]

Ak jednoduchá funkcia 3 bude nahradená sumou takýchto funkcií:

$$\varphi_0(x, y) = \sum_{k=1}^N S_k \Psi_k(x, y), \text{ kde } S_k = \textit{signum}(\Psi_k),$$

bude možné popísať štruktúru, ktorá obsahuje mnoho detailov. Ak je základná funkcia, ktorá vznikla z prsta dobre popísaná, vzorec taktiež dovoľuje implementovať všetky známe detaily v požadovanom mieste.



Obr. č. 10: Z obrázku je viditeľné, koľko bodov pracuje na jednoduchej štruktúre oblúku [15]

Metódu skúmajúcu odtlačky prsta s využitím akustickej holografie vyvinula poľská firma Optel. Použitý software využíva popis detailov v rôznom smere, tzn. z odtlačku prsta vedú údaje do sady informácií, ktoré sú popisované vzorovým odtlačkom prsta. Výhodou je, že software môže pracovať s relatívne zlými odtlačkami prstov [15].

3.2 Biometrické systémy využívajúce na identifikáciu tvár

Biometrické systémy využívajú na rozpoznávanie tváre veľa rozmanitých techník, napr.:

1. PCA - Metóda odvodená z Karhunen-Loeveovej transformácie (transformácia reprezentujúca náhodný proces ako nekonečnú lineárnu kombináciu z ortogonálnej funkcie). Daný je s -rozmerný vektor, ktorý popisuje tvár. Analýza hlavného komponentu hľadá t -rozmerný podpriestor, ktorého základné vektory odpovedajú maximálnemu smeru zmeny v originálnom obrazovom priestore.
2. ICA – Metóda nezávislej analýzy komponentov. Minimalizuje závislosť vstupných údajov. Hľadaný je základ, ktorý je štatisticky nezávislý. Táto metóda zahŕňa dve fáze rozpoznávania tváre. Prvá fáza zahŕňa hľadanie štatisticky nezávislých základných obrazov, druhou fázou je kódová reprezentácia faktoriálu.
3. LDA – Lineárna diskriminantná analýza. Hľadané sú vektory v priestore, ktoré najlepšie rozlišujú medzi triedami.
4. Jadrová metóda – Základom tejto teórie je fakt, že kópia tváre v podpriestore

nemusi byť lineárna. Jadrová metóda je zovšeobecnením lineárnych metód. Kvôli nelineárnej kópii sú skúmané nelineárne mnohonásobné schémy.

5. Morphableov 3D model – Využíva 3D model ľudskej tváre, čo je skutočný obraz. Tieto modely by mali byť lepšie pre predstavu. 3D model tváre má zakódovaný tvar a štruktúru v rámci parametrov modelu a algoritmus, ktorý obnovuje tieto parametre z jednotlivých obrazov tváre.
6. 3D rozpoznávanie tváre – Novinkou v 3D rozpoznávaní tváre je schopnosť, aby bol porovnávaný povrch nezávislý na prírodných znetvorených, vyplývajúcich z výrazu tváre. V prvom rade je získaný rozsahový obraz a štruktúra tváre. Rozsahový obraz je následne prepracovaný odstránením určitých častí (vlasy), ktoré môžu komplikovať rozpoznávací proces. Nakoniec je vypočítaná kanonická štruktúra tvárového povrchu. Zjednodušený rozpoznávací proces vníma viac výrazov tváre. Samotné rozpoznávanie je vykonané na kanonických povrchoch.
7. Metóda využívajúca invariantnú algebru – Základ tvorí študovanie polynómov, ktoré zostávajú nezmenené aj po zmene premennej [21].

3.2.1 3D rozpoznávanie tváre

Rozpoznávanie tváre pomocou 3D obrázkov prináša okrem iného so sebou mnoho problémov, ako sú napr. veľká premenlivosť hlavnej pózy, intenzita a smer svetla, výraz tváre a starnutie. Korelácia je malá hlavne medzi dvoma obrázkami tej istej osoby s odlišným otočením hlavy.

Stále viac sú však zlepšované 2D rozpoznávacie algoritmy, ktoré vytvárajú takmer perfektné obrazy. 3D model však má viac povrchových informácií z tváre, čo je využité pre lepšie rozpoznávanie. Všeobecne 3D rozpoznávanie tvorí invarianty. Nevýhoda spočíva v tom, že ide o metódu, ktorá pracuje s ľudskou tvárou ako stabilným objektom, pričom metódy rozpoznávajúce tvár nie sú schopné manipulácie s výrazmi tváre.

Existuje mnoho rozmanitých metód rozpoznávania tváre pomocou 3D obrazov. Jedna z metód využíva 2D obrazy na predspracovanie. Pre generovanie syntetických čelných obrazov používa hĺbkovú mapu. Na syntetické obrazy je namiesto originálnych obrazov aplikovaná lineárna diskriminantná analýza. Diskriminantná analýza je metóda, ktorú môžeme nazvať aj klasifikačnou metódou, pretože určuje dôležitosť faktorov a ich

patričnosť k určitej kategórii. Ak boli použité syntetické obrazy pre kódovanie namiesto originálnych obrazov, rozpoznávací pomer bol zvýšený o 4%. Pre prvé vytvorenie 3D modelu bolo navrhnuté použitie jedného neutrálneho čelného obrazu, z ktorého boli vytvorené syntetické obrazy s rôznymi pózami, osvetlením a výrazmi. Rozpoznávací pomer sa tak zvýšil v priemere o 10% pre polovičné profily obrazov [16].

3.2.2 3D rozpoznávanie tváre využívajúce deformovaný tvárový model

Hlavnou myšlienkou tejto metódy je anotovať tvárové údaje použitím deformovaného tvárového modelu. Deformovaný model zachytáva jednotlivé tvárové detaily a predstavuje 3D geometrickú informáciu v 2D štruktúre, ktorá využíva modelovú parametrizáciu. Táto štruktúra je analyzovaná ako vlna. Údaje definujú spektrálne koeficienty, ktoré sú používané pre porovnanie rôznych subjektov. Geometrické modelovanie ľudskej tváre zabezpečuje väčšiu flexibilitu, lepšie porozumenie problémom tvárového rozpoznávania a vyžaduje minimum pri porovnaní so statickým modelovým prístupom.

Táto metóda môže byť rozdelená do dvoch fáz, a to:

1. zápis,
2. autentifikácia.

Pri zápise sú údaje prevedené na metaúdaje (priestorové údaje) a uložené v databáze nasledujúcim spôsobom:

Akvízia – Získané sú prvotné údaje zo senzora, prevedené sú pomocou senzora závislého predspracovania na 3D polygonálnu predstavu.

Zarovnanie – Údaje sú spracované pomocou schémy, ktorá kombinuje tri rôzne druhy algoritmov zarovnaní, usporiadané do jednotlivého súradnicového systému.

Deformabilný skúšobný model – Poznámkový tvárový model hodiaci sa k dátumu.

Geometrická analýza obrazu – Z vhodného modelu je odvodený geometrický a normálny mapový obraz a analýza vlny je aplikovaná na vyňatie sady redukovaných koeficientov ako metaúdajov.

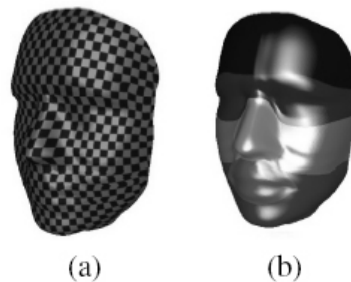
Pri autentifikácii sú metaúdaje získané z databázy a priamo porovnávané využitím diaľkových metrík.

Predspracovanie údajov – Zmyslom predspracovania je minimalizácia dopadu kvality

vstupných údajov. Predspracovanie je zložené z filtrov.

Podschéma – Využitím metódy necitlivej k rozhodujúcim údajom vhodný deformovaný model efektívne prevzorkuje údaje.

Anotovaný model tváre – Je nutné, aby anotovaný model tváre bol skonštruovaný len raz, a to použitím konvenčnej techniky modelovacej grafiky. Tento model je použitý na zarovnanie, je deformovaný vo vhodnom stupni a jeho vlastnosti dovoľujú vytvorenie metaúdajov, je antropometricky správny. Používané informácie z tvárovej fyziológie sú anotované do rôznych oblastí. Na obrázku 11(a) je každá oblasť označená iným odtieňom. Nakoniec bola použitá súvislá globálna dvojrozmerná parametrizácia na modeli, čo je znázornené na obr. 11(b).



Obr. č. 11: (a) parametrizácia anotovaného modelu tváre, (b) anotované tvárové oblasti [17]

Zobrazenie vlastností špecifickej parametrizácie dovoľuje mapovať všetky vrcholy modelového povrchu z R^3 do R^2 a naopak. Preto môžeme definovať modely v R^3 ako polygonálne údaje (geometricky polygón charakterizujeme ako mnohouholník) a v R^2 ako geometrické obrazy. Geometrický obraz je pravidelne vzorkovaný 2D obraz, ktorý má tri kanále. Od susednej informácie je udržaný v geometrickom obrázku. Je možný prechod späť do polygonálneho popisu tým, že každý prvok (pixel) môže tvoriť trojuholník v R^3 so susednými elementami.

Zarovnanie – Kľúčová časť geometrického prístupu. Je to mnohostupňová metóda, ktorá dovoľuje robustné a presné zarovnanie, a to aj s výrazmi tváre. Zarovnanie vypočíta prísnu transformáciu, ktorá zahrňuje rotáciu a preklad. Mnohostupňová zarovnávací metóda sa

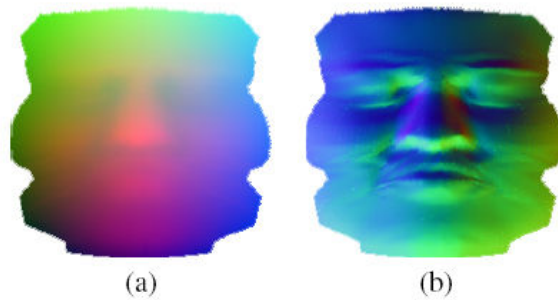
skladá z troch algoritmickejch krokov. Každý krok používa ako vstup predchádzajúci výstup. Začínajúce kroky ponúkajú väčšiu pružnosť lokálnych miním, zatiaľ čo pokračujúce kroky ponúkajú väčšiu pružnosť zarovnania. Účelom prvého kroku je vytvorenie hodnovernej počiatočnej zhody medzi modelom a údajmi, s využitím obrazového algoritmu rotácie. Odvodený ICP algoritmus zarovnáva hlavný krok. Modelovú poznámku určíme pomocou lokálnej váhy a vypočítame riešenie pre prísnu transformáciu. V ICP metrike nie je popísaná žiadna zbytková chyba. Ďalší krok zaistuje, že model a údaje sú správne usporiadané. Použitá je globálna technika optimalizácie.

Vhodný deformovaný model – Tento model využíva konštrukciu anotovaného tvárového modelu. Analytická formulácia je:

$$M_q \frac{d^2 q}{dt^2} + D_q \frac{Dq}{dt} + K_q q = f_q,$$

kde M_q je celková matica, D_q je tlmiaca matica (ovláda rýchlosť a zrýchlenie vrcholov), K_q je matica ovládateľnosti (ovláda rezistenciu k deformáciám) a f_q sú vonkajšie sily (riadia deformáciu). Rovnosť je vyriešená opakovaným použitím metódy priblíženia konečných prvkov. Vzniknuté povrchy majú zvýšenú flexibilitu a výpočtovú efektívnosť. Bol vybudovaný povrch založený na anotovanom modeli tváre použitím Loopovej schémy. Analytická formulácia zostáva nezmenená, ale implementácia metódy konečných prvkov je integrovaná do povrchového počítania. Preto je dovolené riešiť rovnosť v špecifickom rozhodnutí (obmedziť povrch) a súčasne využiť vypočítané sily v nízkom rozhodovacom modeli. Pre anotovaný model tváre s n vrcholmi a m trojuholníkmi máme $3n$ stupňov voľnosti v kontrolnom zábere a $4^l m$ konečných prvkov, kde l je úroveň limitného povrchu. Polygonálne údaje individuálneho tvárového aktu sú brané ako znaky pre vrcholy oddeleného povrchu, pričom vznikne deformácia.

Geometrická obrazová analýza – Deformovaný model, ktorý je zároveň výstupom z vhodného procesu je prevedený na geometrický obraz, ako je na obrázku 12(a). Geometrický obraz pravidelne vzorkuje povrch deformovaného modelu a kóduje túto informáciu do 2D mriežky. Z geometrického obrazu je skonštruovaný normálne mapovaný obrázok, ako je na obrázku 12(b).



Obr. č. 12: (a) geometrický obraz, (b) normálny mapový obraz subjektu [17]

Geometrické a normálne mapové obrazy rozdeľujeme do troch zložiek (X, Y, Z), pričom ich považujeme za samostatné obrázky. Analyzovaná je každá zložka použitím transformácie. Koeficienty sú uložené. Využitie sú dve odlišné transformácie a tak sú získané dve sady vlnových koeficientov. Tieto transformácie sa nazývajú Haarova a Pyramídova transformácia.

Úseková metrika – Vo fáze autentifikácie je s použitím metaúdajov vykonané vo vlnovej sfére porovnanie medzi dvoma obrázkami. Pre rôzne dva druhy vln bude použitá rôzna diaľková metrika (Haarova metrika a Metrika pyramídy).

1. Haarova metrika – Pre koeficienty Haarovej vlny použijeme jednoduchšiu L_1 metriku, ktorá je na každom komponente nezávislá. Komponent X je vypočítaný nasledujúcim spôsobom:

$$Score_x(P, Q) = \sum_{i,j} |P_x[i, j] - G_x[i, j]|,$$

kde P predstavuje skúmanie a Q je galéria obrázkov. Celkové diaľkové skóre je suma zo všetkých komponentov:

$$d(P, G) = Score_x(P, G) + Score_y(P, G) + Score_z(P, G).$$

2. Metrika pyramídy – Pre koeficienty pyramídy požívame komplexné štruktúralne vlnové indexové algoritmy. Pre komponent X , okno s veľkosťou 3, prekračuje obrázok naraz jeden krok. V každom kroku extrahujeme všetky vlnové koeficienty, z ktorých vzniknú dve sady koeficientov:

$$p_{w,i} = \{p_{w,i} | i = 1, \dots, N\} \text{ a } g_{w,i} = \{g_{w,i} | i = 1, \dots, N\},$$

kde $p_{w,i}$ je koncipovaný zo snímaného obrázku a $g_{w,i}$ z galérie obrázku. Diaľková metrika je vypočítaná týmto spôsobom:

$$\tilde{S}(p_w, g_w) = 1 - \frac{\left(\frac{2 \sum_{i=1}^N |p_{w,i} g_{w,i}| + K}{\sum_{i=1}^N |p_{w,i}|^2 + \sum_{i=1}^N |g_{w,i}|^2 + K} \right) \cdot \left(\frac{2 \sum_{i=1}^N |p_{w,i} g_{w,i}^*| + K}{2 \sum_{i=1}^N |p_{w,i} g_{w,i}^*| + K} \right)^r}{\left(\frac{2 \sum_{i=1}^N |p_{w,i} g_{w,i}| + K}{\sum_{i=1}^N |p_{w,i}|^2 + \sum_{i=1}^N |g_{w,i}|^2 + K} \right) \cdot \left(\frac{2 \sum_{i=1}^N |p_{w,i} g_{w,i}^*| + K}{2 \sum_{i=1}^N |p_{w,i} g_{w,i}^*| + K} \right)^r},$$

kde w je prúdový krok z okna, N je z koeficientov v okne a r je experimentálne určený exponent. K je malá pozitívna hodnota, ktorá je použitá pre vytvorenie numericky stabilných výsledkov. Prvý komponent meria rovnocennosti z dvoch sád koeficientov, ktoré tiež odrážajú konzistenciu zmien fázy. Ak $p_{w,i} = g_{w,i}$ a pre všetky i 's je vzdialenosť 0, potom suma z miestnych skóre všetkých okien poskytuje vzdialenosť skóre v X komponentoch:

$$Score_x(P, Q) = \sum_{w=1}^N (b_w \cdot \tilde{S}(p_w, g_w)),$$

kde b_w je preddefinovaná váha závislosti, ktorej základ leží na lokálnom okne. Priradená váha k špecifickému základu je určená jeho popisnou silou a výkonom. Podobne počítame skóre aj pre zložky Y a Z a tak vypočítame totálnu vzdialenosť.

V predchádzajúcej časti boli popísané algoritmické riešenia niektorých systémov 3D rozpoznávania tváre. Využitím deformovaného modelu mapujeme 3D geometrickú informáciu až k 2D pravidelnej mriežke a to kombinovaním popisností z 3D údajov s vypočítanou efektivitou z 2D údajov. Mnohostupňový, plne automatický zarovňovací algoritmus a pokročilá analýza vln majú za následok jeden z najmodernejších a najvýkonnejších systémov [17].

4 INVARIANTNÁ ALGEBRA

Jednou z možností identifikácie pomocou biometrických systémov je využitie teórie invariantnej algebry v cieľovom rozpoznávaní. Použitie tejto metódy je vhodné aj pri rozpoznávaní tváre.

Invariant v matematickom slova zmysle je geometrický výraz alebo útvar, ktorý je pri určitej transformácii nemenný.

Algebraické invarianty sú používané a aplikované na popísanie vlastností, ktoré ostávajú nezmenené, aj keď objekt podstupuje lineárnu geometrickú a spektrálnu transformáciu. Invariantná algebra patrí medzi matematické disciplíny, zaoberá sa vzťahmi medzi algebrou a geometriou. Súčasťou tejto disciplíny je extrakcia algebraických výrazov, ktoré zostávajú nezmenené aj po transformácii súradnicového systému. Štúdium a pôvod algebraických invariant má dlhú históriu. Medzi prvých matematikov, ktorý študoval nemennosť, patril Lagrange. Bol to matematik a astronóm, ktorý významne prispel v oblasti teórie čísel.

Teória invariantnej algebry je vhodná na aplikáciu pre automatickú klasifikáciu objektov pomocou mnohorozmerných podpisov. Aplikácia využíva dvojité kvantovanie, zahrňuje odvodenie 2-D invariantných vlastností modelu a spája geometrické a materiálne rysy [2, 3].

4.1 Teória invariantnej algebry

Doménu teórie invariantnej algebry tvorí štúdium skutočných vlastností polynómov, ktoré zostávajú v klude aj po zmene premennej.

Teória invariantnej algebry uvažuje o homogénnom n -násobnom polynóme z m premenných, označený ako m -kvantový n -tý polynóm. Algebraické výrazy sledovaného cieľa pochádzajú z koeficientov kvantovania (nespojitosť hodnôt fyzikálnych veličín), ktoré zostávajú nezmenené, aj keď m premenných podstúpi lineárnu transformáciu. Koeficienty transformácie pôsobia ako násobiace faktory. Ak je násobiaci faktor eliminovaný, invarianty nazývame absolútnymi invariantami. Ako príklad je uvedený trojquantový m -tý polynóm:

$$f(x_1, x_2, x_3) = \sum_{p,q,r=0}^m \frac{m!}{p!q!r!} a_{pqr} x_1^p x_2^q x_3^r$$

$$p + q + r = m$$

Po transformácii premenných z x na x' homogénny polynóm $I(a)$ z uvedených koeficientov nazývame nemenná algebraická forma f . Polynóm $I(a')$ je vytvorený z nových koeficientov, ktoré následne ukazujú skutočnosť:

$$I(a) = \Lambda I(a').$$

Λ je závislá jedine na transformácii, čo znamená, že je nezávislá na $f(x)$. Pre homogénne polynómy uvažujeme, že $\Lambda = \Delta^\omega$. Δ označujeme ako determinant transformácie a ω sa nazýva váha invariantu. Ak $\omega = 0$ invariant nazývame absolútnym.

Objekty v mnohorozmernom súradnicovom systéme (x_1, x_2, x_3, \dots) môžu byť popísané v rámci funkcie hustoty pravdepodobnosti $\rho(x_1, x_2, x_3, \dots)$. Funkcia hustoty pravdepodobnosti môže byť jedinečne definovaná nekonečnými statickými momentmi.

Viacrozmerný moment poradia $p + q + r + \dots$ a hustoty $\rho(x_1, x_2, x_3, \dots)$ je definovaný pomocou Riemannovho integrálu:

$$m_{pqr\dots} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \dots x_1^p x_2^q x_3^r \dots \rho(x_1, x_2, x_3, \dots) dx_1 dx_2 dx_3 \dots$$

Sekvencia $\{m_{pqr\dots}\}$ jedinečne určuje $\rho(x_1, x_2, x_3, \dots)$.

Použitím definície momentu je generovaná funkcia mnohorozmerných momentov, ktorá je rozšírená do mocninových radov :

$$M(u_1, u_2, u_3, \dots) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \dots \sum_{p=0}^{\infty} \frac{1}{p!} (u_1 x_1 + u_2 x_2 + u_3 x_3 \dots)^p \times \rho(x_1, x_2, x_3, \dots) dx_1 dx_2 dx_3 \dots$$

Pomocou uvedených algebraických manipulácií je pôvodná funkcia redukovaná na n -kvantový m -tý poynóm [3].

4.1.1 Základný teorém invariantného momentu

Ak homogénny polynóm poradia p v m premenných má invariant

$$f(a_{p\dots 0}, \dots, a_{0\dots p}) = \Delta^\omega f(a_{p\dots 0}, \dots, a_{0\dots p}),$$

potom moment poradia p má algebraický invariant

$$f(\mu_{p\dots 0}, \dots, \mu_{0\dots p}) = |J| \Delta^\omega f(\mu_{p\dots 0}, \dots, \mu_{0\dots p}),$$

kde J je Jacobian transformácie.

Pre prípad dvojitého kvantovania môžu byť odvodené nasledujúce invarianty :

$$\phi_{1+} = \eta_{20} + \eta_{02}$$

$$\phi_2 = (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2$$

$$\phi_3 = (\eta_{03} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} + \eta_{03})^2$$

$$\phi_4 = (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{12} + \eta_{03})^2$$

$$\phi_5 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{03} + \eta_{30})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{03} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2]$$

$$\phi_6 = (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{21})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03})$$

Je možné pridať niekoľko invariantov a to tak, že bude zmenené znamienko kvôli „nevhodnému“ otočeniu (rotácií).

$$\phi_7 = (3\eta_{21} - \eta_{30})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{21})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2]$$

ϕ_8 súvisí s μ , čo je faktor normalizácie. Tento faktor vytvorí centrálné momenty invariant pod rozmerovou zmenou:

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{\mu_{00}^{\frac{p+q}{2}} + 1}.$$

Pre prípad trojice kvadratických rovníc sú odvodené invarianty:

$$J_{1\mu} = \mu_{200} + \mu_{020} + \mu_{002}$$

$$J_{2\mu} = \mu_{020}\mu_{002} - \mu_{001}^2 + \mu_{200}\mu_{002} - \mu_{101}^2 + \mu_{200}\mu_{020} - \mu_{110}^2,$$

$$\Delta_{2\mu} = \det \begin{pmatrix} \mu_{200} & \mu_{110} & \mu_{101} \\ \mu_{110} & \mu_{020} & \mu_{011} \\ \mu_{101} & \mu_{011} & \mu_{002} \end{pmatrix}$$

kde μ_{pqr} označuje centralizované momenty. Nasledujúce absolútne invarianty sú potom získané jednoduchými algebraickými manipuláciami:

$$I_3 = \frac{J_1 J_2}{\Delta_2} \quad I_1 = \frac{J_1^2}{J_2} \quad \text{alebo} \quad I_1 = \frac{J_1^2}{J_2} \quad I_2 = \frac{\Delta_2}{J_1^3} \quad [3].$$

4.1.2 Dvojrzmerná geometrická invariancia

Ako príklad je uvedený pohľad na armádne nákladné autá, ktoré sú zobrazené v troch rôznych geometrických zorných uhloch. Na prvom obrázku sa nachádza ešte nezmenený pohľad, druhý ukazuje presne tú istú scénu, s rozdielom zorného uhla, ktorý je otočený o 90° , posledný opäť zobrazuje tú istú scénu otočenú o 180° . Invariantné výrazy zo všetkých troch scén sú vypočítané použitím nasledujúcich vzťahov:

$$\begin{aligned} \phi_1 &= \eta_{20} + \eta_{02} \\ \phi_2 &= (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2 \\ \phi_3 &= (\eta_{03} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} + \eta_{03})^2 \\ \phi_4 &= (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{12} + \eta_{03})^2 \\ \phi_5 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{03} + \eta_{30})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{03} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\ \phi_6 &= (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{21})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) \\ \phi_7 &= (3\eta_{21} - \eta_{30})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{21})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \end{aligned}$$

Vypočítané hodnoty sú uvedené v tabuľke č.1. Z tabuľky je zrejme, že vypočítané invarianty zostali vo väčšine prípadov absolútne nezmenené, aj keď bol uhol pohľadu zmenený o 90° alebo o 180° [3].

INVARIANTY	ORIGINÁLNA SCÉNA	SCÉNA OTOČENÁ O 90°	SCÉNA OTOČENÁ O 180°
ϕ_1	5344,64	5344,64	5344,64
ϕ_2	1112,63	1112,63	1112,63
ϕ_3	7,63	7,63	7,69
ϕ_4	0,72	0,72	0,72
ϕ_5	-1,69	-1,69	-1,69
ϕ_6	-16,90	-16,90	-16,90
ϕ_7	-1,21	1,21	-1,21

Tab. č. 1: Hodnoty invariant pre scény s zornými uhlami pozorovania.

4.1.3 Spojenie geometrickej a materiálnej invariance

Z Planckovho zákona (určuje závislosť spektrálnej intenzity vyžarovania absolútne čierneho telesa od teploty a vlnovej dĺžky) vyplýva vzťah medzi emisivitou, teplotou, vlnovou dĺžkou a spektrálnou intenzitou žiarenia W_γ :

$$W_\gamma = \frac{2\pi hc^2}{\gamma^5} \frac{\varepsilon_\gamma}{e^{\frac{ch}{\gamma KT}} - 1},$$

kde W_γ je spektrálna intenzita žiarenia v jednotkách $W/cm^2/\mu m$; T je absolútna teplota v kelvinoch; ε_γ je spektrálna emisivita; h je Planckova konštanta ($= (6,6256 \pm 0,0005) \times 10^{-34} Ws^2$); K je Boltzmanova konštanta ($= (1,38054 \pm 0,00018) \times 10^{-23} Ws/K$) a c je rýchlosť svetla v cm/s. Scéna žiarenia je získaná integrovaním cez rôzne skupiny vlnových dĺžok, zo širokého okruhu vlnových dĺžok, rôznych spektrálnych obrazov zodpovedajúcich rovnakým scénam.

Ak efekty odrazu žiarenia sú zanedbateľné alebo ignorované a predpokladáme, že scéna je v tepelnej rovnováhe, žiarenie len kolísá s ε_γ v oddelenej scéne. Variácie ε_γ s frekvenciou pre rôzne materiály a farby sú dobre zdokumentované. Potom výstup ohniska rovinatej

sústavy je vo všeobecnosti lineárnou funkciou výskytu fotónov emitujúcich zo scény

$$N_{ij} = K_{ij} \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} \zeta_{ij}(\gamma) \{ \varepsilon_{\gamma}(i, j) W_{\gamma}(T_{ij}) + [1 - \varepsilon_{\gamma}(i, j) W_{\gamma}(T_b)] \} d\gamma + N_{ij}^d,$$

kde N_{ij} je celkový počet nahromadených elektrónov v pixeli ij ; K_{ij} je súčiniteľ, ktorý je závislý na aktívnej oblasti pixelov, optickom prenose, čase a uhloch natočenia pixelov z optickej osi a clonové číslo optiky je f . Kvantová účinnosť ij pixelov je označená ako $\zeta_{ij}(\gamma)$, základný radiant odraznosti je vyjadrený ako $W_{\gamma}(T_b)$. T_b je základná teplota v Kelvinoch; γ_1 a γ_2 definujú spektrálne pásmo senzoru. Nakoniec, tmavé vyjadrenie pixelov ij je označené ako N_{ij}^d . $\varepsilon_{\gamma}(i, j)$ vyjadruje spektrálnu emisivitu pixelov na mieste ij . V každom umiestnení pixelu ij uvažujeme $\varepsilon(i, j)$ ako n -dimensionálny vektor (n je počet používaných vlnových dĺžok). Potom uvažovaná pravdepodobnosť, že vzorka pochádza z materiálu π_k, k , je pritom počet rôznych materiálov v scéne, je vyjadrená výrazom $p(\varepsilon/\pi_k)$, ďalej definujeme pravdepodobnosť výskytu materiálu π_k ako $p(\pi_k)$. Potom podľa Bayeovho výberového pravidla je vyjadrená nasledovná rovnica:

$$\max_k \{ p(\pi_k/\varepsilon) \} = \max_k \left\{ \frac{p(\varepsilon/\pi_k)p(\pi_k)}{p(\varepsilon)} \right\},$$

kde $p(\varepsilon/\pi_k)$ je známy pre každú frekvenciu k v celom rozsahu teplôt. Tento predpoklad nie je obmedzujúci, zatiaľ čo pre rôzne materiály a farby emisivita, ako funkcia frekvencie a teploty je zdokumentovaná. $p(\varepsilon)$ je získaný z nasledujúceho vzorca:

$$p(\varepsilon) = \sum_{\pi_k} p(\varepsilon/\pi_k)p(\pi_k).$$

Pre každé umiestnenie pixelu bol vybraný materiálny štítok a vytvorený nový obraz. Tento obraz je tvorený nahradením hodnoty každého pixelu najpravdepodobnejšou hodnotou emisivity materiálu (železo = 1, voda = 2, atď.). Každý pixel je označený ako $\pi_k(i, j)$, pričom obsahom informácie je variácia obrazov na základe výskytu frekvencie emisivity materiálu v obraze.

Vo vyššie uvedenom príklade sú scény a ciele vyjadrené pomocou invariantných výrazov a závislosti na materiáloch. Navyše ide o homogénne polynómy k -premenných. Následkom toho pre lineárnu transformáciu v π_k (zmeny v zmesi materiálov) existuje rad

algebraických výrazov, ktoré zostávajú nezmenené. Tieto invarianty druhého rádu budú invarianty v rotovanej scéne, stupnici, preložení a zmene materiálových zmesí. Výrazy $\phi_1(\pi_k)$ až $\phi_7(\pi_k)$ sú polynómy 1 až 7 v rámci π_k pre rôzne k . Každá rôzna k hodnota signalizuje rôzny materiál. Lineárna transformácia π_k signalizuje zmenu zmesi materiálu v skúmanej scéne, ako aj zmenu farby cieľa.

Príklad: Uvažujeme objekt, ktorého obraz je vyjadrený analyticky ako:

$$f(x, y, p, q) = (p + q)e^{-x-y},$$

kde x a y predstavujú osi pre geometriu objektu a p a q predstavujú osi pre každý pixel v zmesi materiálu. V ďalšom sa odvolávame na zmenu orientácie objektu, zmenu stupnice, pozície objektu, zmenu jeho geometrickej transformácie, zároveň v nadväznosti na zmeny vyplývajúce zo zmien povrchu materiálu objektu.

Zmeny v orientácii objektu, stupnici a pozícii uhla pohľadu budú viesť k zmene v obraze objektu. Výsledkom toho je jeho matematické vyjadrenie podobné predchádzajúcemu vzťahu. Podobne aj zmena v povrchu materiálu objektu (napr. odlišná farba) spôsobuje zmenu v obrazovej reprezentácii objektu, ako tiež vyjadruje predchádzajúci vzťah.

Následne sa dajú odvodiť geometrické invarianty pre objekt, z ktorých sa dajú extrahovať materiálové invarianty, pridružené pre každý pixel v objekte. Budeme meniť zmes materiálov ľubovoľne a ukážeme invariance týchto výrazov v spojení s geometrickými a materiálnymi transformáciami :

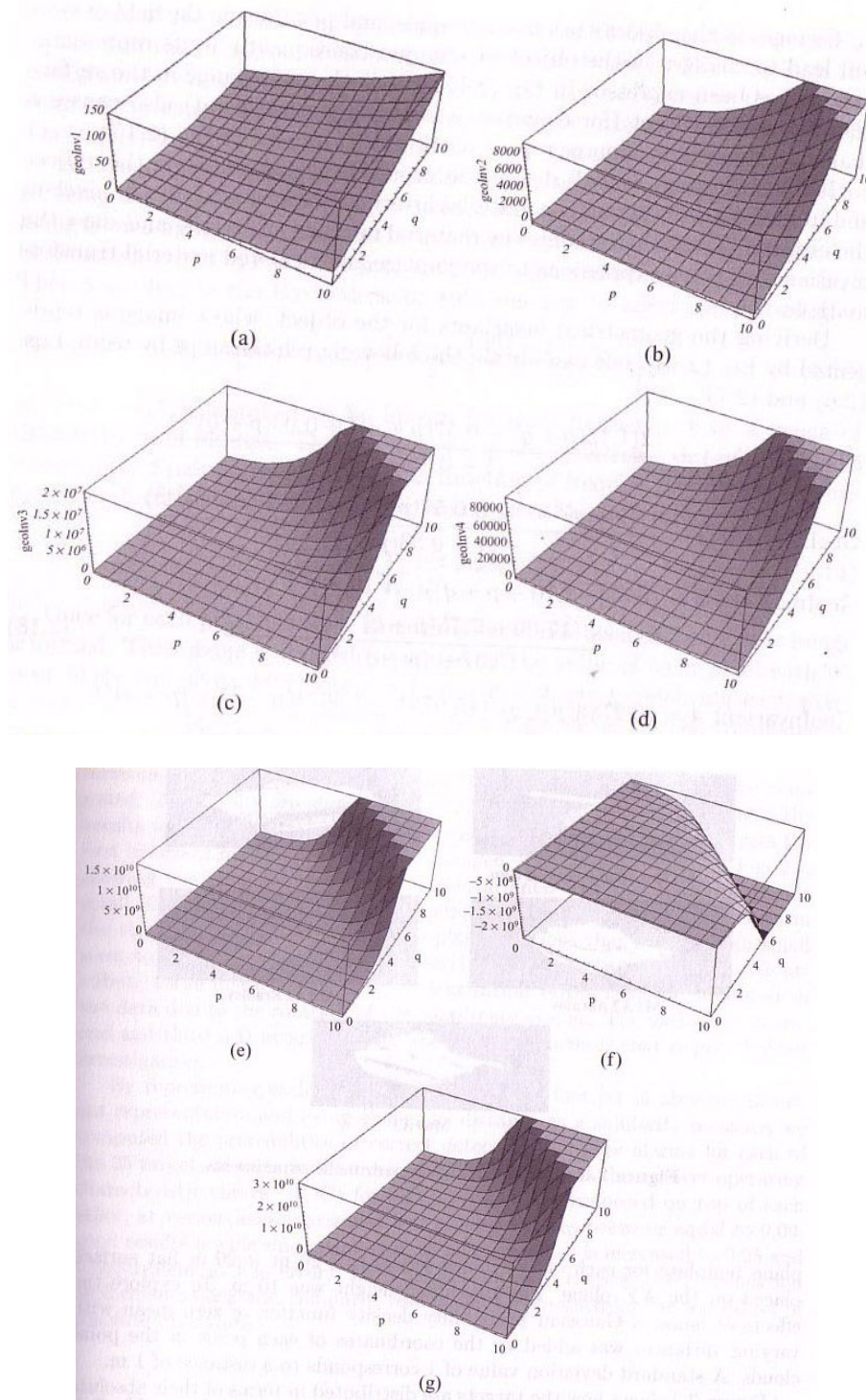
$$GeoIn\ variant1 = \frac{(2(1,15(p+q) - 0,57(p+q)^2 + 0,09(p+q)^3))}{(1 + 0,33(p+q))}$$

$$GeoIn\ variant2 = \frac{(4(p+q)^2(0,84 - 0,57(p+q) + (0,09(p+q)^2)^2))}{(1 + 0,33(p+q))^2}$$

$$GeoIn\ variant3 = \frac{((0,55(-1,10 + p + q)) - (-1,10 + p + q)(p + q)^2 \times (17,60 - 7,75(p + q) + (p + q)^2))}{(5,07 + (p + q)^{1,5})^2}$$

$$GeoIn\ variant4 = \frac{\left(\begin{aligned} &0,2788(p+q)^2(15,9731 - 7,9674(p+q) + (p+q)^2) \\ &\times (18,1287 - 6,2169(p+q) + (p+q)^2) \times (9,8189 - 3,6321(p+q) + (p+q)^2) \end{aligned} \right)}{(5,0739 + (p+q)^{1,5})^2}$$

atď.



Obr. č. 13: Grafy geometrických invariantov prislúchajúce k predchádzajúcim rovniciam (GeoInvariant) [3]

Materiálne invarianty z dôvodu odvodenia od geometrických invariant sú tiež nezmenené objektovou rotáciou a zmenou stupnice senzoru so zorným poľom [3].

4.2 Invariantné výrazy 3D rozpoznávania tváre

Jedným z najnovších prístupov 3D rozpoznávania tváre je metóda založená na geometrických invariantoch predstavených Eladom a Kimmelom. Základnou myšlienkou navrhovaných algoritmov je vyjadrenie povrchu tváre invariantmi izometrickej deformácie, ktoré vyplývajú z rôznych výrazov a pozícií tváre. Získané geometrické invarianty dovoľujú mapovať 2D štruktúry obrazov tváre do špeciálnych obrazov, ktoré začleňujú 3D geometriu tváre. Tento popis obrazu je následne rozložený do hlavných zložiek. Výsledkom je efektívny a presný algoritmus na rozpoznávanie tváre, ktorý je mimoriadne vhodný na popis tváre.

Najmodernejšie systémy na rozpoznávanie tváre sú založené na 40-ročných poznatkoch 2D algoritmov. V roku 1991 Turk a Pentland uviedli revolučnú ideu použitia analýzy hlavných komponentov obrázkov tváre. Dnes je metóda známa ako vlastný (eigenface) algoritmus a tvorí štandard medzi algoritmami rozpoznávania tváre.

Neskôr boli vytvorené podobné algoritmy. Gordon ukázal, že kombinácia čelných a profilových pohľadov môže zlepšiť presnosť rozpoznávania. Táto myšlienka bola obohatená Beumierom a Acheroyom, ktorí porovnali hlavné a vedľajšie profily 3D povrchu tváre, získané štrukturovaným svetlom kamery. Tento prístup umožnil lepšiu odolnosť voči orientácii hlavy. Ďalší prístup sa vyrovnáva s problémom pozície hlavy použitím 3D morfológického modelu hlavy. Mavridis a kolektív včlenil rozsahovú mapu tváre do klasického algoritmu rozpoznávania tváre, ktorý je založený na analýze hlavných komponentov a skrytých Markových modeloch. Tento prístup zabezpečil odolnosť voči množstvu variácií farieb, osvetlenia, použitia kozmetických prípravkov a taktiež umožnil separovať tvár z prepchaného pozadia.

Žiadny z navrhovaných prístupov nebol schopný prekonať problémy vyplývajúce z prirodzenosti ľudskej tváre. Metóda založená na geometrických invariantoch ľudskej tváre eliminuje tieto problémy. Zároveň z dôvodu vyjadrenia tváre využíva nerigidné (netuhé) porovnanie povrchu, ktoré dovoľuje deformácie, typické pre ľudské tváre spôsobené výrazom tváre [1,18].

4.2.1 Nerigidné porovnanie povrchu

Klasické povrchy sú skúmané metódami, založenými na nájdení Euklidovej transformácie

dvoch povrchov, ktorá maximalizuje niektoré formy podobných kritérií. Ľudská tvár ale nemôže byť považovaná za rigidný objekt, hlavne kvôli deformáciám, ktoré vyplývajú z výrazov tváre. Na druhej strane trieda transformácie, ktorú môže tvárový povrch podstúpiť, nie je ľubovoľná. Empirické pozorovania ukázali, že výrazy tváre môžu byť modelované izometrickou transformáciou. Takáto transformácia nerozťahuje a netrhá povrch, ale presnejšie zachováva metriku povrchu. Povrchy, ktoré vznikli v dôsledku uvedenej transformácie, nazývame izometrické povrchy. Hlavnou požiadavkou pre algoritmus deformovaného povrchu je nájdenie popisu, ktorý je vhodný pre všetky izometrické povrchy.

Schwartz a kol. ako prvý použil mnohorozmernú úpravu mierky (MDS), ako nástroj pre študovanie zakrivených plôch rovinných modelov. Zigelman a Grossman prehĺbili túto myšlienku do problematiky mapujúcej štruktúru. Elad a Kimmel predstavili algoritmus na konštruovanie popisov pre izometrické povrchy. Táto metóda bola nazvaná ako metóda zakrivenej invariantnej (nemennej) kanonickej formy (všeobecného tvaru), tzv. metóda zakriveného invariantu kanonického tvaru [18].

4.2.1.1 Zakrivené invarianty kanonických tvarov

Uvažujeme o mnohoplošnej aproximácii tvárového povrchu S . Jedná sa o priblíženie získané vzorkovaním kontinuálneho povrchu na konečnú množinu bodov $p_i (i=1, \dots, n)$ a diskretizáciu metriky δ pridruženej k povrchu

$$\delta(p_i, p_j) = \delta_{ij}.$$

Zapísaním δ_{ij} vo forme matice získame maticu vzájomných vzdialeností medzi bodmi povrchu.

$$(\Delta)_{ij} = \delta_{ij}^2.$$

Matica Δ je invariant získaný izometrickou povrchovou deformáciou. Nie je však unikátnym vyjadrením izometrických povrchov, závisí od ľubovoľného poradia bodov.

Chceli by sme získať geometrický invariant, ktorý je jedinečný pre izometrické povrchy a dovoľí použitie jednoduchých algoritmov na popísanie rigidných povrchov na porovnanie invariantov. Použitím kvadratických vzájomných vzdialeností, ako špecifický prípad odlišnosti, môžeme aplikovať mnohorozmernú úpravu mierky (MDS) v prípade vloženia

povrchu do nízkodimenzionálneho Euklidovského priestoru R^m . Výsledkom je zistenie vzťahu medzi dvomi metrickými priestormi,

$$\varphi: (S, \delta) \rightarrow (R^m, d)$$

$$\varphi(p_i) = x_i$$

ktorý minimalizuje vkladanie chýb

$$\varepsilon = f(|\delta_{ij} - d_{ij}|)$$

$$d_{ij} = \|x_i - x_j\|_2$$

Získaná m -rozmerná funkcia je množina bodov $x_i \in R^m (i = 1, \dots, n)$, odpovedajúca povrchovým bodom p_i . Rôzne MDS metódy môžu byť odvodené použitím rôznych vkladných kritérií chýb.

Špecifickým prípadom je klasické mierkovanie. Vloženie do R^m je vykonané dvojitým centrovaním matice Δ

$$B = -\frac{1}{2} J \Delta J,$$

kde $J = I - \frac{1}{2} U$. I je $n \times n$ rozmerná matica a U je matica skladajúca sa z povrchu.

Najskôr m vlastné vektory e_i odpovedajúce m najväčším vlastným hodnotám B sú použité ako vložené súradnice

$$x_i^j = e_i^j; i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m,$$

kde x_i^j označuje j -té súradnice vektoru x_i . Vlastné vektory sú vypočítané použitím štandardnej metódy vlastného rozloženia. Jedine od m vlastného vektora je požadované (obvykle $m = 3$) počítanie, ktoré môže byť urobené efektívne.

Referujeme o množine bodov x_i získanú mnohorozmerným mierkovaním (MDS) ako zakrivený invariant kanonickej formy povrchu, kde $m = 3$, ktorú môžeme považovať za povrch. Metódy vyhovujúce štandardným rigidným povrchom sa môžu používať v prípade porovnávania medzi dvoma deformovanými povrchmi, využitím ich zakrivenej invariantnej reprezentácie, namiesto porovnávania povrchov medzi sebou. Vypočítanie kanonickej formy do translácie, rotácie a reflexia transformácie dovoľuje porovnanie medzi

kanonickými tvarmi ktoré musia byť usporiadané [18].

4.2.1.2 Meranie geodetických vzdialeností trojuholníkovou metódou

Jeden z rozhodujúcich krokov v konštruovaní kanonických foriem daného povrchu je účinný algoritmus pre počítanie geodetických vzdialeností na povrchoch δ_{ij} . Numericky konzistentný algoritmus pre počítanie vzdialeností na trojuholníkovej doméne je nazvaný ako rýchly pochod na trojuholníkovej doméne (fast marching on triangulated domains FMTD). Použitím FMTD metódy geodetické vzdialenosti medzi vrcholmi povrchu a zvyškom n -vrcholového povrchu môžu byť vypočítané v $O(n)$ operáciách. Táto metóda je vhodná aj na výpočet zakrivených invariantov kanonickej formy [18].

II. PRAKTICKÁ ČASŤ

5 ROZSAH ZOBRAZENÝCH ÚDAJOV PRE ZÍSKANIE INVARIANTNÝCH VÝRAZOV 3D ROZPOZNÁVANIA TVÁRE

Presné získanie povrchu tváre je rozhodujúce pre rozoznanie tváre v 3D zobrazení. Väčšina komerčných kamier má rozsah vyhovujúci pre aplikáciu rozoznávania tváre. Rozhodujúci je výber aktívneho alebo pasívneho rozsahu snímača. Väčšina fotoaparátov s pasívnym rozsahom poskytuje stereo snímky. 3D informácia je výsledkom zhody medzi pixelmi v snímke, zobrazenej z rôznych bodov. Uvedený pasívny stereo snímač nie je vhodný na snímanie rady snímok v reálnom čase.

Snímanie v rámci aktívneho rozsahu obvykle využíva podmienky riadeného osvetlenia pre rekonštrukciu objektu. Jedným z najviac populárnych prístupov známy ako štrukturované svetlo, je založený na projekcii vzorov na povrch objektu a extrakcii geometrie objektu z deformácie vzorov. Najpresnejšie verzie tohto prístupu používajú série čiernych a bielych pruhov, ktoré sú sekvenčne projektované a sú známe ako kódované svetlo.

Vzory z binárnych kódov umožňujú rekonštrukciu uhlov, každého bodu na povrchu, s ohľadom na optickú os fotoaparátu. Niektoré umožňujú vypočítať hĺbku použitím triangulácie.

5.1 Technický popis snímacieho prístroja

Použili sme kódovanú svetelnú techniku vhodnú pre snímanie 3D povrchu. Využili sme 8 binárne vzory, ktoré obsahovali 256 úrovní hĺbky, ktoré umožnili zobrazovať hĺbky okolo 1 mm. Aparát mal LCD projektor s obnovovacím kmitočtom 70 Hz kontrolovaný DV rozhraním. Snímky boli získané rýchlosťou 30 obrázkov za sekundu pomocou čierne bielej CCD kamery s rozlíšením 640 x 480 pixelov, 8 bitov [18].

5.2 3D rozpoznávanie tváre použitím vlastnej (eigenface) formy

Pomocou aparátu sme získali 3D obraz, ktorý zahŕňa geometrický obraz a 2D obraz štruktúry tváre. Snímok bol prevedený do trojuholníkového povrchu a zarovnaný použitím krivky. Vonkajšie oblasti obrysov tváre boli skrátené a povrch bol zdecimovaný na veľkosť približne 2000–2500 vrcholov. Ďalej boli vypočítané zakrivené invarianty kanonickej formy tváre a usporiadané použitím algebraickej procedúry.

Našli sme plný súlad medzi štrukturovanými obrazmi a_n a kanonickými vrcholmi povrchov (x_n^1, x_n^2, x_n^3) . Štruktúra tváre môže byť mapovaná do usporiadaného kanonického povrchu vo forme kanonického priestoru. Interpoláciou a_n a x_n^3 do Karteziánskej mriežky v X^1X^2 ploche získame porovnávaciú štruktúru \tilde{a} a kanonický obraz \tilde{x} . Obidva \tilde{a} a \tilde{x} zobrazujú invarianty kanonického tvaru do izometrickej transformácie, čo je zobrazené na obrázku č.14.

Aplikáciou vlastnej dekompozície sme smerovali priamo k reprezentácii. Ako vlastnú formu sme pripravili sadu zobrazenia tváre, ktorá bola sadou z dvojice foriem $\{\tilde{x}_n, \tilde{a}_n\}_{i=1}^N$. Použitím vlastnej dekompozície jednotlivo na sady \tilde{a} a \tilde{x} , sme získali dve sady, ktoré zodpovedali plochým štruktúram a kanonickým obrazom. Ďalej sme definovali vlastné vektory e_n^a a vlastné formy e_n^x . Pre nový subjekt reprezentovaný (\tilde{x}', \tilde{a}') sme vypočítali koeficienty dekompozície podľa:

$$\alpha = [e_1^a, \dots, e_N^a](\tilde{a}' - \bar{a})$$

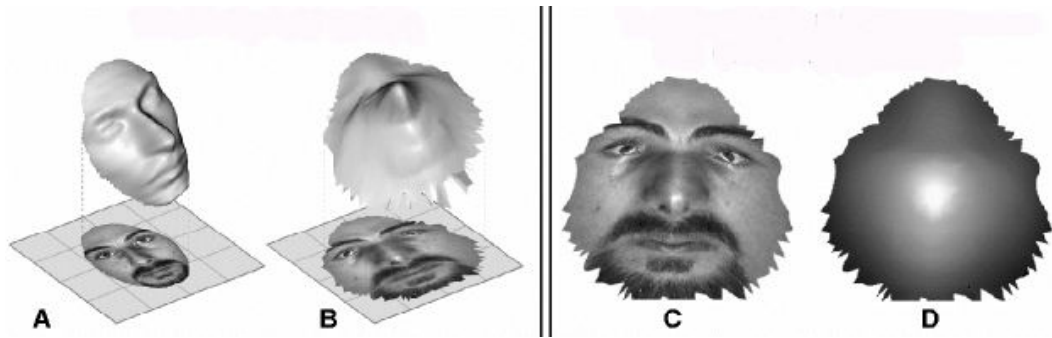
$$\beta = [e_1^x, \dots, e_N^x](\tilde{x}' - \bar{x}),$$

kde \bar{a} a \bar{x} označujú priemer v prípravnej sade \tilde{a}_n a \tilde{x}_n . Vzdialenosti medzi dvoma subjektami $(\tilde{x}_1, \tilde{a}_1)$ a $(\tilde{x}_2, \tilde{a}_2)$ sú vypočítané a hodnotné ako Euklidovské vzdialenosti medzi odpovedajúcimi koeficientami rozkladu (α_1, β_1) a (α_2, β_2) [18].

5.3 Výsledky

Experimenty boli vykonané na 3D databáze tvárí pozostávajúcej zo 64 detí a 93 dospelých, 115 mužov a 42 žien. Štruktúra snímaných obrázkov bola zdecimovaná v pomere 1:8 a vonkajší tvárový obrys bol skráteneý. Databáza obsahovala niekoľko príkladov jednovaječných dvojčiat. Boli porovnané štyri prístupy:

- vlastná dekompozícia snímok,
- kombinácia štruktúry a snímku vo vlastnej schéme tváre,
- vlastná dekompozícia kanonických tvarov,
- algoritmus vlastnej formy.

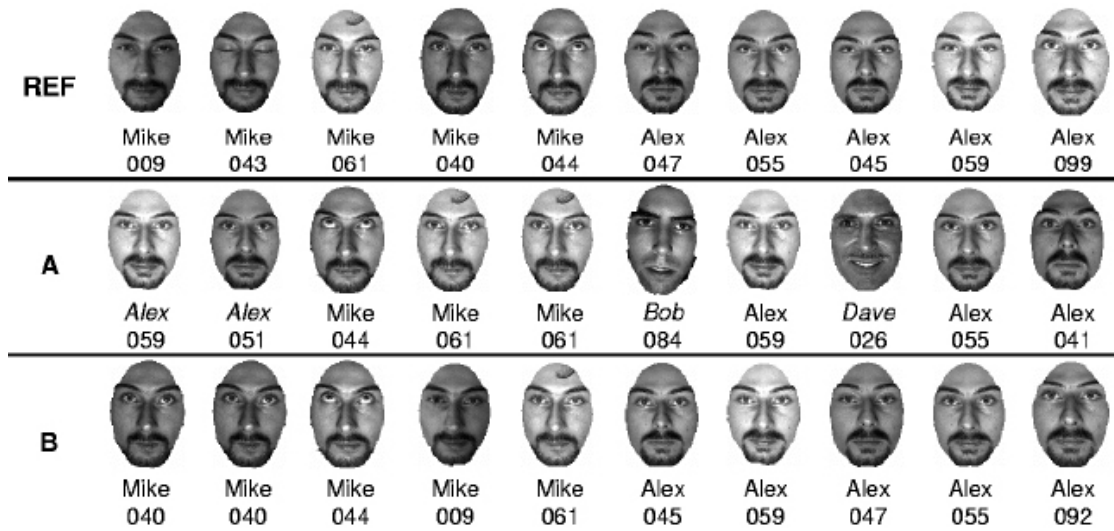


Obr. č. 14: Štruktúra sploštenia s interpoláciou na $X^1 X^2$ rovine: mapovanie štruktúry povrchu tváre(A) v kanonickej forme, (B) štruktúra vyplývajúca z textúry, (D) kanonický obraz [18]

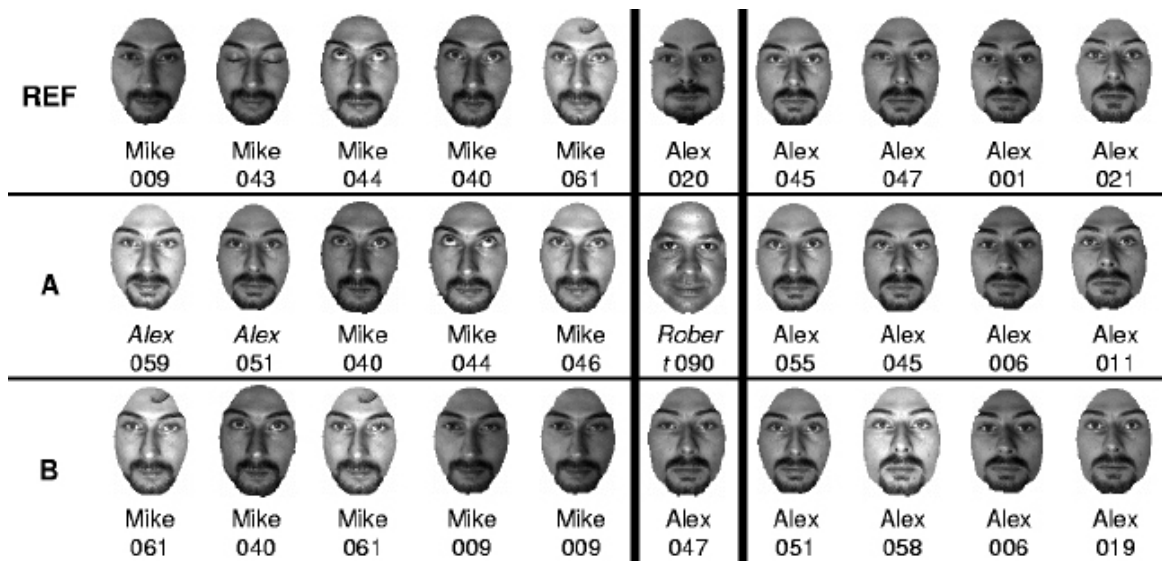
Použitím každého zo štyroch algoritmov sme našli najbližšie zhody medzi referenčným subjektom a zvyškom databázy. Rozdielne príklady jednovaječných dvojčiat boli vybrané ako referenčné subjekty.

Obrázok č.15 ukazuje významné zlepšenie rozpoznávacej presnosti, ak sú použité kanonické obrazy namiesto rozsahových snímok. Dokonca aj bez použitia informácie o štruktúre sme získali správne rozlíšenie dvojčiat.

Obrázok č.16 porovnáva medzi metódou vlastnej dekompozície štruktúry a rozsahových obrazov a metódou vlastnej dekompozície sploštených štruktúr a kanonických obrazov. Druhá metóda neurobila žiadnu chybu v rozlíšení dvojčiat. Konvenčný prístup nebol schopný zvládnuť deformáciu tváre (nafúknuté líca) a rozlíšiť subjekt s tučnými lícami, nachádzaní boli ako najbližší podobní ľudia s prirodzene tučnými lícami.



Obr. č. 15: Najbližšia zhoda získaná vlastným rozkladom rozsahových obrazov (A) kanonické obrázky, (B) zlé zhody sú napísané kurzívou [18]



Obr. č. 16: Najbližšie zhody získané metódou (A) vlastnej formy (B), zlé zhody sú napísané kurzívou [18]

6 POŽIADAVKY NA TECHNICKÉ PARAMETRE VYBRANÝCH BIOMETRICKÝCH IDENTIFIKAČNÝCH SYSTÉMOV

V kapitole 5 je podrobne rozpísaný vlastný (eigenface) algoritmus, ktorý bol aplikovaný na snímky vytvorené kódovou technikou vhodnou pre snímanie 3D povrchu, konkrétne pomocou LCD projektora s obnovovacím pomerom 70 Hz, kontrolovaný cez DV rozhranie. Využitie boli 8 binárne vzory, ktoré obsahovali 256 úrovní hĺbky a umožňovali zobrazovať hĺbky 1mm. Obrazy boli získané rýchlosťou 30 snímok za sekundu čierno – bielou CCD kamerou s rozlíšením 640x480 pixelov.

Aplikácia algoritmu na snímky získané za uvedených podmienok bola viac než uspokojivá. Predpokladáme, že použité technické parametre systému boli optimálne. Na základe uvedeného ďalej predpokladáme, že technické požiadavky biometrického systému v prípade použitia vlastného (eigenface) algoritmu sú v oblasti parametrov, ktoré sú popísané vyššie. Väčšina ponúkaných kamier na komerčnom trhu je vhodných pre aplikáciu eigenface algoritmu.

6.1 Technické parametre vybraných systémov dostupných na trhu

Ako príklad uvediem technické parametre vybraných systémov od firmy Digitus. Táto firma sa zaoberá dovozom, distribúciou a servisom biometrických identifikačných systémov. Na Slovensku a v Českej republike je firma Digitus výhradným distiribútorom firiem Suprema, A4Vision, IR Recognition Systems, L1 ID, Panasonic a Fujitsu.

6.1.1 Technické parametre systémov využívajúcich na identifikáciu odtlačok prsta

Fingerscan V20: Patrí do kategórie kontrola vstupu a dochádzky (universal access).

- čas pre zavedenie : <5s ,
- čas pre overenie: <1s ,
- FAR/FRR: premenlivé, podľa nastavenia,
- veľkosť šablóny: 512 bitov,
- povolená rotácia prstu: $\pm 18^\circ$,
- pamäť transakcií: 8000 minimum,

- pamäť šablón: 512, voliteľne 5000 alebo 32000.

DFR 2080: Zaradujeme ho do kategórie profesionálneho riešenia.

- rozlíšenie: 500 dpi, 256 odtieňov šedej,
- geometrická deformácia: $\langle 1,5$ % ohraničenia elipsou horizontálnou a vertikálnou osou,
- poskytnuté zväčšenie automatického obrazového kontrastu,
- získaný obraz s 500 dpi 248 x 292 pixel.

6.1.2 Technické parametre systémov využívajúcich na identifikáciu tvár

A4 Vision: Patrí do kategórie kontroly vstupu, pričom na identifikáciu využíva 3D obraz tváre.

- necitlivosť na svetlo (použitie svetla v oblasti blízkej infračervenému a priamemu meraniu absolútnych rozmerov),
- možnosť otočenia hlavy pri identifikácii až o 30° ,
- čas identifikácie: $\langle 1$ s,
- čas verifikácie: $\langle 1$ s,
- vzdialenosť tváre pre snímanie: $\rangle 500$ mm.

7 APLIKÁCIA PRÁCE VO VÝUKE NA FAI UTB

Fakulta aplikovanej informatiky UTB vyučuje v bakalárskom štúdiu viac predmetov, v ktorých by bolo vhodné riešiť problematiku biometrickej identifikácie.

Pre obor Bezpečnostné technológie, systémy a management je vhodný predmet Technické prostriedky bezpečnostného priemyslu, do ktorého je možné zaradiť informácie o biometrických systémoch a ich algoritmoch. Nakoľko presná anotácia predmetu pre výuku na FAI znie: „Predmet je rozdelený do dvoch častí. V prvej sa pojednáva o princípoch spracovania signálov a v druhej časti je hovorené o základných princípoch senzorov, ktoré sa využívajú v bezpečnostnej technike. Jedná sa o úvod do spracovania údajov, vrátane popisov rušenia a šumu, ktoré vznikajú pri zbere údajov, aj pri vlastnom spracovaní údajov. Hovorené je o základných princípoch spracovania signálov, a to o analógových aj digitálnych. Záverom je referované o princípoch elektromagnetickej kompatibility a jej využití pre bezpečnostnú techniku všeobecne a nie len tam“, je možné do časti, v ktorej je hovorené o základných princípoch senzorov, zaradiť informácie o biometrických systémoch. Dôvodom sú čoraz väčšie požiadavky praxe na biometrické identifikácie pre ich univerzálnosť v rôznych oblastiach ľudskej činnosti. Napríklad sú to dochádzkové a prístupové systémy (access), identifikácia osôb (občianske preukazy, pasy, kontrola hraníc), evidenčné systémy, atď.

Výuku o biometrických systémoch navrhujem rozdeliť do dvoch častí:

1. Teoretická časť.
2. Praktická časť.

7.1 Teoretická časť výuky biometrických systémov

Teoretická časť zahŕňa len teoretické poznatky z oblasti biometrie všeobecne a z oblasti biometrických systémov. Ide o nasledovné teoretické oblasti :

- čo je to biometria,
- základné funkcie biometrického systému,
- rozdelenie biometrických systémov, najvýhodnejšie je rozdelenie podľa typu skúmaného biometrického znaku,

- biometrické znaky (definícia, rozdelenie),
- všeobecná charakteristika vybraných biometrických systémov (systémy využívajúce na identifikáciu odtlačok prsta, tvár, očné dúhovku, očné sietnicu, hlas)
- skúmanie vybraných metód používaných vybranými biometrickými systémami (pre systémy využívajúce na identifikáciu odtlačok prsta porovnávací metóda, pre systémy využívajúce na identifikáciu tvár metóda 3D obrazu).

Uvedené teoretické poznatky sú potrebné pre ďalšie využitie v praktickej časti.

7.2 Praktická časť výuky biometrických systémov

Vzhľadom na to, že FAI UTB vlastní prístroj VisionAccess, kanadskej spoločnosti Bioscrypt Inc., navrhujem jeho využitie v praktickej časti výuky biometrických systémov. Súčasťou praktickej časti by bolo oboznámenie študentov s funkciou a použitím prístroja, resp. možnosťami jeho využitia. V ďalšej časti by študenti vytvorili snímky.

7.2.1 Systém VisionAccess

Systém VisionAccess slúži na rozpoznávanie osôb podľa ľudskej tváre. Snímanie je zachytené pomocou 3D kamery, jedná sa teda o trojrozmerné snímanie tváre. Snímanie je prevádzkované v neviditeľnej oblasti blízkej infračervenému žiareniu. Výrobca uvádza, že systém je odolný voči zmenám pigmentácie kože vplyvom opálenia, fúzom na tvári, doplnkom, atď. Využitých je vyše 40 tisíc identifikačných bodov. Pozornosť je zameraná primárne na čelo, okolie očí, vrchol nosa.

Tento systém sa skladá z jednotky 3D EnrolCam, ktorá slúži na zavádzanie nových frekvenčných šablón tvári a jednotky 3D FaceReader, ktorá je určená na vykonávanie vlastnej autorizácie osôb. Jednotka je vybavená pamäťou pre 4000 šablón tvári.

Autorizáciu je možné vykonávať v dvoch základných režimoch. Prvým režimom je identifikácia 1:n, kedy užívateľ predstúpi pred vyhodnocovaciu jednotku 3D FaceReader a bez zadania PINU alebo priloženia karty jednotka prehľadá pamäť, či sa v nej nachádza šablóna tváre pre daného užívateľa. Druhým režimom je verifikácia 1:1, kedy užívateľ zadá PIN alebo priloží bezkontaktnú kartu a vyhodnocovacia jednotka podľa čísla PIN kódu

alebo karty porovná šablónu založenú pod týmto číslom s tvárou užívateľa, ktorý stojí pred jednotkou.

Autorizácia užívateľa trvá menej než 1 sekundu, zavedenie nového užívateľa do systému trvá 4 až 8 sekúnd.



Obr. č. 17: Systém VisionAccess. [19]

Vybrané technické informácie o systéme VisionAccess

Verifikácia (1:1):

- čas zápisu 4 až 8 sekúnd,
- čas verifikácie < 1 sekunda,
- FAR (miera chybných prijatí) nestabilná,
- FRR (miera chybných odmietnutí) nestabilná.
- FAR = FRR 0,1 %.

Identifikácia (1:N):

- čas zápisu 4 až 8 sekúnd,
- čas identifikácie < 1 sekunda,
- FAR (pomer falošných prijatí) užívateľom nastaviteľný,

- FRR (pomer falošných zamietnutí) užívateľom nastaviteľný. [19]

7.2.2 Praktické použitie systému VisionAccess

Po preštudovaní teoretických údajov o systéme a oboznámení sa s funkciami prístroja navrhujem praktickú časť výuky prevádzať nasledujúcim postupom:

- zoznámenie so základnými funkciami (zapnutie, vypnutie),
- zoznámenie a odskúšanie pokročilejších funkcií (zavádzanie novej šablóny),
- vykonávanie identifikácie pomocou tváří, ktoré sú v databáze systému,
- vykonávanie identifikácie pomocou tváří, ktoré nie sú v databáze systému,
- vykonávanie identifikácie pomocou tváří, ktoré boli zadané ako šablóny (prihlásených osôb), pričom bude zmenený výzor ich tváří napr. pomocou náušnic, doplnkov, umelých fúzov.

Pri pracovaní so systémom by mali byť zaznamenané podmienky a následne počet správnych a nesprávnych prihlásení a zamietnutí. Uvedené výsledky navrhujem spracovať štatisticky.

Presné zadanie laboratórnej úlohy je uvedené v prílohách.

ZÁVER

Práca opisuje biometrické systémy a ich algoritmy všeobecne, pričom jej hlavným cieľom je popis algoritmov na identifikáciu tváre. Vzhľadom na to, že tvár zaraďujeme k zložitejším biometrickým znakom, je potrebné nájsť vhodný biometrický systém a algoritmus na rýchlu a vysoko spoľahlivú identifikáciu osôb na základe rozpoznávania tváre. Bola predstavená nová metóda 3D rozpoznávania tváre založená na geometrických invariantoch podľa Elada a Kimmela.

Navrhnutý algoritmus bol schopný extrahovať skutočné geometrické rysy tvárového povrchu do výsledného zobrazenia použitím geometrických invariantov a aplikáciou vlastnej dekompozície. Získané výsledky rozpoznávania tváre boli veľmi presné. Bolo zistené, že žiadna významná deformácia tváre nespôsobila pomýlenie predstaveného algoritmu na rozdiel od konvenčných prístupov.

V budúcnosti sa očakáva veľká potreba rozvíjania biometrických systémov, využívajúcich predovšetkým na identifikáciu tvár, vzhľadom na celosvetovú požiadavku zvýšenia bezpečnosti.

CONCLUSION

This presentation describe biometric systems and their algorithm generally, while it main target is decription of a face recognition algorithm. With respect to a fact that face is classified as a complicated biometric code it is needed to find fitting biometric systems and algorithm on a high reliable identification of persons based on a face recognition. A novel method of 3D face recognition based on geometric invariants by Elad and Kimmel was introduced.

A proposed algorithm was capable of extracting the intrinsic geometric features of facial surfaces to the resulting representation. using geometric invariants and applying eigendecomposition. Obtained results of face recognitions were very accurate. It was observed, that even very significant deformations of the face do not confuse the performed algorithm, unlike conventional approaches.

In a future it is expected a high demand of development biometric systems, which mainly using a face recognition, considering request higher security in the world.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] JAIN, Anil K. *Fundamentals of digital image processing*. [s.l.] : Prentice Hall, 1989. 566 s.
- [2] GONZALES, Rafael C., WOODS, Richard E., EDDINS , Steven L. *Digital image processing using Matlab*. [s.l.] : Prentice Hall, 2004. 624 s. ISBN 0130085197.
- [3] SADJADI, Firooz, JAVIDI, Bahram. *Physics of automatic target recognition*. [s.l.] : Springer, 2007. 250 s. ISBN 9780387367422.
- [4] *Biometrika* [online]. c2002-2008 , 2007 [cit. 2008-05-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.biometlab.com/Biometrika/tabid/55/Default.aspx>>.
- [5] *Biometria informačná spoločnosť* [online]. 2003-2008 [cit. 2008-05-26]. Dostupný z WWW: <http://www.euractiv.sk/informacna-spolocnost/zoznam_liniek/biometria>.
- [6] *Wikipedia slobodná encyklopédia* [online]. 2001 , 20. apríl 2008 [cit. 2008-05-26]. Dostupný z WWW: <<http://sk.wikipedia.org/wiki/Daktyloskopia>>.
- [7] *Victoria* [online]. c2005 [cit. 2008-05-26]. Dostupný z WWW: <http://www.victoria-digital.com/?__SEE1NTMuS0VmZXU7NTU2MTY1I3x6d20%2FY2xrbGNxd29qZw-root2-v3>.
- [8] DRAHANSKÝ, Martin. Přehled biometrických systémů a testování jejich spolehlivosti. *Prezentace* [online]. 2007 [cit. 2008-05-26]. Dostupný z WWW: <http://data.security-portal.cz/clanky/113/odborne_prednasky/Prezentace.pdf>.
- [9] BESZÉDEŠ, Marián. *Detekcia tváří pomocou neurónovej siete*. [s.l.], 2006. 10 s. Referát.
Dostupný WWW: <http://kre.elf.stuba.sk/old/konferencie/SVOC_2002/Telekomunikacie/beszedes.pdf>.
- [10] MALÝ, Milan. *Rozpoznávanie 3D tváří*. [s.l.], 2007. 26 s. Diplomová práca. Dostupný z WWW: <<http://siret.ms.mff.cuni.cz/skopal/mdb/referaty/2006/3D%20Face%20Matching.ppt>>.
- [11] *Wikipedia slobodná encyklopédia* [online]. 2001 , 12. máj 2008 [cit. 2008-05-26].

- Dostupný z WWW:
<http://sk.wikipedia.org/wiki/D%C3%BAhovka_%28anat%C3%B3mia%29>.
- [12] *Retina* [online]. 2005 , 03/12/2005 [cit. 2008-05-26]. Dostupný z WWW:
<http://www.biometricwatch.com/Technologies/Retina_recognition/retina.htm>.
- [13] BAUMANN, Jim. *Voice recognition* [online]. 1993 [cit. 2008-05-26]. Dostupný z WWW:
<<http://www.hitl.washington.edu/scivw/EVE/I.D.2.d.VoiceRecognition.html>>.
- [14] MAINGUET, Jean-Francois. *Biometrics* [online]. c2004-2007 , 20.4.2008 [cit. 2008-05-26]. Dostupný z WWW: <http://pagesperso-orange.fr/fingerchip/biometrics/types/fingerprint_algo.htm>.
- [15] *Optel ultrasonic technology* [online]. 2004 , may 2003 [cit. 2008-05-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.optel.pl/article/deutsch/idea.htm>>.
- [16] SCHEENSTRA, Alize, RUIFROK, Arnout, VELTKAMP, Remco C. A Survey of 3D Face Recognition Methods. *Avbpa* [online]. 2007 [cit. 2008-05-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.cs.uu.nl/groups/MG/multimedia/publications/art/avbpa05.pdf>>.
- [17] KAKADIARIS, I., et al. 3D Face recognition. 387 [online]. 2007 [cit. 2008-05-26], s. 1-10. Dostupný z WWW: <<http://www.macs.hw.ac.uk/bmvc2006/papers/387>>.
- [18] BRONSTEIN, Alexander M., BRONSTEIN, Michael M., KIMMEL, Ron. Expression-Invariant 3D Face Recognition. *Lncc faces* [online]. 2007 [cit. 2008-05-26], s. 1-9. Dostupný z WWW: <http://www.face-rec.org/algorithms/3D_Morph/LNCC_faces2003.pdf>.
- [19] *ADI international* [online]. září 2007 [cit. 2008-05-26]. Dostupný z WWW: <http://www.olympo.cz/data/pdf/adi-olympo_firemni_novinky_9_10_2007.pdf>.
- [20] ŠALING, Samo, IVANOVÁ-ŠALINGOVÁ, Mária, MANÍKOVÁ, Zuzana. *Slovník cudzích slov*. [s.l.] : Samo, 2002. 688 s. ISBN 8096752472.
- [21] GRGIC, Mislav, DELAC, Kresimir. *Face recognition homepage* [online]. 2005-2008 , 08 October 2007 [cit. 2008-05-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.face-rec.org/algorithms/>>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

3D	Three dimensional, trojrozmerný.
2D	Two dimensional, dvojrozmerný.
FRR	False reject rate, pravdepodobnosť chybného zamietnutia.
FAR	False accept rate, pravdepodobnosť chybnjej akceptácie.
DNA	Deoxyribonucleic acid, deoxyribonukleová kyselina.
CCD	Charge coupled derice, typ svetlocitlivého snímača.
PCA	Principal component analysis, metóda z Karkunen-Loeveovej tranformácie.
ICA	Independent component analysis, Metóda nezávislej analýzy komponentov.
LDA	Linear discriminant analysis, Lineárna diskriminantná analýza.
DV	Digital video, digitálne video.
PIN	Postal index number, indexové číslo.
MDS	Multidimensional scaling, mnohorozmerná úprava mierky.
FMTD	Fast marching on triangulated domains, trojuholníková metóda.

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. č. 1: Základné daktyloskopické vzory [6]	16
Obr. č. 2: Individuálne znaky v poradí zľava: oko, vidlica, protividlica, hák, protihák, končiaca línia, začínajúca línia, nedokončená slučka, vložená línia, prerušovaná línia, ostrov a spojená vidlica [6]	17
Obr. č. 3: Snímanie odtlačkov pomocou polovodičov [7]	18
Obr. č. 4: Verifikácia tváre pomocou metódy porovnávania obrazov (model rozpoznávania Patch model) [8]	20
Obr. č. 5: Postup 3D verifikácie tváre [10]	22
Obr. č. 6: Anatómia oka [11]	23
Obr. č. 7: Ľudská sietnica [12]	24
Obr. č. 8: Porovnávanie odtlačku prsta z desiatich vzorov so skrytým odtlačkom prstu využitím detailov [14]	28
Obr. č. 9: Z obrázku je viditeľné, koľko bodov pracuje na jednoduchej štruktúre oblúku [15]	30
Obr. č. 10: Z obrázku je viditeľné, koľko bodov pracuje na jednoduchej štruktúre oblúku [15]	31
Obr. č. 11: (a) parametrizácia anotovaného modelu tváre, (b) anotované tvárové oblasti [17]	34
Obr. č. 12: (a) geometrický obraz, (b) normálny mapový obraz subjektu [17]	36
Obr. č. 13: Grafy geometrických invariantov prislúchajúce k predchádzajúcim rovniciam (GeoInvariant) [3]	45
Obr. č. 19: Štruktúra sploštenia s interpoláciou na X^1X^2 rovine: mapovanie štruktúry povrchu tváre(A) v kanonickej forme, (B) štruktúra vyplývajúca z textúry, (D) kanonický obraz [18]	53
Obr. č. 20: Najbližšia zhoda získaná vlastným rozkladom rozsahových obrazov (A) kanonické obrázky, (B) zlé zhody sú napísané kurzívou [18]	54
Obr. č. 21: Najbližšie zhody získané metódou (A) vlastnej formy (B), zlé zhody sú napísané kurzívou [18]	54
Obr. č. 22: Systém VisionAccess. [19]	59

ZOZNAM TABULIEK

Tab. č. 1: Hodnoty invariant pre scény s zornými uhlami pozorovania.....	42
--	----

ZOZNAM PRÍLOH

Príloha P I: Laboratórna úloha

PRÍLOHA P I: LABORATÓRNA ÚLOHA

UTB v Zlíne, Fakulta Aplikovanej informatiky

Laboratórna úloha

Názov

Overenie funkcií biometrického systému VisionAccess.

Úloha

1. Zoznámte sa s teoretickými poznatkami o biometrii a biometrických systémoch všeobecne.
2. Teoreticky sa oboznámte s biometrickým systémom VisionAccess.
3. Zoznámte sa a vyskúšajte základné funkcie biometrického systému .
4. Zoznámte sa a vyskúšajte pokročilejšie funkcie (zavádzanie novej šablóny).
5. Vykonajte identifikáciu pomocou tváří, ktoré sú v databáze systému (šablóny zavedené v predchádzajúcom bode).
6. Vykonajte identifikáciu tváří, ktoré nie sú v databáze systému (tváre, ktoré neboli uvedené ako šablóny v bode 4).
7. Vykonajte identifikáciu tváří, ktoré sú zadané v systéme (zadanie bolo vykonané v bode 4), pričom bude zmenený výzor pomocou: a) náušnic, b)okuliarov, c) umelých fúzov, d) parochne, e) klobúku, f) zmenením výrazu v tvári (úsmev, grimasy).

Teória

Definícia biometrického systému

Biometrický identifikačný systém charakterizujeme ako automatizovaný systém, ktorý umožňuje nasnímať jednotlivé biometrické vzorky, čiže údaje reprezentujúce biometrickú vlastnosť užívateľa tak, ako bola nasnímaná.

Funkcie biometrických systémov

1. Identifikácia - porovnávanie vstupnej vzorky s databázou a identifikácia zhody z množiny všetkých vzorov. Táto metóda sa používa v prípadoch, keď identifikovaná osoba systému vopred nie je známa.
2. Verifikácia - slúži pre overenie identity systému vopred známej osoby. V tomto prípade je potrebné porovnať len vzory, teda vstupný vzor s uloženým vzorom pre identifikovanú osobu.

Biometrické znaky

Biometrický znak je základný prvok, ktorý je skúmaný biometriou, na základe ktorého je vykonaná identifikácia (zistovanie totožnosti), verifikácia (overovanie, overenie, preskúmanie a potvrdenie pravosti, alebo správnosti) alebo autentizácia (overenie identity). Každý druh biometrie je závislý vo väčšej, či menšej miere na príslušnom biometrickom znaku, ktorý je skúmaný.

Rozdelenie biometrických systémov podľa typu skúmaného biometrického znaku

Jedným z kritérií rozdelenia biometrických identifikačných systémov je delenie podľa toho, aký biometrický znak skúmajú:

1. Stabilné údaje – ide o postupy založené na fyzických alebo fyziologických aspektoch, ktoré merajú fyziologické vlastnosti osôb a zahŕňujú:
 - verifikáciu odtlačkov prstov,
 - rozpoznávanie očnej dúhovky,
 - analýzu očnej sietnice,
 - rozpoznávanie ľudskej tváre,
 - analýzu markantov hlavy,
 - rozpoznávanie tvaru ucha,
 - detekciu pachy tela,
 - rozpoznávanie hlasu,
 - analýzu vzoriek DNA.
2. Nestabilné údaje, alebo charakteristiky správania sa – ide o postupy založené na rysoch chovania, ktoré merajú chovanie osoby a zahŕňujú:
 - verifikáciu vlastnoručného podpisu,
 - analýza chôdze,
 - pohyby úst,
 - analýzu stláčania tlačidiel.

Všeobecná charakteristika biometrického systému využívajúceho na identifikáciu tvár

Biometrické metódy, používané v posledných rokoch pri verifikačných a identifikačných procesoch, získali na trhu svoju neodmysliteľnú pozíciu. Jedna z metód, o ktorej sa v dnešnej dobe diskutuje, je verifikácia tvárových biometrických znakov. Na trhu je rad zariadení, ktoré

UTB v Zlíne, Fakulta Aplikovanej informatiky

využívajú k svojej funkcii tzv. "tvárovú biometriu", a to od najjednoduchších, až po veľmi kvalitné a pokročilé riešenia.

Táto biometrická metóda je centrom mnohých výskumov. Problematika identifikácie osôb využívajúca rozpoznávanie tváre je veľmi obsiahla. Preto je dnes verifikácia tváre najviac skúmanou metódou.

Pri biometrickom rozpoznávaní tváre sa vyskytujú aj určité problémy, ktoré znepresňujú rozpoznávanie biometrických znakov na tvári. Konkrétne sa jedná o:

1. polohu hlavy (a tváre),
2. osvetlenie,
3. výraz tváre,
4. starnutie.

V súčasnej dobe je známych niekoľko techník rozpoznávania tváre. Medzi najviac používané patria:

1. Metóda merania geometrických vlastností.
2. Metóda porovnávania obrazov. [8]
3. Metóda využívajúca neurónové siete (patrí medzi najnovšie metódy).

Ostatné techniky, ktoré sú používané na rozpoznávanie tváre sa rozdeľujú podľa toho, aký typ obrazu je nasnímaný. Konkrétne sa jedná o:

1. 2D verifikáciu tváre.
2. 3D verifikáciu tváre.

Všeobecná charakteristika biometrického systému využívajúceho na identifikáciu 3D rozpoznávania tváre

Proces rozpoznávanie 3D tvári:

1. Získanie 3D modelov.
2. Rozpoznanie a odstránenie rigid deformácií.
3. Vytvorenie modelu nonrigid deformácií.
4. Vyhodnotenie výsledkov a konečné rozhodnutie.

Rozdelenie deformácií:

1. Rigid deformáciu tváre spôsobujú zmeny polohy tváre, ktoré sú spôsobené zmenou polohy hlavy.
2. Non-rigid deformácie sú spôsobené ostatnými zmenami, ako sú napr.: výraz tváre alebo zmeny spôsobené stárnutím.

System VisionAccess

System VisionAccess slúži na rozpoznávanie osôb podľa ľudskej tváre. Snímanie je zachytené pomocou 3D kamery, jedná sa teda o trojrozmerné snímanie tváre. Snímanie je prevádzkované v neviditeľnej oblasti blízkej infračervenému žiareniu. Výrobca uvádza, že systém je odolný voči zmenám pigmentácie kože vplyvom opálenia, fúzom na tvári, doplnkom, atď. Využitých je vyše 40 tisíc identifikačných bodov. Pozornosť je zameraná primárne na čelo, okolie očí, vrchol nosa.

Tento systém sa skladá z jednotky 3D EnrolCam, ktorá slúži na zavádzanie nových frekvenčných šablón tvári a jednotky 3D FaceReader, ktorá je určená na vykonávanie vlastnej autorizácie osôb. Jednotka je vybavená pamäťou pre 4000 šablón tvári.

Autorizáciu je možné vykonávať v dvoch základných režimoch. Prvým režimom je identifikácia 1:n, kedy užívateľ predstúpi pred vyhodnocovaciu jednotku 3D FaceReader a bez zadania PINU alebo priloženia karty jednotka prehľadá pamäť, či sa v nej nachádza šablóna tváre pre daného užívateľa. Druhým režimom je verifikácia 1:1, kedy užívateľ zadá PIN alebo priloží bezkontaktnú kartu a vyhodnocovacia jednotka podľa čísla PIN kódu alebo karty porovná šablónu založenú pod týmto číslom s tvárou užívateľa, ktorý stojí pred jednotkou.

Autorizácia užívateľa trvá menej než 1 sekundu, zavedenie nového užívateľa do systému trvá 4 až 8 sekúnd. [29]

Vybrané technické parametre o systéme VisionAccess

Verifikácia (1:1):

- čas zápisu 4 až 8 sekúnd,
- čas verifikácie < 1 sekunda,
- FAR (miera chybných prijatí) nestabilná,
- FRR (miera chybných odmietnutí) nestabilná.

- FAR = FRR 0,1 %.

Identifikácia (1:N):

- čas zápisu 4 až 8 sekúnd,
- čas identifikácie < 1 sekunda,
- FAR (pomer falošných prijatí) užívateľom nastaviteľný,
- FRR (pomer falošných zamietnutí) užívateľom nastaviteľný.

Postup merania

Postupujte podľa krokov uvedených v sekcii úloha a vyplňte nasledujúce tabuľky.

- Identifikácia tvári, ktoré boli zadané do systému ako šablóna. V jednej tabuľke bude použitá jedna tvár, ktorá je uvedená v databáze. Na overenie správnosti identifikácie použite najmenej 3 tváre uvedené v databáze.

počet meraní	pozitívna identifikácia	negatívna identifikácia
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		

Tabuľka č. 1: Identifikácia jednej tváre zadanej v databáze.

Počet pozitívnych identifikácií v percentách:

Počet negatívnych identifikácií v percentách:

- Identifikácia tvári, ktoré neboli uvedené v databáze. V jednej tabuľke bude použitá jedna tvár, ktorá nie je uvedená v databáze. Na overenie správnosti identifikácie použite najmenej 3 tváre, ktoré nie sú uvedené v databáze.

počet meraní	pozitívna identifikácia	negatívna identifikácia
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		

Tabuľka č. 2: Identifikácia jednej tváre neuvedenej v šablóne.

Počet pozitívnych identifikácií v percentách:

Počet negatívnych identifikácií v percentách:

- Identifikácia tvári uvedených v databáze, pričom bude zmenený výzor pomocou: a) náušnic, b) okuliarov, c) umelých fúzov, d) parochne, e) klobúku, f) zmenením výrazu v tvári (úsmev, grimasy). V jednej tabuľke bude použitá jedna tvár, ktorá je uvedená v databáze so zmeneným výzorom. Na overenie správnosti identifikácie použite najmenej 3 tváre.

známa šablóna	pozitívna identifikácia	negatívna identifikácia	
tvár s náušnicami			
tvár s okuliarmi			
tvár s umelými fúzmi			
tvár s parochňou			
tvár s klobúkom			
tvár so zmeneným výrazom			

Tabuľka č. 3: Identifikácia jednej tváre uvedenej v databáze so zmeneným výzorom.

Počet pozitívnych identifikácií v percentách:

Počet negatívnych identifikácií v percentách:

Záver

V závere budú uvedené výsledky meraní, subjektívne hodnotenie prístroja a výsledkov merania.