

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

APLIKACE PRO DEMONSTRACI MULTI-BIOMETRICKÉ FÚZE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAROSLAV HANÁK

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

APLIKACE PRO DEMONSTRACI MULTI-BIOMETRICKÉ FÚZE

APPLICATION DEMONSTRATING MULTI-BIOMETRIC FUSION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAROSLAV HANÁK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ŠTĚPÁN MRÁČEK

BRNO 2014

Abstrakt

Tato práce je zaměřena na oblast biometrie, multi-biometrie, normalizace a fúze v multi-biometrických systémech a jejich hodnocení výkonnosti. Obsahuje stručný úvod do této problematiky a přehled používaných technik. Cílem práce je navrhnout a poté implementovat aplikaci demonstrující výkonnost systémů spadajících do kategorie multi-modálních biometrických systémů. Dále jsou popsány experimenty s databází šablon z multi-biometrického systému a v závěru jsou shrnuty dosažené výsledky.

Abstract

This work is focused on biometrics, multi-biometrics, normalization and fusion in multi-biometrics systems and their performance evaluation. It contains a brief introduction to the problem and an overview of the techniques. The aim is to design and then implement an application demonstrating the performance of systems that fall into the category of multi-modal biometric systems. Furthermore, the experiments with the database templates of multi-biometric system and the conclusion summarizes the results.

Klíčová slova

Biometrie, multi-biometrie, fúze, normalizace, Qt, FMR, FNMR, EER, aplikace, modality, výkonnost, DET, hustota pravděpodobnosti.

Keywords

Biometric, multi-biometric, fusion, normalization, Qt, FMR, FNMR, EER, application, modalities, performance, DET, probability density.

Citace

Jaroslav Hanák: Aplikace pro demonstraci multi-biometrické fúze, bakalářská práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2014

Aplikace pro demonstraci multi-biometrické fúze

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana Ing. Štěpána Mráčka. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....
Jaroslav Hanák
19. května 2014

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat panu Ing. Štěpánu Mráčkovi za odborné rady a cenné připomínky, kterými přispěl k vypracování bakalářské práce. Velké poděkování patří i celé mé rodině za podporu, kterou mi věnovala po dobu studia a vypracování bakalářské práce.

© Jaroslav Hanák, 2014.

Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.

Obsah

1	Úvod	3
2	Biometrie	4
2.1	Výhody, nevýhody	4
2.2	Biometrický systém	4
2.2.1	Výhody, nevýhody	6
3	Multi-biometrie, Multi-biometrický systém	7
3.1	Výhody	7
3.2	Zdroje informací	8
3.3	Normalizace	8
3.3.1	Techniky normalizace	9
3.4	Fúze	10
3.4.1	Úrovně fúze	10
3.4.2	Techniky fúze	11
4	Hodnocení biometrických systémů	12
4.1	Chyby	12
5	Návrh aplikace	14
5.1	Specifikace požadavků	14
5.1.1	Vstup aplikace	14
5.1.2	Výstup aplikace	15
5.1.3	Formát souboru s parametry	16
5.1.4	Export do souboru	18
5.2	Architektonický návrh	18
5.2.1	Struktura dat	19
6	Implementace	20
6.1	Použité prostředky	20
6.2	Grafické uživatelské rozhraní	20
6.3	Logika programu	22
6.4	Použité algoritmy	24
7	Experimenty	25
7.1	Rychlost výpočtu	25
7.2	Popis experimentů	26
7.2.1	Výpočet celé databáze	26

7.2.2	Výpočet vybraných sad vektorů rysů 1	27
7.2.3	Výpočet vybraných sad vektorů rysů 2	28
8	Závěr	29
A	Obsah CD	31
B	Manual	32
B.1	Vložení biometrických dat	32
B.1.1	Vkládání trénovacích dat (Export parametrů)	32
B.1.2	Import trénovacích dat ze souboru	33
B.1.3	Vkládání testovacích dat	33
B.1.4	Přidání/Nastavení trénovacích/testovacích modalit	33
B.2	Nastavení průběhu výpočtu	33
B.3	Spuštění výpočtu	33
B.4	Grafy	34
B.5	Ukazatel FMR	34
B.6	Export vypočítaných hodnot	34

Kapitola 1

Úvod

V dnešní době funguje k ověření identity mnoho funkčních a rozšířených způsobů, jako jsou tajná hesla, čipové karty, speciální postupy, které se musí přesně dodržet, atd. Tyto způsoby již nejsou pro dnešní populaci dosti pohodlné a bezpečné. Člověk si musí svoji tajnou informaci (heslo, postup) pamatovat, chránit a opatrovat před odcizením nebo poškozením. Řešením těchto nedostatků je biometrie.

Základy tomuto oboru položil již roku 1892 anglický vědec Francis Galton svým dílem „Finger prints“ [5]. To jistě netušil jakému rozmachu se tomuto oboru dostalo po více než sto letech. Dnes samotná biometrie opět není dostačující a člověk se snaží posunout hranice pohodlí a bezpečnosti kupředu. Za pomoci dnešních výkonných počítačů je tento postup daleko rychlejší než v počátcích. Důsledkem je rozvoj multi-biometrie.

Cílem této práce je vytvořit grafickou aplikaci pro zobrazení vlastností a výkonnosti multi-biometrických a multi-algoritmických systémů. Tyto systémy pracují s různými modalitami nebo reprezentacemi modalit. Výsledkem jsou přehledné grafy hodnotící výkonnost systému a ukazatelé udávající vlastnosti.

V následujícím textu se čtenář stručně seznámí s výhodami a nevýhodami biometrie a biometrického systému, dále s obecným schématem jednoduchého biometrického systému (kapitola 2).

Kapitola 3 vysvětluje pojem multi-biometrii a multi-biometrický systém, jeho výhody oproti biometrii a zdroje informací. Součástí této kapitoly je i popis normalizace skóre porovnání, její využití v multi-biometrickém systému a používané techniky normalizace skóre porovnání. Vysvětluje pojem fúze a její rozdělení podle úrovně a místa použití a jednotlivé techniky fúze.

Poslední kapitola teoretického úvodu (kapitola 4) do problematiky se zabývá hodnocením biometrických systémů a jejich bezpečností, popisuje jednotlivé ukazatele výkonnosti a vyskytující se chyby.

Návrh aplikace poskytuje kapitola 5. Rozebírá požadavky na aplikaci, specifikuje vstupní a výstupní data a popisuje architekturu navržené aplikace.

Další kapitola 6 konkrétně specifikuje použité prostředky při vývoji aplikace, grafického rozhraní a popisuje algoritmus řízení výpočtu multi-biometrické fúze.

Následuje kapitola 7 popisující experimenty s vytvořenou aplikací a poskytnutými daty. Popisuje použití těchto dat a reprezentaci vypočítaných hodnot.

Kapitola 2

Biometrie

Pojem biometrie vznikl spojením dvou řeckých slov „bios“ (v překladu život) a „metron“ (v překladu měřítko) [7]. Tento pojem se užívá v několika oborech, jedním z nich jsou informační systémy. V tomto směru se jedná o soubor metod a měření za účelem automatického rozpoznání jedince na základě jeho anatomických (otisk prstu, sken obličeje, termogram ruky, apod.) nebo behaviorálních (hlas, mimika obličeje, dynamika stisku kláves, apod.) vlastností.

2.1 Výhody, nevýhody

Současné přístupy zabezpečení založené na něčem, co si člověk musí pamatovat (heslo, gesto, postup, apod.), nebo na něčem, co musí vlastnit (přístupová karta, apod.), dosahují velmi dobrých výsledků, ale trpí jednou velkou nevýhodou — nebezpečí vyzrazení přístupových údajů nebo jejich ztráta či odcizení. Jednou z výhod, kterou biometrie poskytuje, je vyšší bezpečnost. Člověk si nemusí informaci pro přístup pamatovat a ani ji nemůže ztratit, protože biometrickou informaci nosí vždy a každý sám v sobě. Kvůli faktu, že každý jedinec nosí svou vlastní jedinečnou biometrickou informaci dokáže biometrie eliminovat pokusy o popření identity. Další výhodou, s tím související, je obtížnost podvržení biometrické informace cizí identitou.

Biometrie má své výhody, ale i nevýhody. Jednou z největších nevýhod je nemožnost vytvoření nové biometrické informace v případě jejího prozrazení. Tuto nevýhodu částečně kompenzuje nutnost detekování živosti. Při získávání biometrické informace od konkrétní osoby je nutné, aby požadovaná informace byla dosažitelná. Tato skutečnost přináší další nevýhodu — nezachovává soukromí.

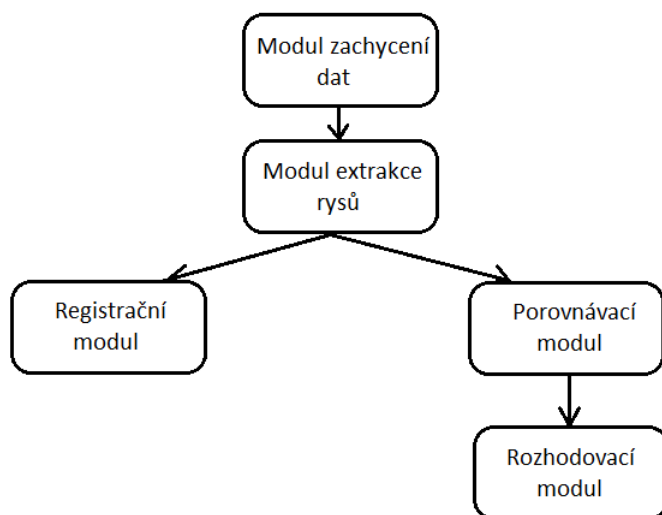
2.2 Biometrický systém

Jedná se o systém založený na biometrii, který pracuje ve dvou základních módech. Prvním z nich je **přihlašovací mód** (enrollment mode) [3], provádějící registraci nových uživatelů. Biometrická data jsou nasnímaná senzory a uložena do databáze spolu s informacemi o identitě přihlašovaného ve formě šablony. Druhým je **ověřovací mód** (authentication mode) [3]. V tomto módu pracuje systém ve 2 různých režimech.

Prvním z nich je **verifikace** [4]. Ta ověřuje, zda osoba žádající o přístup je opravdu ta, za kterou se vydává. Biometrická data nasnímaná senzorem jsou porovnávána proti konkrétní šabloně uložené v databázi a výsledkem je buď potvrzení (accept) nebo odmítnutí (reject).

Tento režim se používá převážně pro zabezpečení přístupu k systémům, datům, budovám, atd., ke kterým mají mít přístup pouze povolené osoby.

Druhým je **identifikace** [4]. Při ní dochází k nasnímání biometrických informací, prohledání databáze uložených šablon, u kterých známe majitele a porovnání. Výsledkem je seřazený seznam identit, u kterých byla porovnáním získána nejlepší shoda.



Obrázek 2.1: Části biometrického systému

Jednoduchý biometrický systém vychází z 5 základních modulů [3]:

Modul zachycení dat (Sensor module) Získává surová biometrická data ze snímacích senzorů. Například senzor pro snímání otisku prstu zachytí otisk prstu a převede jeho papírární linie do digitální podoby.

Modul extrakce rysů (Feature extraction module) V tomto modulu dochází k získání (extrakci) důležitých rysů z biometrických dat do podoby, ve které mohou být porovnávána s jinými šablonami uloženými v databázi. Například z biometrických dat získaných předchozím modulem zjistí pozici a orientaci markantů v digitální podobě otisku prstu a vytvoří vektor rysů (šablonu).

Registrační modul (Registration module) Dochází zde k uložení (registrování) nového uživatele (extrahovaného vektoru rysů) do databáze (viz kapitola 2.2).

Porovnávací modul (Matching module) Porovnávací modul provádí porovnání extrahovaného vektoru rysů se šablonou nebo šablonami uloženými v databázi (v závislosti na režimu ve kterém systém pracuje). Výsledkem jednotlivých porovnání je vypočítání porovnávacího skóre (matching score). Například pokud se jedná o systém pracující v režimu verifikace, získá modul jednu šablonu z databáze a porovná ji s nasnímáním vektorem rysů.

Rozhodovací modul (Decision-making module) Rozhodovací modul určuje na základě vypočítaného porovnávacího skóre, nastavení systému a použité techniky, zda rozhodnutí systému bude buď přijato (accept), nebo odmítnuto (reject).

2.2.1 Výhody, nevýhody

Výhodou biometrického systému je jeho automatický chod. Z toho plyne rychlost a pohodlí jak při verifikaci, tak při identifikaci, kde dochází k prohledávání a následně porovnání velkého množství biometrických informací. Dochází ke zkrácení času mezi spuštěním vyhodnocení a obdržení výsledné informace.

Nevýhodou biometrického systému je jeho napadnutelnost. Jak již z názvu vyplývá, jedná se o počítačový systém (program) a ten jako takový může být vždy podroben pokusům útočníka o jeho prolomení. Další nevýhodou je jeho neuniverzálnost. Systém musí být přizpůsoben prostředí, ve kterém bude provozován a typu osob, kteří budou biometrický systém využívat.

Kapitola 3

Multi-biometrie, Multi-biometrický systém

Veškeré výklady pojmů v této kapitole vycházejí z [2, 1]. Multi-biometrie je založena na postupech samotné biometrie a navíc zahrnuje množství postupů vedoucích k dosažení lepších rozpoznávacích výsledků než biometrie samotná. Z toho plyne, že multi-biometrický systém je mnohem robustnější a spolehlivější než biometrický systém. Multi-biometrický systém je systém pracující s reprezentacemi stejné nebo různé biometrické informace za účelem dosažení lepší rozpoznávací výkonnosti než uni-biometrický systém. Tento systém a multi-biometrie samotná pracují s tzv. fúzí na různých úrovních zpracování biometrické informace.

3.1 Výhody

Multi-biometrický systém odstraňuje některé nedostatky biometrických systémů. Tento systém dokáže předcházet konfliktům při chybné identifikaci uživatele použitím jiné dostupné biometrické informace. Například pokud má osoba poškozený otisk prstu (suchá, popraskaná pokožka, poranění, apod.), bráníci nasnímání kompletní biometrické informace, může se použít sken sítnice oka, nebo při snímání hlasu může být v pozadí hluk, proto se raději použije sken ruky, apod.

Rychlejší filtrování dat v rozsáhlých databázích je jednou z dalších výhod multi-biometrického systému. Systém při identifikaci nejprve získá první biometrickou informaci (např. sken tváře), pomocí které omezí soubor procházených dat, a druhou biometrickou informací (např. otisk prstu) přesně identifikuje konkrétní osobu.

Další výhodou je, že takový systém umožňuje nepřetržité monitorování osob v situacích, kdy jedna biometrická informace není dostačující k identifikaci. Příkladem může být chůze sledované osoby z kopce, tato chůze se od běžné liší, použije se jiná biometrická informace, například sken tváře. Z toho vyplývá, že všechny sledované biometrické informace se nemusí v jednom okamžiku shodovat, mohou se různě prolínat.

Multi-biometrický systém může být označen za systém odolný vůči chybám. Jeho nezávislost na jedné biometrické informaci dovoluje systému kdykoli přestat důvěřovat jednomu zdroji biometrických informací a začít využívat jiný. Například pokud přichází ze senzoru na snímání otisku prstu špatné informace (senzor je poškozen, uživatel zasáhl do jeho funkčnosti, atd.) nebo vůbec neodpovídá, může systém začít používat jiný.

Výhodou proti biometrickému systému je vyšší bezpečnost. Multi-biometrický systém

pracuje s různými biometrickými informacemi téže osoby a podvrhnout všechny tyto informace je velmi obtížné.

3.2 Zdroje informací

Protože multi-biometrický systém, jak již z názvu vyplývá, využívá více zdrojů biometrických informací, může být multi-biometrický systém zařazen do jedné z šesti kategorií:

Multi-senzorické systémy (Multi-sensor system) Používá více snímacích senzorů k zachycení jedné biometrické informace. Například ke snímání obličeje může být použito více kamer. Jedna snímá 2D obraz obličeje, druhá snímá obraz v infračerveném spektru.

Multi-algoritmické systémy (Multi-algorithm system) Využívá různých algoritmů na stejná biometrická data, proto je finančně nejšetnější v porovnání s ostatními multi-biometrickými systémy, ale na druhou stranu náročnější na výpočetní výkon. Tento systém může pracovat na dvou úrovních zpracování biometrických dat. Na první úrovni, nejnižší, může vyvolat několik odlišných algoritmů pro extrakci surových dat ze snímače, na druhé úrovni, vyvolat několik odlišných algoritmů pro porovnání biometrických informací, nebo může tyto dvě úrovně kombinovat.

Multi-instanční systémy (Multi-instance system) Získávají několik biometrických informací (instancí) stejného rysu jedné osoby. K následné identifikaci osoby stačí některá z instancí. Například systém požaduje nasnímání všech 10 otisku prstů jedné osoby.

Multi-vzorkové systémy (Multi-sample system) Jeden snímač lze použít k získání více vzorků jednoho rysu. Systém by měl být schopen správně rozpoznat a použít správné vzorky k určení nejvýstižnějšího obrazu snímaného rysu. Problém těchto systémů je určení počtu snímaných vzorků. Například systém pro rozpoznání obličeje nasnímá přední stranu obličeje, pravý a levý profil obličeje tak, aby co nejvíce zaznamenal důležité detaily.

Multi-modální systémy (Multi-modal system) Identifikace a verifikace probíhá na základě několika biometrických informací téže osoby. Přesnost lze teoreticky zvyšovat přidáváním dalších rysů, ale to s sebou nese další problémy jako například zvýšení nákladů na nasazení a údržbu systému, zvyšující se nároky na propustnost sítě, zvýšení chybovosti, atd. Problém u tohoto typu systému je určení biometrických informací, které spolu korelují. Například použití systému vyžadující otisk prstu a sken obličeje (nekorelují spolu) vede k lepším výsledkům než systém vyžadující nahrávku hlasu a záznam pohybu rtů (korelují spolu).

Hybridní systémy (Hybrid system) Tyto systémy kombinují výše uvedené typy.

3.3 Normalizace

Skóre získané porovnáním dvou vektorů rysů má určitý rozsah hodnot. Rozsahy takto získaných skóre se většinou liší v závislosti na použité metrice porovnání. Pro tento důvod není možné provést porovnání a získat tím smysluplná data. Normalizace tento problém

řeší tím, že transformuje rozsahy hodnot porovnávacího skóre do společné domény. Jakmile jsou rozsahy hodnot normalizovány, je použito některé z technik fúze na úrovni skóre.

3.3.1 Techniky normalizace

Technik normalizace je několik a liší se hlavně ve svých vlastnostech. Jsou určeny dvě důležité vlastnosti, první je **robustnost**. Udává, zda je daná technika citlivá na odlehlé hodnoty skóre nebo ne. Druhá vlastnost je **efektivita**, která udává podobnost získaného odhadu k optimálnímu odhadu, za předpokladu, že je známo rozložení dat.

Min-max

Min-max normalizace je nejjednodušší normalizační technika, která je citlivá na odlehlé hodnoty, není robustní. Transformuje rozložení porovnávacího skóre do intervalu 0 až 1 a zachovává původní rozložení hodnot. Pro výpočet je buď nutné znát minimální a maximální hodnotu skóre, nebo v případě, že hodnoty nejsou známy, lze je odhadnout.

$$s'_n = \frac{s_n - \min}{\max - \min} \quad (3.1)$$

Výpočet normalizovaného skóre udává vzorec (viz vzorec 3.1), kde s'_n je normalizovaná hodnota porovnávacího skóre, s_n je hodnota původního skóre, $n = \{1, 2, \dots\}$, \min je nejmenší hodnota a \max je největší hodnota skóre.

Median a MAD

Normalizační technika řadí se mezi robustní metody — není citlivá na odlehlé hodnoty. Nedostatkem této metody je její závislost na rozložení hodnot. Pokud se rozložení nepodobá Gaussově rozložení, dostává tato metoda horší odhady parametrů. Tato metoda neudrží původní rozložení hodnot a ani netransformuje tyto hodnoty do společné domény.

$$s'_n = \frac{s_n - \text{median}}{\text{MAD}} \quad (3.2)$$

Vzorec 3.2 normalizuje skóre, kde s'_n je normalizovaná hodnota skóre, s_n původní hodnota skóre, $n = \{1, 2, \dots\}$ a $\text{MAD} = \text{median}(|s_n - \text{median}|)$.

Z-score

Nejpoužívanější normalizační technika využívající k výpočtu aritmetický průměr a směrodatnou odchylku. Tato technika je citlivá na odlehlé hodnoty a proto nespadá do kategorie robustních technik. Dále nedokáže udržet původní rozložení hodnot a nedokáže transformovat hodnoty do společné domény.

$$s'_n = \frac{s_n - \mu}{\sigma} \quad (3.3)$$

Normalizované skóre se vypočítá podle vzorce 3.3, kde s'_n je normalizovaná hodnota skóre, s_n je původní hodnota skóre, $n = \{1, 2, \dots\}$, μ je aritmetický průměr a σ je směrodatná odchylka.

3.4 Fúze

Slovo fúze [6] se dá přeložit jako splynutí nebo sloučení. V kontextu mutli-biometrických systémů se jedná o spojení dvou informací do jedné, společné informace, charakteristické pro obě původní. Z praktického hlediska se dá říct, že se jedná o dva nebo více biometrických systémů spojených (fúzovaných) na různých úrovních [3].

3.4.1 Úrovně fúze

Úroveň fúze multi-biometrického systému můžeme zařadit do jedné ze dvou základních kategorií [2, 1]. Toto rozřazení do kategorií závisí na době fúze biometrických informací.

Fúze před porovnáním (Pre-classification)

Fúze před porovnáním je jednou ze základních kategorií fúze. V této kategorii dochází k redukci porovnávaných biometrických dat, protože data jednotlivých biometrických rysů jsou již sjednocena. Do této kategorie se řadí následující typy fúze:

Fúze na úrovni senzoru (Sensor-level fusion) Surová biometrická data získávána z konkrétních biometrických rysů jedince mohou být zanesena například hlukem v pozadí, v případě záznamu hlasu, nebo suchou pokožkou při snímání otisku prstu, apod. Fúze na této úrovni může probíhat dvěma způsoby, buď mohou být biometrická data získána z několika senzorů, nebo z jednoho senzoru opětovným snímáním.

Fúze na úrovni vektoru rysů (Feature-level fusion) Data získaná z jednotlivých senzorů jsou použita na výpočet vektoru rysů každé biometrické informace zvlášť (jednotlivé vektory rysů jsou na sobě nezávislé). Vypočítané vektory jsou následně spojeny do jednoho výsledného vektoru rysů a předány dále ke zpracování. Na této úrovni fúze probíhá normalizace, transformace a redukce vektoru za účelem určení charakteristických rysů a tím zvýšení rozpoznávacího výkonu systému.

Fúze po porovnání (Post-classification)

Nejprve dochází k porovnání jednotlivých biometrických informací a pak k fúzi. Řadí se sem následující typy fúzí:

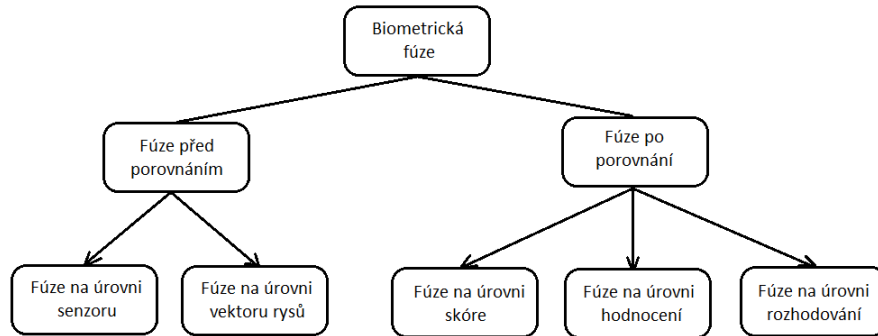
Fúze na úrovni skóre (Score-level fusion) Každý biometrický systém vypočítává porovnávací skóre z vektoru rysů. Toto skóre udává podobnost nasnímaného biometrického rysu, reprezentované vektorem rysů, se šablonou uloženou v databázi. Porovnávací skóre je vypočítáno pro každý vektor rysů zvlášť a následně některou z metod fúzováno do výsledného porovnávacího skóre. Metody jsou rozděleny do 3 kategorií:

- Fúze založené na hustotě (density-based schemes)
- Fúze založené na transformaci (transformation-based schemes)
- Fúze založené na klasifikátorech (classifier-based schemes)

Fúze na úrovni hodnocení (Rank-level fusion) Týká se hlavně multi-biometrického systému pracujícího v identifikačním módu (viz kapitola 2.2), kdy výstupem není tvrzení přijato nebo odmítnuto, ale hodnocení shody (míry podobnosti) snímaného a uloženého biometrického rysu. Cílem je spojení hodnocení dílčích biometrických

podsystemů do jednotného výstupního hodnocení celého multi-biometrického systému.

Fúze na úrovni rozhodování (Decision-level fusion) Výsledná vypočítaná skóre porovnání jsou klasifikována do dvou tříd — přijato (accept) nebo odmítnuto (reject). Na základě těchto tříd je podle daného schématu rozhodnuto o konečném výsledku.



Obrázek 3.1: Graf rozdělení fúze

3.4.2 Techniky fúze

Pro fúzi na úrovni skóre existuje několik pravidel, pomocí kterých dochází ke spojení výsledků výpočtu porovnávacích skóre jednotlivých modalit do výsledného porovnávacího skóre. Následující pravidla spadají do kategorie transformační fúze na úrovni skóre.

Pravidlo sčítání (Sum rule)

Pravidlo sčítání je nejjednodušší pravidlo aplikované na všechny normalizované hodnoty porovnávacího skóre jednotlivých modalit. V následujícím vzorci je s_f výsledné skóre po fúzi a $s_1, s_2, s_3, \dots, s_n$ jsou normalizované hodnoty skóre jednotlivých modalit.

$$s_f = s_1 + s_2 + s_3 + \dots + s_n \quad (3.4)$$

Pravidlo násobení (Product rule)

Pravidlo násobení je podobné jako pravidlo sčítání. Všechny normalizované hodnoty porovnávacího skóre jednotlivých modalit se mezi sebou násobí a výsledkem je společné skóre pro všechny modalit. Problém u tohoto pravidla nastává v případě, že aplikujeme pravidlo na hodnoty porovnávacího skóre záporných hodnot. Jejich vynásobením dostáváme hodnoty, které zkreslují výslednou fúzi. Tento problém se dá vyřešit například normalizací dílčích skóre porovnání do intervalu $[0;1]$. V následujícím vzorci je s_f výsledné skóre po fúzi a $s_1, s_2, s_3, \dots, s_n$ jsou normalizované hodnoty porovnávacího skóre jednotlivých modalit.

$$s_f = s_1 * s_2 * s_3 + \dots * s_n \quad (3.5)$$

Kapitola 4

Hodnocení biometrických systémů

Veškeré definice pojmů a výklady uvedených vzorců vycházejí z [7, 4]. Každý biometrický systém vyžaduje k provedení své činnosti určité zdroje. Zdroji jsou myšleny výpočetní výkon a potřebný čas. Tyto zdroje jsou rozděleny mezi jednotlivé části systému (viz kapitola 2.2). Provedení své činnosti samo o sobě nezaručuje správné a věrohodné výsledky, proto v tomto systému musí hrát určitou roli zabezpečení. Každý z modulů systému je napadnutelný, proto musí být zabezpečen a tato činnost již odebírá ze zdrojů poměrně velkou část. Avšak při vývoji biometrického systému je preferována spíše rychlost a spolehlivost před bezpečností. Proto musí být nalezen kompromis mezi těmito vlastnostmi, aby bylo dosaženo určité úrovně zabezpečení (viz [7], strana 77).

4.1 Chyby

Při zpracování prochází biometrická informace celým biometrickým systémem a v každém z modulů je určitým způsobem transformována. V konečné podobě vychází ze systému jako výsledek o verifikace (přijato/odmítnuto) nebo výsledek identifikace (většinou hodnocení shody). V každém z modulů může být transformace informace negativně ovlivněna chybami.

Biometrický systém v konečném důsledku rozhodne jedním z následujících tvrzení:

Správné odmítnutí identity Osoba na vstupu není ta, za kterou se vydává, systém vyhodnotil požadavek jako odmítnuto.

Chybné odmítnutí identity Osoba na vstupu je ta, za kterou se vydává, systém vyhodnotil požadavek jako odmítnuto.

Správné přijetí identity Osoba na vstupu je ta, za kterou se vydává, systém vyhodnotil požadavek jako přijato.

Chybné přijetí identity Osoba na vstupu není ta, za kterou se vydává, systém vyhodnotil požadavek jako přijato.

Pro hodnocení biometrických systémů jsou důležité dvě z výše uvedených tvrzení. Jedním je **chybné odmítnutí** (chybné neshody) a druhým **chybné přijetí** (chybné shody). Za kterých vycházejí následující ukazatelé chyb vyskytující se jak v biometrických, tak v multi-biometrických systémech.

Ukazatel míry chybné shody ($FMR = \text{False Match Rate}$) Vychází z chyby, kdy biometrický systém vyhodnotí požadavek na verifikaci identity jako přijato, ale identita na vstupu není shodná s identitou vlastníci biometrickou informací, s níž je porovnávána (pokus útočníka o verifikaci pod jinou identitou).

$$FMR = \frac{\text{počet chyně přijatých osob}}{\text{celkový počet porovnání vzorků patřící různým osobám}} \quad (4.1)$$

Ukazatel míry chybné neshody ($FNMR = \text{False Non-Match Rate}$) Vychází z chyby, kdy biometrický systém vyhodnotí požadavek na verifikaci identity jako odmítnuto, ale identita na vstupu je shodná s identitou vlastníci biometrickou informací, s níž je porovnávána (chybné odmítnutí osoby, která je registrována v systému).

$$FNMR = \frac{\text{počet chyně odmítnutých osob}}{\text{celkový počet porovnání vzorků patřící stejným osobám}} \quad (4.2)$$

Ukazatel míry vyrovnaní chyb ($EER = \text{Equal Error Rate}$) Jedná se o oblast hodnoty prahu, při níž jsou hodnoty FMR a $FNMR$ stejné ($FNMR(T) = FMR(T)$). Bude odmítnuto stejný počet správných požadavků jako přijato chybných. Ukazatel EER se používá především pro stanovení hodnoty porovnávacího prahu daného systému s danými modalitami, aby následnými drobnými úpravami bylo dosaženo požadované výkonnosti systému.

Předchozí ukazatelé jsou silně závislé na nastaveném porovnávacím prahu. **Porovnávací práh** udává hranici mezi rozhodnutím systému o přijetí nebo odmítnutí požadavku verifikace a je nutné, aby byl nastavován s ohledem na předchozí ukazatele. Pokud se porovnávací práh posune jedním nebo druhým směrem, změní se i hodnoty ukazatelů FMR a $FNMR$ zároveň a vždy opačným směrem.

Protože jsou tyto ukazatelé spolu s porovnávacím prahem na sobě závislé, lze je zaznamenat do grafu a tím vytvořit ROC (Receiver Operating Characteristic) nebo DET (Detection Error Trade-off) graf. Takto vytvořená křivka znázorňuje výkonnost systému pro všechny hodnoty porovnávacího prahu. Rozdíl mezi ROC a DET grafem je jen ve způsobu vynášení hodnot na jednotlivé osy.

Kapitola 5

Návrh aplikace

Při návrhu aplikace je důležité se na problém podívat z několika úhlů pohledů. Prvním z nich je pohled uživatele (**specifikace požadavků**). Uživatele zajímá, jaká data musí aplikaci předat, aby mohla správně fungovat a jaká data aplikace uživateli vrátí jako výsledek své činnosti.

Druhým je pohled návrháře (**architektonický návrh**). V tomto pohledu musí návrhář rozhodnout, s ohledem na požadavky uživatele a funkci aplikace, jak bude rozložena vnitřní struktura aplikace. Tím se myslí, jaké datové struktury budou použity, jak budou jednotlivé úkoly rozděleny na menší podúkoly (dekompozice), jak bude vypadat rozhraní, se kterým uživatel komunikuje, jaké prostředky budou použity pro vývoj, atd.

Posledním pohledem je pohled programátora (**implementace**). Jeho úkolem je implementovat funkční aplikaci podle návrhu vytvořeného návrhářem.

5.1 Specifikace požadavků

Aplikace by měla být schopna načíst biometrické rysy, provést evaluaci těchto rysů v rámci konkrétní modality a získat skóre porovnání, získané skóre porovnání normalizovat, vypočítat ukazatele výkonnosti (viz kapitola 4.1) a grafy znázorňující výkonnost multi-biometrického systému.

Aplikace musí umět pracovat se dvěma typy vstupních dat a jednoznačně mezi nimi rozlišovat. Prvním z nich jsou **trénovací data** (trénovací vektory rysů). Slouží k výpočtu parametrů normalizace a jejich přítomnost v aplikaci je volitelná (buď budou přítomny trénovací data nebo bude aplikaci předán soubor s parametry pro normalizaci). Druhým typem jsou **testovací data** (testovací vektory rysů). Každá sada testovacích dat je určena svým názvem a musí mít v aplikaci odpovídající sadu trénovacích dat stejného názvu nebo záznam s parametry v souboru. Výsledná fúze se počítá pouze z testovacích dat.

5.1.1 Vstup aplikace

Funkce aplikace je silně závislá na vstupních datech. Data jsou do aplikace nahrána pomocí grafického rozhraní, konkrétně výběrem adresáře obsahující soubory v přesně daném formátu nebo výběrem konkrétního souboru.



Obrázek 5.1: Vstupy a výstupy aplikace

Biometrická data

Adresář reprezentuje sadu vektorů rysů (souborů) se specifickým pojmenováním, které umožňuje jednoznačné přiřazení identity. Každá sada vektorů rysů je reprezentována svým jménem a typem (testovací nebo trénovací). Formát souboru je následující a musí vyhovovat dvěma základním podmínkám:

- Název souboru ve tvaru `id osoby-id vektoru rysů`, kde `id osoby` je identifikátor snímané osoby a `id vektoru rysů` je identifikátor udávající konkrétní označení vektoru rysu jedné osoby, nabývá hodnot `[0, 1, 2, 3, ...]`.
- Obsah souboru obsahuje desetinná čísla. Tato desetinná čísla jsou od sebe oddělena znakem konce řádku.

Import parametrů

Další možností vstupu dat do aplikace je import parametrů. Tyto parametry jsou použity při normalizaci skóre modalit do společné domény. Formát souboru je následující:

- Název souboru závisí na uživateli a přípona musí být `.BioDat`.
- Obsah souboru musí dodržovat přesně daná pravidla. (viz kapitola 5.1.3)

5.1.2 Výstup aplikace

Výstupem jsou ukazatelé výkonnosti pro jednotlivé sady vektorů rysů a pro celý multi-biometrický systém, skládající se ze sad vektorů rysů vložených do aplikace jako testovací, vypsaných v přehledných tabulkách. Dalším výstupem jsou grafy, které jsou vykresleny aplikací a jedná se o tři různé grafy.

První z nich je DET graf (viz kapitola 4.1) ukazující výkonost jednotlivých testovacích sad vektorů rysů v závislosti na změně prahové hodnoty. Součástí tohoto grafu je také křivka udávající výkonost multi-biometrického systému označená „Fusion“.

Druhý je graf znázorňující rozložení hustoty pravděpodobnosti skóre porovnání pro multi-biometrický systém. Tedy normované skóre všech modalit po aplikaci některého z pravidel pro fúzi (viz kapitola 3.4.2). V grafu jsou dvě křivky „Genuine“ a „Impostor“, kde první z nich ukazuje rozložení hustoty pravděpodobnosti právoplatných osob a druhá rozložení hustoty pravděpodobnosti neprávoplatných osob.

Třetí graf zobrazuje rozptyl skóre hodnot dvou vybraných sad vektorů rysů. Graf znázorňuje číselnou hodnotu vypočítaných korelačních koeficientů.

```

0      10      20      30
1  --Normalization--
2  -z-score-
3  name=ruka
4  arithmMean=0.965187
5  standardDeviation=0.147383
6
7  -z-score-
8  name=obličej
9  arithmMean=0.976114
10 standardDeviation=0.114278
11
12 -z-score-
13 name=sitnice
14 arithmMean=0.978334
15 standardDeviation=0.0994672
16
17 -z-score-
18 name=prst
19 arithmMean=495.614
20 standardDeviation=161.081
21
22 -z-score-
23 name=dlaň
24 arithmMean=0.97114
25 standardDeviation=0.124021
26
27 --END--
28

```

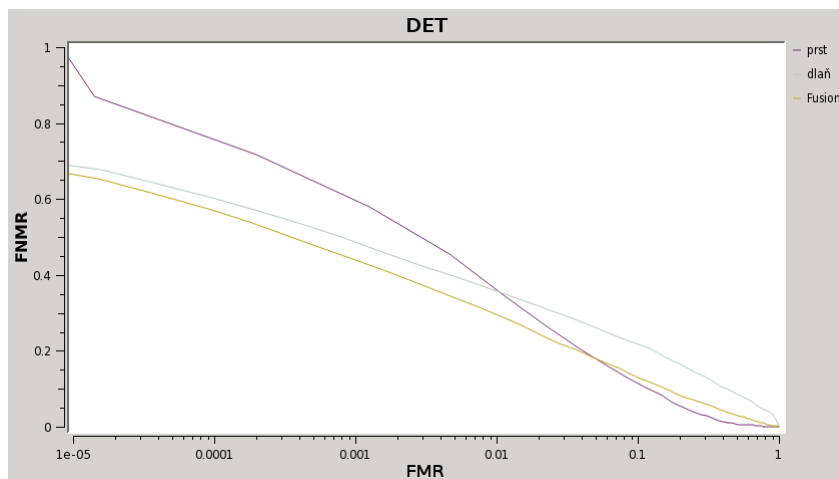
Obrázek 5.2: Formátování souboru s parametry

Volitelným výstupem se dá považovat export vypočítaných parametrů normalizace. Uživatel může vybrat pomocí grafického rozhraní cestu, kde bude soubor uložen, a jeho název. Přípona tohoto souboru je „BioDat“ a soubor je formátován stejnými pravidly jako pro import (viz 5.1.1), aby mohl být aplikaci zpět předán na vstupu a tím zkrácen čas výpočtu nových parametrů.

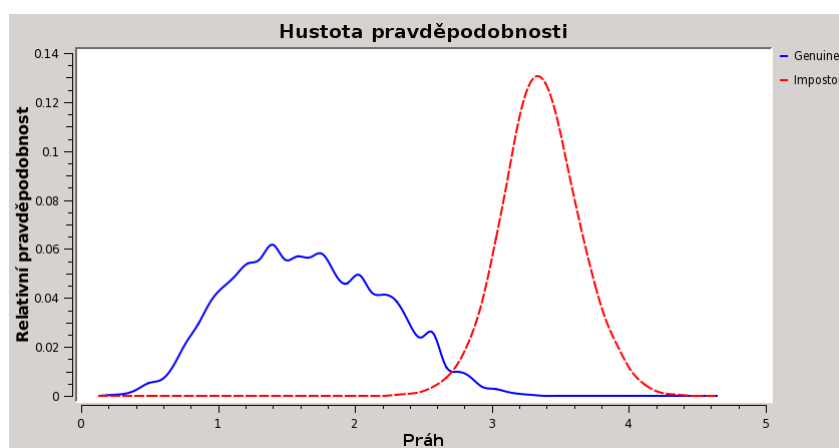
5.1.3 Formát souboru s parametry

Pokud uživatel vyžaduje zadat parametry pro výpočet normalizace ručně, například nemá k dispozici trénovací data, může tyto parametry vložit do souboru a aplikaci předat cestu k tomuto souboru. Aplikace soubor načte a parametry použije k výpočtu normalizace testovacích dat. Aby aplikace parametrům rozuměla, musí být dodrženo následující formátování souboru (příklad viz obrázek 5.2).

Oddíl s parametry normalizace je uvozen řádkem „--normalization--\n“. Tento řádek umožňuje rozšiřitelnost souboru o parametry jiných částí aplikace, například parametry výpočtu výkonnostních ukazatelů nebo parametry nastavení samotné aplikace. Další řádek udává typ normalizace. Jeden z „--z-score--\n“, „--min-max--\n“ nebo „--MAD--\n“. U jednotlivých typů normalizace jsou odlišné názvy parametrů (viz níže) potřebných k výpočtu dle konkrétního vzorce (viz kapitola 3.3.1). Ve všech blocích uvozených typem normalizace je jeden parametr stejný a to „name“ udávající název modality, ke které se parametry vztahují. Každý parametr následuje znak rovná se, jeho číselná hodnota a znak konce řádku. Za posledním parametrem daného bloku jsou jako oddělovač dva znaky konce řádku.



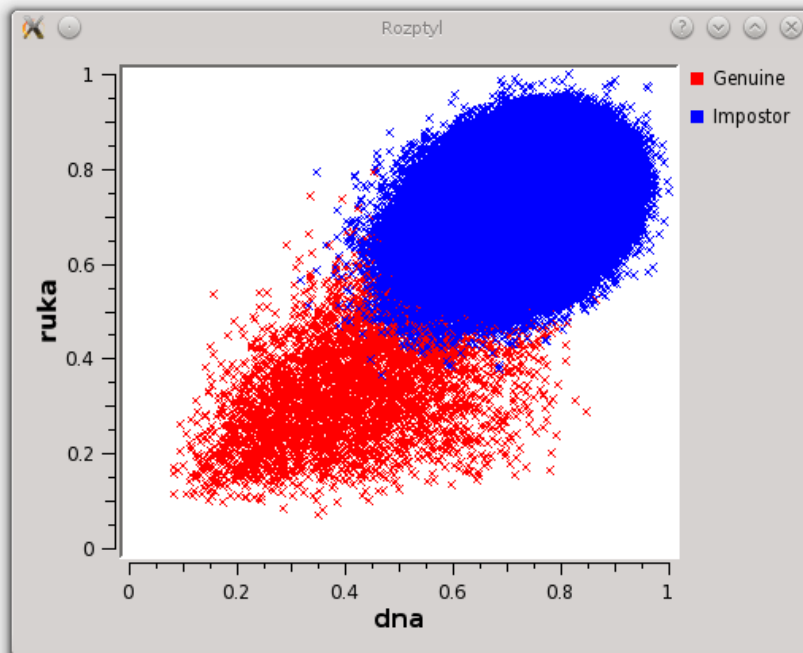
Obrázek 5.3: DET graf



Obrázek 5.4: Graf zobrazující rozložení hustoty pravděpodobnosti skóre výsledné fúze

Parametry jednotlivých normalizačních technik:

- z-score normalizace
 - **arithmMean** Aritmetický průměr.
 - **standardDeviation** Směrodatná odchylka.
- min-max normalizace
 - **minScore** Minimální hodnota skóre.
 - **maxScore** Maximální hodnota skóre.
- median a MAD normalizace
 - **median** Střední hodnota.
 - **medianMAD** Hodnota MAD.



Obrázek 5.5: Graf zobrazující rozptyl hodnot skóre dvou sad vektorů rysů

5.1.4 Export do souboru

Aplikace umožňuje exportovat vypočítané hodnoty ukazatelů (EER, FMR, FNMR, práh a korelační koeficienty) nebo výsledné grafy (DET, hustota pravděpodobnosti) do souboru. Umístění souboru a název může uživatel definovat pomocí grafického rozhraní. V případě ukazatelů se jedná o zobrazovanou tabulku s aktuálně nastavenými hodnotami a tabulku s aktuálně nastavenými ukazateli hodnot fúze. V případě grafů o soubor s názvem, který uživatel zadal (např. „DET-graf“). Obsahuje souřadnice jednotlivých křivek. K tomuto souboru aplikace vygeneruje druhý soubor obsahující příkazy pro Gnuplot (soubor „DET-graf-gnuplot“). Tento soubor je možné předat programu Gnuplot a výsledkem je vygenerování nového souboru s názvem „DET-graf.png“ obsahující obrázek s vypočítaným grafem. Stejný postup exportu je i pro graf hustoty pravděpodobnosti.

5.2 Architektonický návrh

Důležitou součástí návrhu je vnitřní logická struktura aplikace. Z pohledu vnitřní struktury se dá aplikace rozdělit na dva logické celky, které spolu komunikují. První logický celek je jádro aplikace zajišťující výpočet a správu dat. Druhou je grafické rozhraní poskytující uživateli prostředek pro komunikaci s jádrem aplikace.

5.2.1 Struktura dat

Aby bylo možné vypočítat výsledná data fúze je zapotřebí mít k dispozici počáteční data. Tato počáteční data se při průchodu algoritmem řízení výpočtu fúze postupně transformují a extrahují se z nich důležité informace potřebné k vytvoření výsledných dat fúze.

Aplikace rozlišuje dva typy vstupních dat. Nejdůležitější jsou biometrická data jednotlivých modalit (v kontextu aplikace se bude rozumět modalita jako jedna sada vektorů rysů — jeden adresář). Tyto data se uchovávají v objektu typu `BioModality` jako pole datových typů struktura — `Scan`, kde každý záznam tohoto pole uchovává informace o jednom vektoru rysů (souboru). Krom tohoto pole obsahuje veškeré informace získané v průběhu výpočtu, týkající se konkrétní modality. Těmito informacemi se rozumí: název (identifikátor), typ modality (trénovací nebo testovací), hodnoty ukazatelů, hodnoty prahu odpovídající hodnotám ukazatelů, porovnávací skóre a souřadnice grafů.

Všechny tyto objekty typu `BioModality` jsou uchovávány v objektu `BioMatcher`. Tento objekt řídí celý průchod algoritmem výpočtu a je důležitým komunikačním uzlem s grafickým rozhraním. Objekt typu `BioMatcher` řídí vytváření nových modalit, jejich nastavování, výpočet ukazatelů, výpočet souřadnic, výpočet normalizace, výpočet fúze, výpočet korelačních koeficientů.

Kapitola 6

Implementace

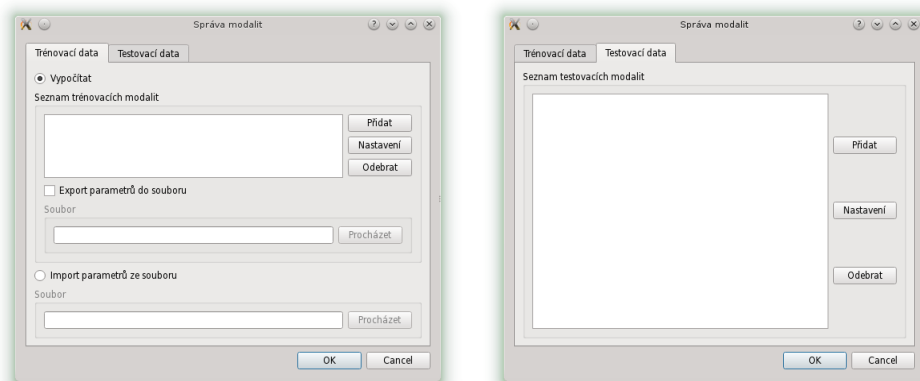
6.1 Použité prostředky

K implementaci aplikace je využito jazyka C++ a frameworku Qt, konkrétně verze 5.2.1. Tento framework je vyvíjen jako multi-platformní, čímž přidává této aplikaci širší rozsah použitelnosti, není omezen pouze na jeden konkrétní operační systém. Při vývoji bylo použito vývojové prostředí poskytované k tomuto frameworku a to Qt Creator 3.0.1.

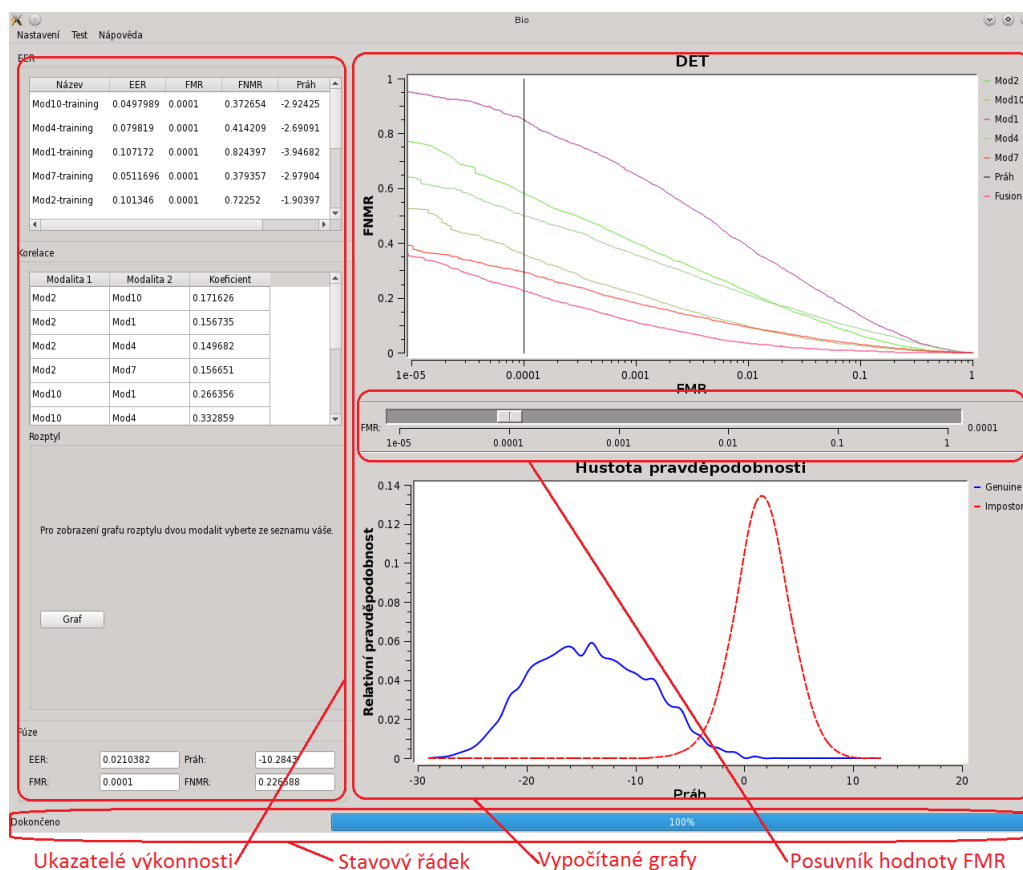
Pro vykreslování grafů bylo použito knihoven Qwt verze 6.1.0, které nejsou součástí standardní instalace knihoven Qt, proto je nutno tyto knihovny dodatečně instalovat.

6.2 Grafické uživatelské rozhraní

Grafické rozhraní je důležitou součástí aplikace, která prezentuje vypočítané hodnoty jak ve formě jednoduchého výpisu vypočítaných ukazatelů výkonnosti, tak ve formě grafů. Hlavní okno aplikace (obrázek 6.2) je rozdělené na části potřebné pro výpis vypočítaných ukazatelů, vykreslení grafů, ukazatele průběhu výpočtu a posuvník určující aktuální zobrazovanou hodnotu ukazatele FMR.



Obrázek 6.1: Grafické rozhraní pro správu trénovacích dat (vlevo) a správu testovacích dat (vpravo)

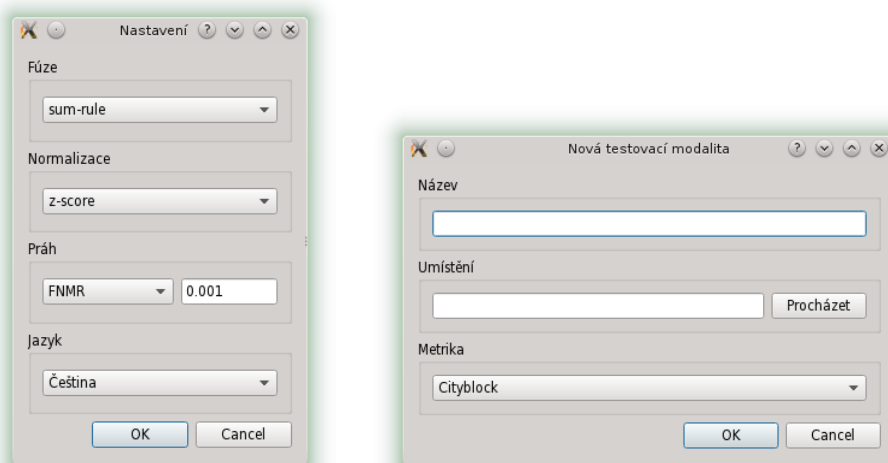


Obrázek 6.2: Hlavní okno aplikace

Mimo hlavní okno aplikace jsou implementovány doplňkové dialogy starající se o nastavení aplikace, správu testovacích a tréninkových modalit, případně import a export parametrů. V grafickém rozhraní pro správu modalit jsou dostupné dvě záložky (viz obrázek 6.1).

Jedna z nich, pojmenovaná „Trénovací data“, slouží buď k zadání trénovací množiny konkrétních modalit, pro které se má vypočítat fúze (přepínač „Vypočítat“), nebo pro zadání cesty k souboru s uloženými parametry výpočtu (přepínač „Import parametrů ze souboru“). Tyto dvě funkce jsou vzájemně neslučitelné. Vlastnost zajišťuje grafické rozhraní s přepínači, které nevybranou vlastnost nastaví jako neaktivní (nelze s ní pracovat). Při aktivním přepínači pro výpočet parametrů z trénovacích modalit je možnost zvolení další funkce a to export vypočítaných parametrů do souboru. K využití této funkce je zapotřebí označit zaškrťovací políčko „Export parametrů do souboru“ a vybrat umístění a pojmenování souboru.

Druhá záložka se jmenuje „Testovací data“ a poskytuje vložení kompletní sady modalit, pro které se má výsledná fúze počítat. Důležitou poznámkou pro výpočet fúze je, že modality uvedené v seznamu na záložce „Testovací data“ musí mít buď svoji trénovací modalitu v záložce „Trénovací data“ nebo v téže záložce nastavenou cestu k souboru, který obsahuje parametry výpočtu k dané modalitě. Identifikátorem sobě si odpovídajících modalit jsou jejich názvy uvedené v tomto okně (viz kapitola 5.1.3).



Obrázek 6.3: Grafické rozhraní pro nastavení programu (vlevo) a přidání nové modality nebo pro úpravu stávající (vpravo)

Poslední dva dialogy (viz obrázek 6.3) slouží hlavně k nastavení průběhu výpočtu (jednotlivých technik) a vložení modality do aplikace. V dialogu „Nastavení“ se nastavují globální techniky výpočtu jako jsou například technika fúze, technika normalizace a nastavení parametrů pro výpočet prahu. Většina nastavení se nastavuje výběrem položky v rolovacím seznamu.

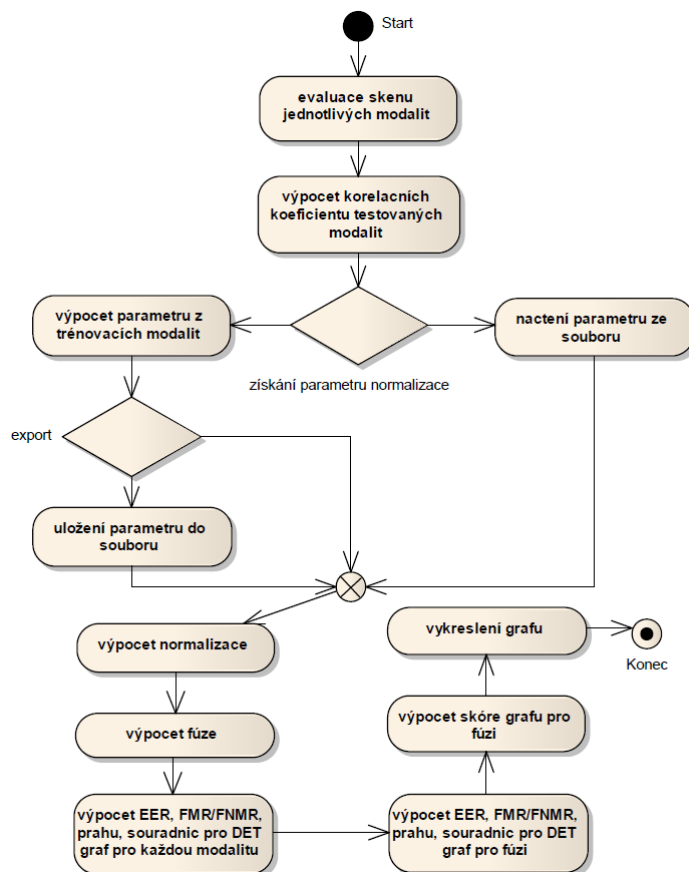
Druhý dialog zastupuje několik funkcí. První z nich, primární, je vložení nové modality do aplikace v závislosti na místě vyvolání dialogu. Pokud je vyvolán z okna „Správa modalit“ ze záložky „Trénovací data“, jedná se o přidání trénovací modality, v případě záložky „Testovací data“ o přidání testovací modality. Druhou z nich je úprava parametrů již vložených modalit a princip s kontextem vyvolání je stejný jako u přidání nové modality. Při úpravě modalit se z aplikace načte konkrétní modalita a do dialogu se vloží hodnoty, které jsou v ní nastaveny. V tomto dialogu je možno specifikovat název (identifikátor) modality, cestu k datům (přesněji k adresáři s daty) a metriku, která se použije na data ve specifikovaném adresáři a vypočítá se porovnávací skóre.

6.3 Logika programu

Logikou aplikace se v tomto případě rozumí postup algoritmem a vykonávání dílčích úkolů. Algoritmus řízení výpočtu fúze a ukazatelů výkonnosti je znázorněn na obrázku 6.4. Samotný výpočet je závislý na nastavení aplikace a nastavení jednotlivých modalit pomocí grafického rozhraní, z toho důvodu se výpočet spustí až na příkaz uživatele. Jedinou výjimkou je zpracování adresáře obsahující u každé modality množinu souborů představující jednotlivé vektory rysů. Tyto soubory jsou zpracovány a jejich obsah je převeden do interní reprezentace dat a připraven k výpočtu.

Algoritmus řízení výpočtu začíná zpracováním vektorů rysů každé modality a výpočtem porovnávacího skóre podle předem nastavené metriky (viz kapitola 6.4).

Dalším krokem je výpočet korelačních koeficientů pro každou dvojici testovacích mo-



Obrázek 6.4: Algoritmus řízení výpočtu fúze a ukazatelů výkonnosti

dalit. Výsledek se ukládá do pole struktur **Correl**, obsahující pouze názvy odpovídajících modalit a vypočítaný korelační koeficient.

Následně dochází k přípravě na normalizaci. Buď je nastaven typ výpočtu na výpočet parametrů normalizace z trénovacích dat, nebo jsou parametry načteny ze souboru. V případě, že jsou počítány z trénovacích dat, je zde možnost uložení vypočítaných parametrů do souboru. To se děje jen v případě, že je nastavena cesta k souboru pro export parametrů. Po provedení jednoho z výše uvedených postupů jsou již parametry normalizace připraveny k použití a je spuštěna normalizace všech modalit v systému.

Po výpočtu normalizace dochází k výpočtu fúze podle nastaveného pravidla (viz kapitola 6.4) a je vytvořena nová modalita s názvem „Fusion“ představující fúzi všech testovacích modalit.

Poté následuje výpočet ukazatelů výkonnosti. První pro jednotlivé modalitty zvlášť a následně pro modalitu „Fusion“. Dochází k výpočtu ukazatele EER, ukazatelů FMR a FNMR a jejich hodnoty prahů, současně se ukládají souřadnice bodů křivky pro DET graf.

V předposledním kroku dochází k výpočtu souřadnic pro skóre graf. Pro skóre graf se počítají souřadnice pouze pro modalitu „Fusion“.

V posledním kroku probíhá vykreslení vypočítaných křivek do grafů a výpis vypočítaných ukazatelů do grafického rozhraní.

6.4 Použité algoritmy

Aplikace používá k výpočtu ukazatelů a porovnávacích skóre různé algoritmy (přesněji vzorce), podle toho jaké uživatel před spuštěním výpočtu nastaví. Jsou implementovány následující algoritmy:

- Porovnávací metrika pro určení skóre mezi dvěma vektory rysů:

- Manhattanská vzdálenost (Cityblock) [7]

$$d(x, y) = \sum_{i=1}^N |x_i - y_i| \quad (6.1)$$

- Euklidovská vzdálenost (Euclidean) [7]

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2} \quad (6.2)$$

- Pearsonova korelace (Correlation) [9]

$$d(x, y) = 1 - r; r = \frac{\sum_{i=1}^N ((x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}))}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}} \quad (6.3)$$

- Normalizace vypočítaných skóre do společné domény probíhá podle vzorců v kapitole 3.3.1.
- Fúze probíhá podle vzorců v kapitole 3.4.2.
- Ukazatelé výkonnosti (EER, FMR-FNMR, práh) probíhá podle klasického algoritmu výpočtu EER [8], který je upraven tak, aby dokázal počítat požadované hodnoty FMR nebo FNMR podle nastavení aplikace.

Kapitola 7

Experimenty

Aplikace byla vyvíjena na databázi dodané vedoucím práce a skládala se z 11 sad vektorů rysů po 60 vektorech (60 souborů). Vedoucím práce bylo dodáno i referenční řešení vypočítaných ukazatelů.

Testování aplikace probíhalo již na větší databázi. Ta se skládala z 22 sad vektorů rysů, kde každá sada byla rozdělena na 2 části. Jedna byla trénovací a druhá testovací. Trénovací část obsahovala 197 vektorů rysů a testovací část 1 465 vektorů rysů. Testovací sady o 197 vektorech dosahovaly celkového počtu porovnání 746 pro provnání právoplatných osob a 18 560 pro porovnání neprávoplatných osob. Testovací sady, které obsahovaly 1 465 vektorů, dosahovaly 4 912 počtu porovnání právoplatných osob a 1 067 468 porovnání neprávoplatných osob.

7.1 Rychlost výpočtu

Jak již bylo zmíněno výše při výpočtu testovacích sad vektorů rysů, dochází k výpočtu velkého množství dat, se kterým se následně pracuje. Z toho důvodu dochází k poměrně velké prodlevě při výpočtu fúze. Čas zpracování je silně závislý na počtu sad vektorů rysů v aplikaci a počtu vektorů v jednotlivých sadách. V následující tabulce jsou naměřené časy zpracování v závislosti na počtu sad, ke kterým dochází při použití aplikace s testovací databází. Naměřené hodnoty byly získány na stroji s procesorem core i5 2,5 GHz.

Počet sad	Normalizace	Fúze	Čas [s]
1	min-max	Násobení	66.798
5	z-score	Sčítání	314.481
6	z-score	Sčítání	373.054
22	z-score	Sčítání	1071.801

Tabulka 7.1: Rychlost výpočtu

7.2 Popis experimentů

S aplikací bylo provedeno několik experimentálních výpočtů za účelem ověření správné funkčnosti a získání ukazatelů výkonnosti jednotlivých sad vektorů rysů a celkové fúze. V následujících podkapitolách jsou popsány provedené experimenty s testovací databází dodanou vedoucím práce.

7.2.1 Výpočet celé databáze

Při prvním experimentu byla do aplikace vložena celá databáze (22 sad trénovacích a 22 sad testovacích, které si vzájemně odpovídaly názvy) s nastavenými různými typy metriky (typ použité techniky při výpočtu porovnávacích skóre). Dále byla nastavena „z-score“ technika normalizace (viz kapitola 3.3.1) a typ fúze podle pravidla sčítání (viz kapitola 3.4.2). Vypočítané hodnoty ukazatelů jsou v následující tabulce (7.2).

ID sady	Metrika	EER	FMR	FNMR	Práh
Mod0-testing	Correlation	0.070778	0.0001	0.674674	-3.44391
Mod1-testing	Correlation	0.118529	0.0001	0.851792	-4.04325
Mod2-testing	Cityblock	0.0782282	0.0001	0.574715	-1.81156
Mod3-testing	Cityblock	0.119225	0.0001	0.659202	-1.77676
Mod4-testing	Correlation	0.0912798	0.0001	0.501221	-3.29855
Mod5-testing	Euclidean	0.162167	0.0001	0.74491	-2.50821
Mod6-testing	Cityblock	0.1613	0.0001	0.769951	-2.46261
Mod7-testing	Correlation	0.0470725	0.0001	0.295399	-2.81588
Mod8-testing	Euclidean	0.10066	0.0001	0.458265	-2.45561
Mod9-testing	Cityblock	0.117356	0.0001	0.548656	-2.31764
Mod10-testing	Correlation	0.0436761	0.0001	0.360749	-3.03242
Mod11-testing	Euclidean	0.10856	0.0001	0.530945	-2.29017
Mod12-testing	Cityblock	0.109985	0.0001	0.4943	-2.05262
Mod13-testing	Correlation	0.0466387	0.0001	0.324919	-2.90908
Mod14-testing	Euclidean	0.127007	0.0001	0.568811	-2.68625
Mod15-testing	Cityblock	0.127384	0.0001	0.533591	-2.40953
Mod16-testing	Correlation	0.057331	0.0001	0.378868	-3.06941
Mod17-testing	Euclidean	0.117631	0.0001	0.594666	-2.90138
Mod18-testing	Cityblock	0.149922	0.0001	0.607085	-2.40537
Mod19-testing	Correlation	0.0649763	0.0001	0.449104	-3.30097
Mod20-testing	Euclidean	0.145147	0.0001	0.673249	-2.90081
Mod21-testing	Cityblock	0.145634	0.0001	0.690147	-2.54204

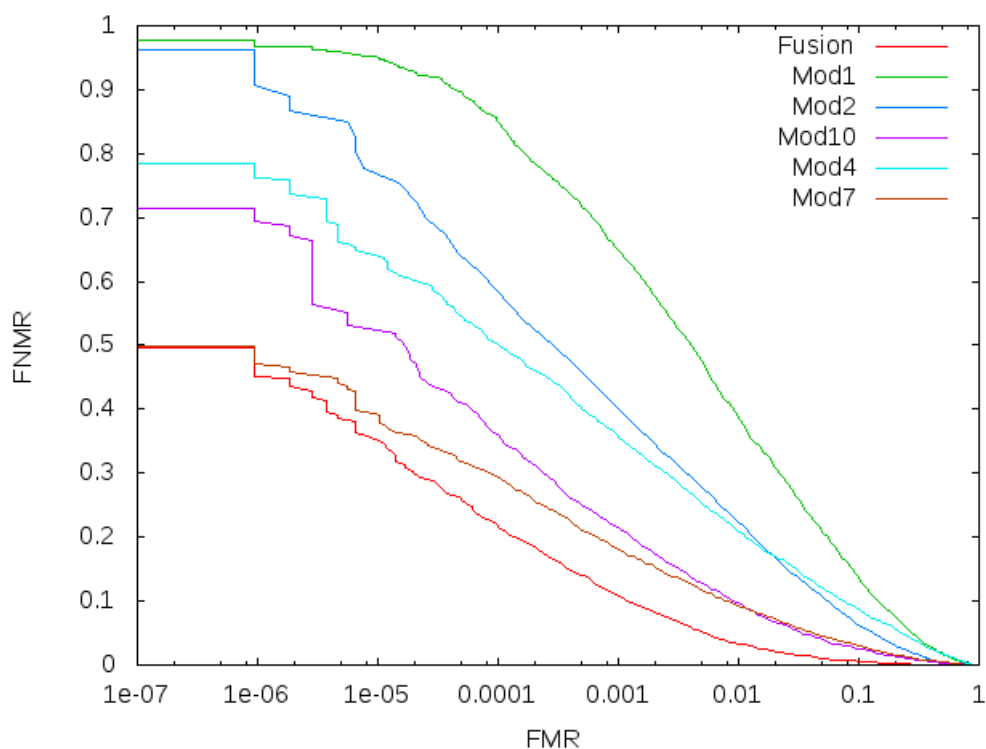
Tabulka 7.2: Výsledky výpočtu pro celou databázi

7.2.2 Výpočet vybraných sad vektorů rysů 1

V dalším experimentu bylo použito pouze 5 sad s různými typy použité metricky, normalizační technikou „z-score“ a typem fúze podle pravidla sčítání. Sady byly vybírány na základě nízkého korelačního koeficientu mezi sebou. Výsledek je zobrazen na grafu 7.1 a tabulce 7.3.

ID sady	Metrika	EER	FMR	FNMR	Práh
Mod1-testing	Correlation	0.118529	0.0001	0.851792	0.330456
Mod2-testing	Cityblock	0.0782282	0.0001	0.574715	0.0737397
Mod10-testing	Correlation	0.0436761	0.0001	0.360749	0.357504
Mod4-testing	Correlation	0.0912798	0.0001	0.501221	0.385034
Mod7-testing	Correlation	0.0470725	0.0001	0.295399	0.447377
Fusion	—	0.0209918	0.0001	0.219055	2.07681

Tabulka 7.3: Výsledky výpočtu pro vybrané sady vektorů rysů 1



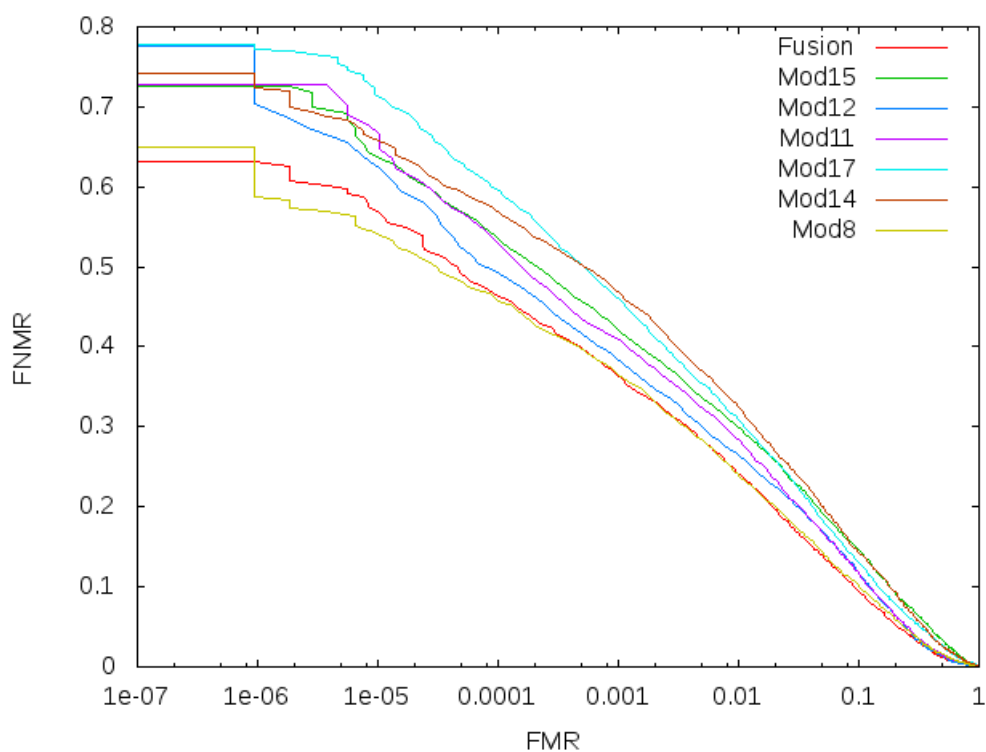
Obrázek 7.1: Výpočet vybraných sad vektorů rysů 1 — Graf DET

7.2.3 Výpočet vybraných sad vektorů rysů 2

V tomto experimentu bylo použito 6 sad, tentokrát s vyšší hodnotou korelačních koeficientů mezi jednotlivými sadami. Byly nastaveny různé typy použité metriky, normalizační technika „z-score“ a fúze podle pravidla sčítání. Výsledky jsou zobrazeny v tabulce 7.4 a na grafu 7.2.

ID sady	Metrika	EER	FMR	FNMR	Práh
Mod15-testing	Cityblock	0.127384	0.0001	0.533591	-2.40953
Mod12-testing	Cityblock	0.109985	0.0001	0.4943	-2.05262
Mod11-testing	Euclidean	0.10856	0.0001	0.530945	-2.29017
Mod17-testing	Euclidean	0.117631	0.0001	0.594666	-2.90138
Mod14-testing	Euclidean	0.127007	0.0001	0.568811	-2.68625
Mod8-testing	Euclidean	0.10066	0.0001	0.458265	-2.45561
Fusion	—	0.096888	0.0001	0.463559	-13.4464

Tabulka 7.4: Výsledky výpočtu pro vybrané sady vektorů rysů 2



Obrázek 7.2: Výpočet vybraných sad vektorů rysů 2 — Graf DET

Kapitola 8

Závěr

Tato práce mě seznámila s problematikou multi-biometrických systémů, používanými technikami a používanými ukazateli výkonnosti biometrických systémů. Dalším přínosem bylo seznámení se s postupem vývoje rozsáhlejší aplikace. Bylo navrženo několik testů multi-modálních biometrických systémů ke zjištění správné funkčnosti vytvořené aplikace. Výsledky byly konfrontovány s výsledky dodanými vedoucím práce.

V prvním testu byla vložena do aplikace celá dodaná databáze sad vektorů rysů s různě nastavenými metrikami. Výsledkem bylo vypočítání ukazatelů výkonnosti (EER testovacích a trénovacích sad) vzniklého multi-modálního biometrického systému. Vypočítané hodnoty se schodovaly s výsledky dodanými vedoucím práce.

Ve druhém testu bylo do aplikace vloženo pouze 5 vybraných sad. Výběr probíhal zvolením sad s nízkou hodnotou vypočítaných korelačních koeficientů. Výsledek výpočtu je zanesen do tabulky 7.3 a výsledný graf ukazující výkonnost vypočítané fúze je na obrázku 7.1. Z grafu se dá vyčíst, že výsledný multi-modální biometrický systém (v grafu značen jako „Fusion“) je výkonnostně lepší než uni-modální biometrický systém, některé z uvedených modalit.

Ve třetím testu bylo použito 6 sad vybraných opět podle korelačních koeficientů. Byly vybírány sady s vysokou hodnotou korelačních koeficientů. Výsledek je zanesen do tabulky 7.4 a grafu 7.2. Je zde vidět, že výsledný multi-modální biometrický systém je nepatrně lepší než ostatní uni-modální biometrické systémy.

Při pohledu na vypočítané ukazatele posledních dvou testů je patrné, že multi-modální biometrický systém skládající se ze sad, které mezi sebou mají nízkou úroveň korelace (korelační koeficient dvou sad se blíží 0), je mnohem výkonnější než multi-modální biometrický systém složený ze sad, které mezi sebou mají vyšší úroveň korelace (korelační koeficienty se blíží 1).

Výsledná aplikace je použitelná k hodnocení, srovnávání a profilování navržených nebo již vytvořených multi-modálních nebo multi-algoritmických biometrických systémů pomocí podobných testů navržených v této práci. V budoucnu je možné tuto aplikaci rozšiřovat o další algoritmy používané v reálných multi-modálních nebo multi-algoritmických biometrických systémech, případně již implementované algoritmy optimalizovat.

Literatura

- [1] A. Jain, K. Nandakumar, A. Ross: Score normalization in multimodal biometric systems. *Pattern Recognition*, ročník 38, 2005: s. 2270–2285, ISSN 0031-3203.
- [2] A. Ross: An introduction to multibiometrics. In *Proc. of the 15th European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*, Poznan, Poland, 2007, s. 20–24.
- [3] A. Ross, A. Jain: Information fusion in biometrics. *Pattern Recognition Letters*, ročník 24, 2003: s. 2103–2184, ISSN 0167-8655.
- [4] A. Ross, A. Jain: An introduction to biometric recognition. *Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on*, ročník 14, 2004: s. 4–20.
- [5] F. Galton: *Finger Prints*. Londýn: Macmillan and Co., 1892.
URL <http://galton.org/books/finger-prints/galton-1892-fingerprints-1up-lowres.pdf>
- [6] L. Klimeš: *Slovník cizích slov*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, třetí vydání, 1986, 14-57586.
- [7] M. Drahanský, F. Orság: *Biometrie*. Computer Press a.s., 2011, ISBN 978-80-254-8979-6.
- [8] R. Giot, M. El-Abed, Ch. Rosenberger: Fast computation of the performance evaluation of biometric systems: Application to multibiometrics. *Future Generation Computer Systems*, ročník 29, 2013: s. 788–799, ISSN 0167-739X.
- [9] Stangroom, J.: Social Science Statistics [online]. 2014.
URL <http://www.socscistatistics.com/tests/pearson/>

Příloha A

Obsah CD

Příložené CD obsahuje:

- **source** Zdrojové soubory aplikace.
- **data** Testovací databáze šablon.
- **doc-src** Zdrojové soubory k technické zprávě.
- **doc.pdf** Technická zpráva ve formátu pdf.
- **manual.pdf** Uživatelská příručka k aplikaci.
- **readme.txt** Informace ke kompilaci zdrojových souborů.

Příloha B

Manual

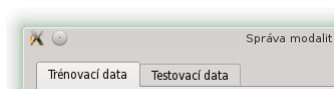
Po spuštění aplikace se otevře hlavní okno aplikace s připravenými tabulkami a plochami pro grafy.

B.1 Vložení biometrických dat

Přejděte v menu na položku **Nastavení** → **Správa modalit** (nebo klávesová zkratka CTRL+N). Zobrazí se nové okno s dvěma záložkami (viz obrázek B.1).

Důležité: Modalitty vložené na záložce **Testovací data** musí mít svá trénovací data (stejný název) v záložce **Trénovací data** nebo záznam s parametry v importovaném souboru!

Důležité: Výpočet fúze a grafů se týká pouze **Testovacích dat**! Trénovací data nejsou v těchto výpočtech zahrnuta a slouží pouze k výpočtu parametrů normalizace.



Obrázek B.1: Záložky v okně Správa modalit

B.1.1 Vkládání trénovacích dat (Export parametrů)

Na záložce **Trénovací data** klikněte na přepínač **Vypočítat**. Lze vkládat trénovací modalitty tlačítkem **Přidat**, upravovat vložené trénovací modalitty tlačítkem **Nastavení** nebo odebírat tlačítkem **Odebrat**. Trénovací modalitty již vložené do aplikace se zobrazují v seznamu v bloku **Seznam trénovacích modalit**.

Export parametrů vypočítaných z trénovacích modalit lze uložit do souboru zatržením položky **Export parametrů do souboru**. Tlačítkem **Procházet** zvolíte umístění a název cílového souboru.

B.1.2 Import trénovacích dat ze souboru

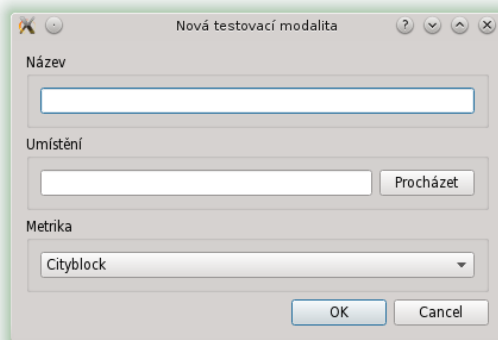
Na záložce **Trénovací data** klikněte na přepínač **Import parametrů ze souboru**. Tlačítkem **Procházet** zvolíte umístění souboru s parametry (soubor musí končit koncovkou .BioDat).

B.1.3 Vkládání testovacích dat

Na záložce **Testovací data** vidíte blok **Seznam testovacích modalit** obsahující testovací modalita již vložené do aplikace. Tlačítka **Přidat**, **Nastavení** a **Odebrat** upravujete jednotlivé testovací modalita v tomto seznamu.

B.1.4 Přidání/Nastavení trénovacích/testovacích modalit

Tlačítka **Přidat** nebo **Nastavení** vyvolá okno (viz obrázek B.2), které slouží k přidání (tlačítko **Přidat**) nové testovací nebo trénovací (závisí na záložce, ze které je vyvoláno) nebo úpravě stávající (tlačítko **Nastavení**). Při úpravě je nutné vybrat jednu z modalit zobrazených v seznamu příslušné záložky. Vyplňte nebo upravte požadované záznamy a potvrďte tlačítkem **OK**.



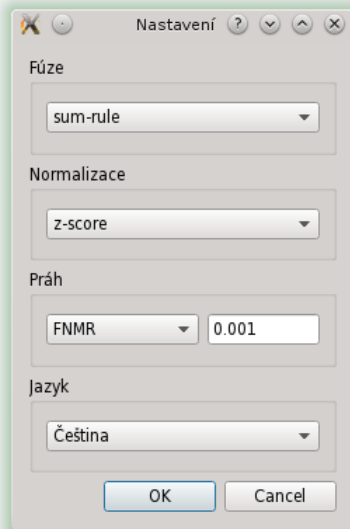
Obrázek B.2: Okno přidání nebo nastavení modalita

B.2 Nastavení průběhu výpočtu

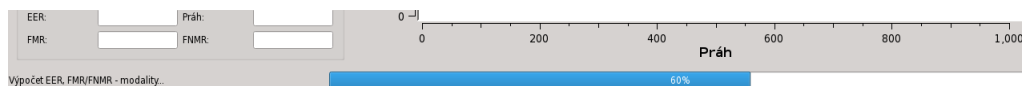
Přejděte v menu na položku **Nastavení** → **Nastavení** (nebo klávesová zkratka CTRL+P). Zobrazí se nové okno s nastavením parametrů výpočtu (viz obrázek B.3). Nastavte požadované položky výpočtu a potvrďte tlačítkem **OK**.

B.3 Spuštění výpočtu

Přejděte v menu na položku **Test** → **Spustit** (nebo klávesová zkratka CTRL+R). Spustí se výpočet fúze a výpočet ukazatelů výkonnosti. O stavu výpočtu jste informováni ve spodní části hlavního okna zprávami o aktuální prováděné akci (viz obrázek B.4).



Obrázek B.3: Okno nastavení průběhu výpočtu



Obrázek B.4: Informace o stavu výpočtu

B.4 Grafy

Aplikace obsahuje 3 typy grafů. DET graf, hustota pravděpodobnosti a graf rozptylu hodnot. První dva jsou zobrazeny v hlavním okně aplikace. Poslední je zobrazen jen v případě, že je vybrán jeden řádek z tabulky **Korelace** a následně stisknuto tlačítko **Graf** nacházející se pod tabulkou (viz obrázek B.5).

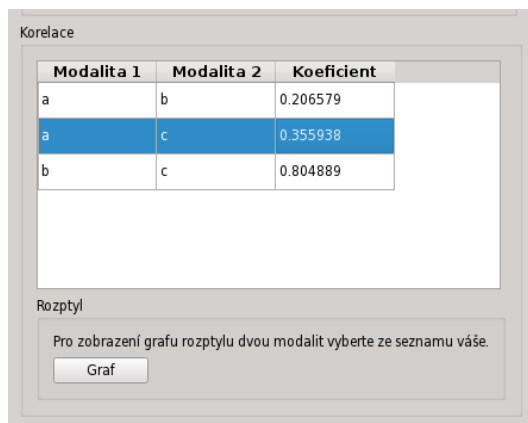
B.5 Ukazatel FMR

Pomocí posuvníku (viz obrázek B.6) lze nastavovat aktuální hodnotu ukazatele FMR bez nutnosti nového výpočtu. Manipulace s posuvníkem nastavuje hodnoty ukazatele FMR a jemu odpovídající hodnoty ostatních ukazatelů v tabulce **Ukazatelé** a **Fúze**.

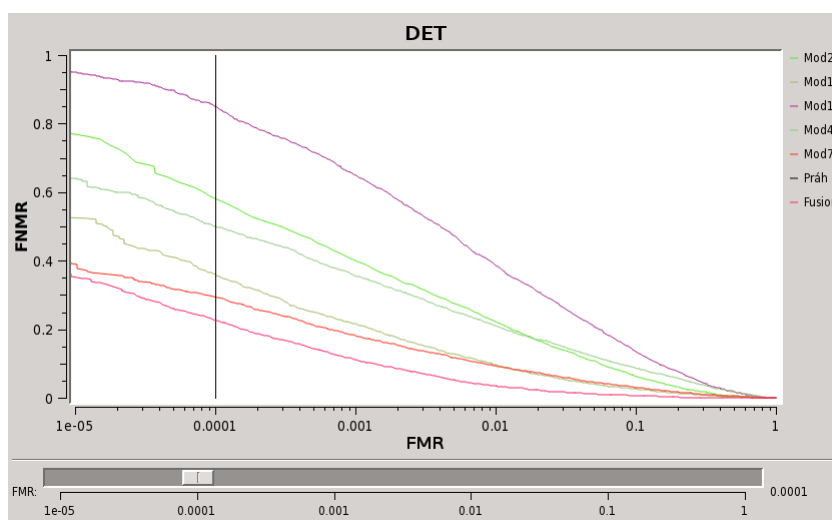
B.6 Export vypočítaných hodnot

Přejděte v menu na položku **Test** a vyberte jednu z požadovaných typů exportu:

Export grafu hustoty pravděpodobnosti ... Export souřadnic zobrazeného grafu do souboru pojmenovaného uživatelem (např. „graf1“). K souboru se vygeneruje soubor se stejným názvem rozšířeným o **-gnuplot** (např. „graf1-gnuplot“), který je možné předat programu Gnuplot a vygenerovat tak graf ve formátu **.png**.



Obrázek B.5: Umístění tlačítka pro zobrazení grafu rozptylu hodnot



Obrázek B.6: Posuvník hodnot FMR

Export DET grafu ... Export souřadnic zobrazeného grafu do souboru pojmenovaného uživatelem (např. „graf2“). K souboru se vygeneruje soubor se stejným názvem rozšířeným o **-gnuplot** (např. „graf2-gnuplot“), který je možné předat programu Gnuplot a vygenerovat tak graf ve formátu **.png**.

Export tabulky ukazatelů ... Export aktuálně zobrazených hodnot ukazatelů tabulky **Ukazatele** do souboru pojmenovaného uživatelem. Export zahrnuje ukazatele výsledné fúze pro aktuální hodnotu FMR.

Export tabulky korelace ... Export tabulky vypočítaných korelačních koeficientů. Název souboru a umístění definuje uživatel.