



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

**ФАКУЛТЕТ ЗА ФРЕНСКО ОБУЧЕНИЕ ПО ЕЛЕКТРОИНЖЕНЕРСТВО
ДОКТОРАНТСКО УЧИЛИЩЕ**

маг. инж. Димитър Георгиев

ПРИЛОЖЕНИЕ НА МУЛТИМОДАЛНИТЕ БИОМЕТРИЧНИ ТЕХНОЛОГИИ В АВТОМАТИЗИРАНИТЕ СИСТЕМИ ЗА ГРАНИЧЕН КОНТРОЛ

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертация за придобиване на образователна и научна степен

„ДОКТОР“

**Професионално направление 5.3 „Комуникационна и компютърна
техника“**

**Научна специалност: „Автоматизирани системи за обработка на
информация и управление“**

Научни ръководители:

проф. д-р Ташо Ташев

доц. д-р Иво Драганов

Рецензенти:

проф. д-р Милена Лазарова-Мицева

проф. д-р Тодор Стоилов

София, 2019

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита на разширено заседание на Научния съвет на Училището за докторанти към Факултет за френско обучение по електроинженерство (ФФОЕ) на Технически университет - София, състояло се на 25.06.2019 г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 29.10.2019 г. от 13 часа в Конферентната зала на БИЦ на Технически университет - София на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ-5.3-68/28.06.2019 г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. проф. д-р Милена Лазарова-Мицева

2. доц. д-р Иво Драганов

3. доц. д-р Елена Хараланова

4. доц. д-р Атанас Атанасов

5. проф. д-тн Тодор Стоилов

Резервни:

1. чл.-кор. проф. д-тн Петко Петков

2. доц. д-р Симеон Владов

Рецензенти:

1. проф. д-р Милена Лазарова-Мицева

2. проф. д-тн Тодор Стоилов

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Факултета за френско обучение по електроинженерство (ФФОЕ), стая 12613, блок №12 на Технически университет – София.

Дисертантът е задочен докторант към Училището за докторанти на Факултет за френско обучение по електроинженерство (ФФОЕ) на Технически университет – София. Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора.

Автор: маг. инж. Димитър Георгиев

Заглавие: **ПРИЛОЖЕНИЕ НА МУЛТИМОДАЛНИТЕ
БИОМЕТРИЧНИ ТЕХНОЛОГИИ В
АВТОМАТИЗИРАНИТЕ СИСТЕМИ ЗА
ГРАНИЧЕН КОНТРОЛ**

Тираж: 30 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет - София

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Формалната идентификация на хора е предпоставка за устойчиво развитие на обществото в съвременния свят. Невъзможността за удостоверяване на самоличността пред държавата или частни институции ограничава основни права и достъп до услуги като образование, трудово наемане, кредитиране, гласуване, социален обмен и др. Непълното документиране на самоличността е съществен недостатък на множество системи за гражданска регистрация по света, при които се обхваща само част от населението, което е изправено пред съвременни предизвикателства като масова миграция, трафик на хора и др. Интегрирането на биометрични показатели в единните системи за установяване на самоличност при граничен и вътрешнодържавен контрол на движението на хора е многопланов, йерархично базиран, процес. Като най-перспективни биометрични показатели за включване към набора с лични данни в документите за идентификация към настоящия момент се оценяват човешкият глас, лице, пръстов отпечатък, ирис и разположение на кръвоносните съдове в пръст. Най-масово прилагани от тях са изображението на лице и пръстов отпечатък, които често некоректно се регистрират в слабо контролируеми условия като публичните системи за видеонаблюдение и частни системи за автентикация, където има регистрирани случаи на фалшификации. Това предполага необходимост от въвеждане на допълнителни биометрични показатели, както и на отчитане на връзката помежду им, с цел повишаване на надеждността на идентификация. Успоредно с това е необходима комплексна оценка на вида и степента на разширение на компонентите на интегрираните системи за обработка на лични данни и свързаните с него разходи.

Цел и задачи на дисертационния труд

Цел на дисертацията:

Целта на дисертационния труд е да се предложи възможност за повишаване на точността, надеждността, защитеността и ефективността, в т.ч. и от гледна точка на потребителско удобство, на процеса на персонална идентификация в автоматизираните системи за граничен контрол чрез приложение на мултимодални биометрични характеристики – пръстови отпечатъци и вени от пръсти.

Задачи:

1. Да се определи ефективността на приложението на унимодалните биометрични технологии в граничните контролно-пропускателни

пунктове в страните от Европейския съюз като се анализират рисковете от приложението им.

2. Да се предложи ефективен алгоритъм, приложим в системите за граничен контрол, за идентификация по пръстов отпечатък и вени от пръст чрез комбинация на резултатите за сходство.
3. Да се предложи подходящ по структура и принцип на действие биометричен сензор за паралелна регистрация на пръстов отпечатък и вени от пръст като се анализира неговата приложимост от гледна точка на експлоатационна надеждност при реалистичен сценарий на използване.
4. Да се оцени повишаването на ефективността на автоматизираните системи от централизиран тип при използване на мултимодални биометрични характеристики за осъществяване на граничен контрол по отношение на необходимия времеви ресурс в сравнение с ръчната верификация на идентичността на пътуващите лица.
5. Да се извърши икономическа оценка на възможното приложение на мултимодална биометрична характеристика – пръстов отпечатък и вени от пръст, като се отчетат необходимите обновявания на програмните и апаратните средства в автоматизираните системи за граничен контрол и възможната редукция на разходи, свързани с извършването на ръчни проверки.
6. Да се предложат технически възможности за интегриране на мултимодална биометрична характеристика – пръстов отпечатък и вени от пръст, в електронния носител към издаваните български документи за самоличност и нейното използване при идентификация чрез Централизираната информационна система.
7. Да се оцени степента на защита на българските лични документи от гледна точка съдържащите се в тях физически и цифрови елементи, както и на процеса на персонална идентификация при обмяна на информация по електронен път между свързаните с него автоматизирани системи.

Научна новост

Разработване на алгоритъм за персонална идентификация по мултимодални биометрични характеристики – пръстови отпечатъци и вени от пръст с осигуряване на възможност за интегрирането му в централизираните информационни системи за вход-изход, използвани при осъществяване на автоматизиран граничен контрол.

Практическа приложимост

Предлаганият алгоритъм е реализиран програмно и е изследван с използването на достъпна за научната общност база данни, съдържаща

мултимодални биометрични характеристики. Демонстрирана е неговата точност и надеждност, както и на свързаните с реализацията апаратни средства – електронни четци и носители на информация за съхранение на биометричните показатели, които показват приложимостта ѝ в автоматизираните системи за идентификация.

Апробация

Направена е икономическа оценка, свързана с разходите по въвеждане на предлагания алгоритъм за идентификация, в единната система за вход-изход на Европейския съюз. Определено е прогнозно редуциране на разходите като следствие от автоматизирането на процеса на идентификация, което показва възможностите за интегриране на разработения алгоритъм в съществуващите системи за граничен контрол в глобален мащаб.

Публикации

A1. Georgiev, D., T. Tashev, I. Draganov, Issuing Process of Bulgarian Identity and Travel Documents and the Use of Biometrics, International Journal of Signal Processing, Vol. 2, pp. 11-20, 2017, ISSN 2367-8984.

A2. Georgiev, D., T. Tashev, I. Draganov, Evaluation of the Administrative Services on Issuing of Bulgarian Identity Documents, WSEAS Transactions on Computer Research, Vol. 5, pp. 71-84, 2017, ISSN 1991-8755.

A3. Georgiev, D., Protection of the Bulgarian identity documents, In Proc. of the 15th Int. Conf. Challenges in Higher Education & Research in the 21st Century (Cher'21), May 30th – June 2nd, Sozopol, Bulgaria, vol. 15, pp. 115-123, 2017, ISBN 978-954-580-371-0.

A4. Georgiev, D., T. Tashev, I. Draganov, Biometrics Selection and Their Influence over the Life Cycle of Electronic Identity Documents, WSEAS Transactions on Computers, Vol. 16, pp. 224-233, 2017, ISSN 1109-2750.

A5. Georgiev, D., T. Tashev, I. Draganov, Investigating the Potential Incorporation of Multimodal Biometrics into Fully Automated Entry-Exit System for the European Union, International Journal of Transportation Systems, Vol. 3, pp. 41-51, 2018, ISSN 2534-8876.

A6. Georgiev, D., T. Tashev, I. Draganov, Evaluation of Multimodal Biometrics for Personal Identification based on Score Fusion, In Proc. of the 16th Int. Conf. Challenges in Higher Education & Research in the 21st Century (Cher'21), Sozopol, Bulgaria, May 29 – June 1, pp. 73-80, 2018, ISBN 978-954-580-379-6.

A7. Georgiev, D., T. Tashev, I. Draganov, Multimodal Biometrics Sensor Reliability Evaluation for Personal Identification, WSEAS Transactions on Systems and Control, Volume 14, Art. #18, pp. 143-152, 2019, ISSN 1991-8763.

Структура и обем на дисертационния труд

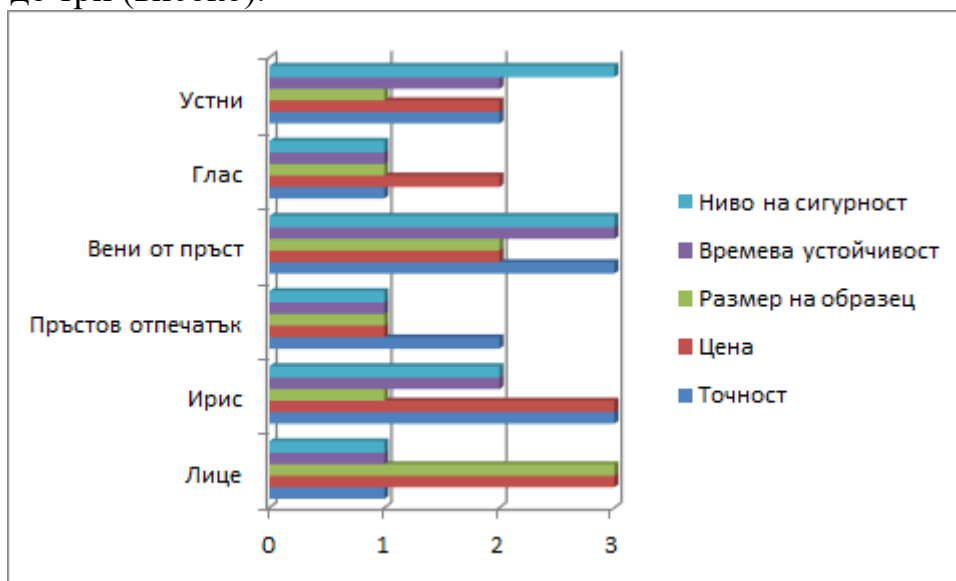
Дисертационният труд е в обем от 146 страници и съдържа увод, пет глави, научни, научно-приложни и приложни приноси, 81 фигури и 38 таблици. Цитирани са 134 литературни източника. Номерата на фигурите, таблиците и главите в автореферата съвпадат с тези в дисертацията.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ НА БИОМЕТРИЧНИТЕ ТЕХНОЛОГИИ ЗА ПЕРСОНАЛНА ИДЕНТИФИКАЦИЯ. ОБЕЗПЕЧАВАНЕ НА ИЗДАВАНЕТО НА ЛИЧНИ ДОКУМЕНТИ

В Първа глава се представя анализ на най-популярните биометрични показатели, които се използват понастоящем или имат потенциала да бъдат включени в системите за персонална идентификация, в т.ч. и при осъществяване на граничен контрол. Оценяват се предимствата и недостатъците им, преди всичко от гледна точка на приложимостта им.

На фиг. 1.7 са представени качествата на шест унимодални биометрични характеристики, оценени по пет показателя с ниво от едно (ниско) до три (високо).



Фиг. 1.7. Сравнение на 6 биометрични показателя

Най-сигурни характеристики се оказват устните и вените от пръсти, докато пръстовите отпечатъци, гласът и лицето им отстъпват. Вените от пръсти са най-неизменчиви с времето, но са по средата между останалите характеристики по отношение на размера на образца. Лицата се нуждаят от най-голям обем от памет за запис. Най-скъпите биометрични системи използват ирис и лице. Най-евтини са тези, използващи пръстови отпечатъци.

Изводи

На база на направения анализ следва да се отчете, че нито една от използваните понастоящем унимодални биометрични характеристики за персонална идентификация в системите за граничен контрол не осигурява достатъчна степен на точност и надеждност. В относително малкия брой пунктове, където се използват две и повече характеристики се оказва, че те са твърде разнородни, което не позволява приложението на комбинирани четци, а това от своя страна затруднява пътуващите, отнема повече време за проверка и увеличава цената на системата за допуск.

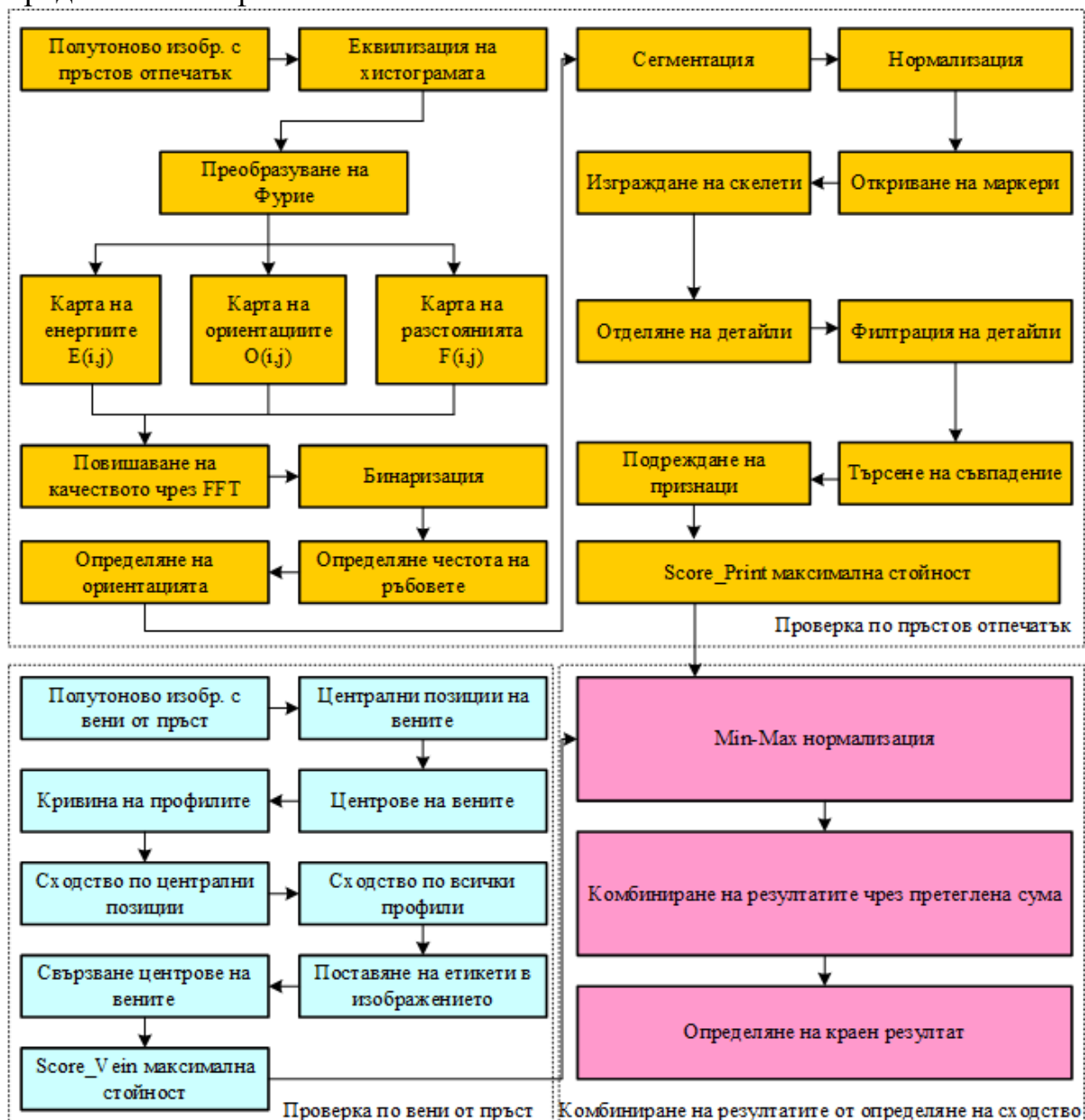
Вземайки предвид нивото на сигурност, времевата устойчивост, размера на образците, цената на приложение и точността за отделните изследвани унимодални характеристики (фиг. 1.7), както и на нивото на технологично развитие, осигуряваното ниво на сигурност, консумация на енергия, удобството, гъвкавостта, портативността и цената на съществуващите за тях сензори (фиг. 1.9) и възможността за едновременно регистриране на най-близките по разположение в човешкото тяло показатели, би могло да се предложи използването на мултимодална биометрична характеристика, състояща се от пръстов отпечатък и вени от пръст, които да се приложат в автоматизирани системи за граничен контрол в глобален мащаб.

Научно-приложни приноси

1. Направено е сравнение на унимодални биометрични характеристики – лице, пръстови отпечатъци, ирис, вени от пръст, глас и устни (т. 1.1-1.3, фиг. 1.7), както и на комбинации между тях (мултимодални показатели) по отношение на предимства и недостатъци от гледна точка на практическото им приложение в системите за персонална идентификация. Направен е сравнителен анализ (т. 1.5, фиг. 1.9) на принципа на действие, експлоатационните условия и ефективността на оптични, капацитивни, термични, ултразвукови и сензори с натиск за регистриране на пръстови отпечатъци и вени (само оптични). Разгледани са възможностите им за приложение в системите за персонална идентификация. Изследвани са административните услуги, свързани с издаването на български лични документи, в т.ч. и тези с включени биометрични показатели (т. 1.6). Анализирани са основните принципи на административно обслужване, нивото на изпълнение на изискванията за материално осигуряване, качеството на предоставяната информация от служебните звена на гражданите и ефективността на обратната връзка с тях (фиг. 1.10-1.16). Направен е обзор на правната рамка за издаване на електронни документи за самоличност (т. 1.8), както и на началните стъпки по въвеждане на единна система за вход-изход в Европейския съюз (т. 1.7).

ГЛАВА 2 ИЗБОР НА БИОМЕТРИЧНИ ПОКАЗАТЕЛИ ЗА ПЕРСОНАЛНА ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРИ ГРАНИЧЕН КОНТРОЛ И ОЦЕНКА НА ЕФЕКТИВНОСТТА ОТ ПРИЛОЖЕНИЕТО ИМ

В тази част от изследванията се предлага комбиниран подход за проверка на идентичността на потребител чрез комбиниране на пръстов отпечатък и вени от пръст с обединяване на резултатите от намирането на сходство със записи в база данни. Структура на предлаганата система е представена на фиг. 2.11.



Фиг. 2.11. Предлагана система за идентификация с комбиниране на резултат за сходство по пръстов отпечатък и вени от пръст

Алгоритъмът за идентификация по пръстови отпечатащи използва метод, описан в [47]. Изчислява се резултат за сходство с образец на пръстов отпечатък, записан в паспорта Score_Print, а отделно и за вените от пръст

[11] – Score_Vein. Тъй като допустимият интервал на изменение на двата параметъра е различен – [0, 1] за Score-Print и [0, 0.5] за Score_Vein, необходимо е да се приложи нормализация. Избран е min-max подход поради неговата простота и постиганото като следствие от това по-високо бързодействие. Нормализацията се извършва съгласно зависимостта:

$$S_n = \frac{S - S_{min}}{S_{max} - S_{min}}, \quad (2.1)$$

където s е началната стойност на резултата за сходство, S_n – нормализираната стойност на S , S_{min} и S_{max} – минималната и максимална съответно стойност за s . В следващата стъпка се прилага претеглено обединяване на резултатите:

$$s = w_1 S_{n1} + w_2 S_{n2}, \quad (2.2)$$

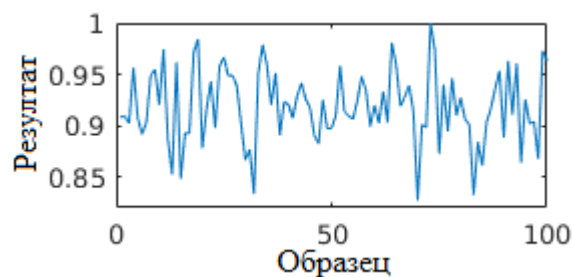
където S_{n1} и S_{n2} са нормализираните резултати от идентификацията съответно по пръстов отпечатък и вени; w_1 и w_2 – асоциираните им тегла, а s – крайният резултат. Необходимо е $w_1 + w_2 = 1$, за да бъде динамичният диапазон на крайния резултат същия като на резултатите за двете характеристики след нормализацията.

Базата с изображения за тестове включва по един запис на пръстов отпечатък и по един от вени на пръст от 100 различни лица. Тя е част от SDUMLA-HMT – мултимодална биометрична база данни, в създаването на която участват 106 доброволци [48].

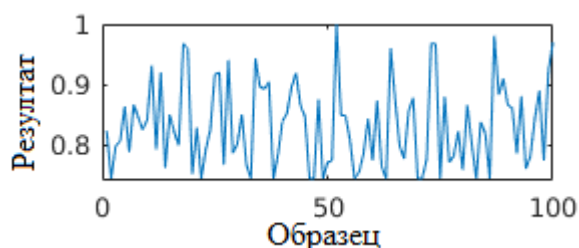
Всички експерименти са проведени на PC® съвместим компютър с процесор Inter® Core™ i5-3450 с 4 ядра, работещи на честота 3.10 GHz и 12 GB оперативна памет. Използваната операционна система е Linux Ubuntu 14.04 LTS 64-bit, а работната среда е Matlab® R2016a.

Прилага се сегментация с две нива върху зоните на вените чрез сравнение с праг. Разпределението на интензитета в централните области на вените е определящо при избора на праг, такъв че формираните клъстери в бинаризираното изображение да бъдат с максимална междукласова дисперсия.

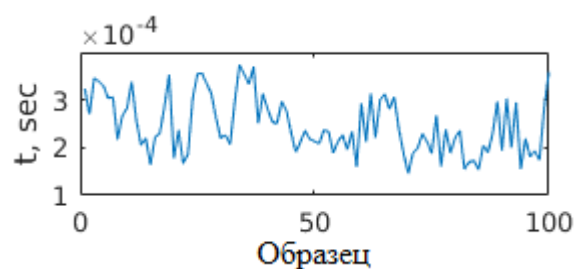
Резултатите по сходство при подаване на единична заявка с пръстов отпечатък спрямо 100-те записа в базата данни са дадени на фиг. 2.14. Получените стойности за сходството между едно изображение с вени от пръст и всички 100 еталонни от същата база данни са представени на фиг. 2.15. Всички стойности са нормализирани в интервала [0, 1]. Необходимото време за намиране на сходство с всяко от еталонните изображения има профил, показан на фиг. 2.16. Времето за определяне на сходство между изображения с вени от пръст е от същия порядък като това при пръстови отпечатъци (фиг. 2.17).



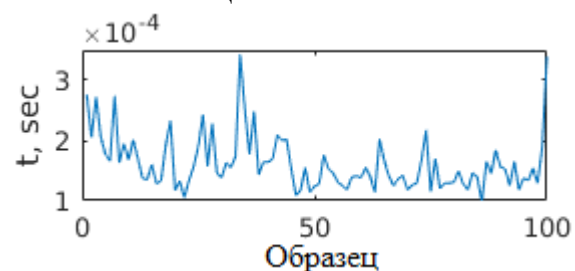
Фиг. 2.14. Резултати по сходство за тестовите пръстови отпечатьци



Фиг. 2.15. Резултати по сходство за тестовите вени от пръсти

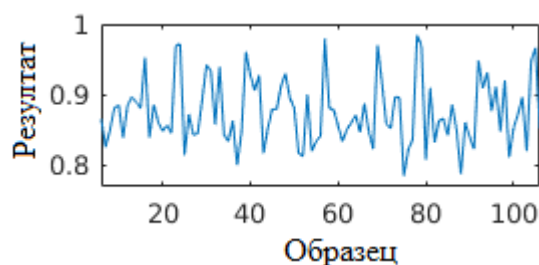


Фиг. 2.16. Време за намиране на сходство с всяко от тестовите изображения с пръстови отпечатьци



Фиг. 2.17. Време за намиране на сходство с всяко от тестовите изображения с вени от пръст

Резултатите за сходство при мултимодално представяне, съгласно (2.2), са дадени на фиг. 2.18. Оптималната двойка тегла, която е намерена по емпиричен път е $w_1 = w_2 = 0.5$. Статистически определени стойности за точността и времето на идентификация при пълна валидация на базата с изображения са дадени в табл. 2.2.



Фиг. 2.18. Резултат по сходство, определен за пръстови отпечатьци и вени като мултимодална характеристика

Времето, необходимо за намиране на еквивалентния резултат чрез претегляне, е пренебрежимо малко в сравнение с времето за обработка и намиране на съвпадение.

Табл. 2.2. Резултат по сходство и време за намирането му при пълна валидация на базата данни

	Средно	Девияция	Медиана
Сходство при пръстови отпечатьци	0.9189	0.0360	0.9171
Сходство при вени от пръсти	0.8338	0.0702	0.8247
Сходство при мултимодална характеристика	0.8764	0.0475	0.8685
Време за определяне на съвпадение с пръстов отпечатък, $\times 10^{-4}$ sec	2.47	0.60	2.34
Време за определяне на съвпадение с вени от пръст, $\times 10^{-4}$ sec	1.62	0.46	1.53

Средният резултат на сходство при използване на пръстови отпечатьци е по-висок от този при използване на вени от пръст с 0.0851. Последният се изменя в по-голям диапазон с около 8.4%, но въпреки това абсолютната стойност на девиацията за двата вида биометрични характеристики е под 10%. Медианата на резултата и в двата случая е много близка до средната стойност (с около 1% разлика), което показва плавна промяна на редиците от получавани стойности.

Мултимодалната характеристика след комбиниране на пръстови отпечатьци и вени е с по-добро ниво на точност в определяне на съвпадението. Прямо вени повишението е с 0.04 единици. Девиацията на точността е 5.5% около средната стойност. И тук средната стойност е близка до медианата за цялата серия от измервания.

Намирането на съвпадение отнема 1.5 пъти повече време при пръстов отпечатък, отколкото при вени от пръст. Продължителността е от порядъка на 0.1 msec. В нея не се включва времето за регистриране на характеристиката чрез сензора. Двете обработки могат да се реализират паралелно, дори в портативни устройства. Единствено векторите на признаците биха могли да се предадат по комуникационен канал до сървър

с базата данни за търсене, независимо дали тя е изградена на национално или международно ниво. В действителност, времето за обмен, в зависимост от реализацията на цялата система (централизирана или разпределена), би могло да се окаже по-голямо от времето за обработка на биометричните характеристики. Ако се извършва идентификация на лице измежду всички записи в базата данни, вместо верификация – със сравнение с характеристиката, записана в е-паспорта, времето за обработка нараства линейно с броя им. Девиацията на времето за верификация е между 24% и 28% от средната стойност. Медианните стойности на времената и за двете характеристики са с около 0.1 сек по-малки от средната стойност. Времето за предварителна обработка на изображенията с пръстови отпечатыци е по-високо от това за вени и е определящо за целия времеви интервал до приключване на процеса на регистрация. Фактор върху времето за регистриране се оказва и размерът на изображенията – при пръстови отпечатыци типичните размери са 256x364 px, а при вените – 100x200 px като зоната, заемана само от кръвоносните съдове е 50x100 px. Тъй като по-голямата част от обработките са пикселно базирани с използване на маска, обхващаща текущо обработвана област, то при пръстовите отпечатыци естествено се получава и по-голямо време за намиране на признаците.

Броят на уникалните детайли, по които става разпознаването при пръстовите отпечатыци и разположението на закръгленията при вените, са друг фактор, засягащ времето на верификация. От фиг. 2.16 става ясно, че в първата половина от опитите за намиране на съвпадение се постига различна средна стойност, отколкото при втората половина. Всички изображения в случая са с еднакъв размер и са подложени на една и съща последователност от обработки. Обяснение за различните средни времена на обработка може да се намери единствено във връзка с различния брой детайли при всяко изображение. Подобен ефект се наблюдава и при обработката на изображения с вени от пръст (фиг. 2.17) като тук забележима промяна има между първата и втора четвърт от тази серия и във втората ѝ половина се наблюдава по-голям спад. При самото изчисляване на крайния резултат по сходство подобна тенденция не се наблюдава (фиг. 2.14 и фиг. 2.15), което показва стабилността в точността и на двата алгоритъма независимо от броя детайли в обработваното изображение. При мултимодалната реализация (фиг. 2.18) средната стойност на резултата по сходство се запазва също стабилна, дори при отчитане в по-тесни интервали от цялата поредица с тестови изображения.

В реални ситуации при множество пресичания на граници между различни държави от едно лице, т.е. при наличие на множество тестови образци, се очаква средната стойност от резултата по сходство от верификация, да бъде по-малък от 1, но да остава стабилен над емпирично намерен праг. В настоящите изследвания той е около 0.88.

Научни приноси

1. Разработен е алгоритъм за персонална идентификация по пръстови отпечатыци и вени от пръст чрез комбинация на резултатите за сходство, който осигурява по-висока точност, отколкото използването на вени от пръст като унимодална характеристика и по-висока степен на надеждност при установяване на идентичността. (фиг. 2.11).

Научно-приложни приноси

1. Предложен е обобщен модел на жизнен цикъл на е-паспорта от гледна точка на развойната дейност и процеса на производството му (фиг. 2.1). Предложени са група мерки за намаляване на риска от приложението на биометричните характеристики за персонална идентификация при осъществяването на граничен контрол (стр. 48). Определена е ефективността от приложение на унимодалните биометрични технологии в системите за автоматизиран граничен контрол в ЕС (фиг. 2.3 – 2.11).

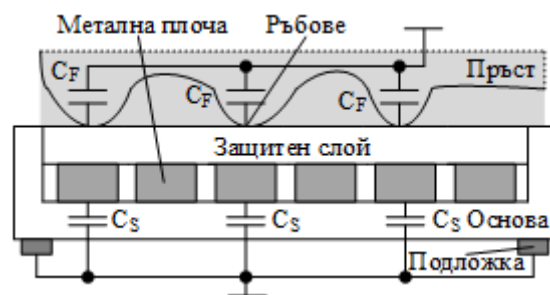
Приложни приноси

1. Извършена е статистическа обработка на резултатите от приложение на унимодални биометрични технологии в системите за автоматизиран граничен контрол в ЕС и представянето им в удобен графичен вид, който показва степента на тяхната ефективност. Извършен е експериментален анализ на ефективността на предложения алгоритъм за персонална идентификация по пръстови отпечатыци и вени от пръст чрез комбинация на резултатите за сходство (фиг. 2.12 -2.18, табл. 2.2).

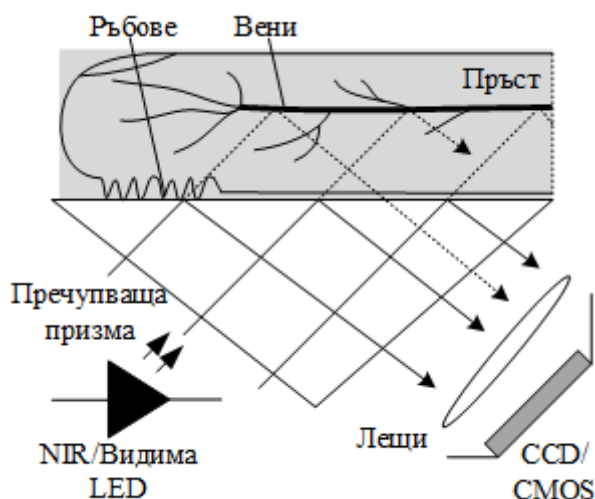
ГЛАВА 3 ТЕХНИЧЕСКИ ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ВНЕДРЯВАНЕ НА МУЛТИМОДАЛНИ БИОМЕТРИЧНИ ПОКАЗАТЕЛИ В СИСТЕМИТЕ ЗА ГРАНИЧЕН КОНТРОЛ

В настоящата глава се представят резултати от изследвания, свързани с определяне на надеждността на два от най-често използваните видове сензори - за регистриране на пръстови отпечатыци от капацитивен вид и оптоелектронен сензор за регистриране едновременно на пръстови отпечатыци и вени от пръст. Принципът на действие на капацитивен сензор е илюстриран на фиг. 3.1, а на оптоелектронен – на фиг. 3.2.

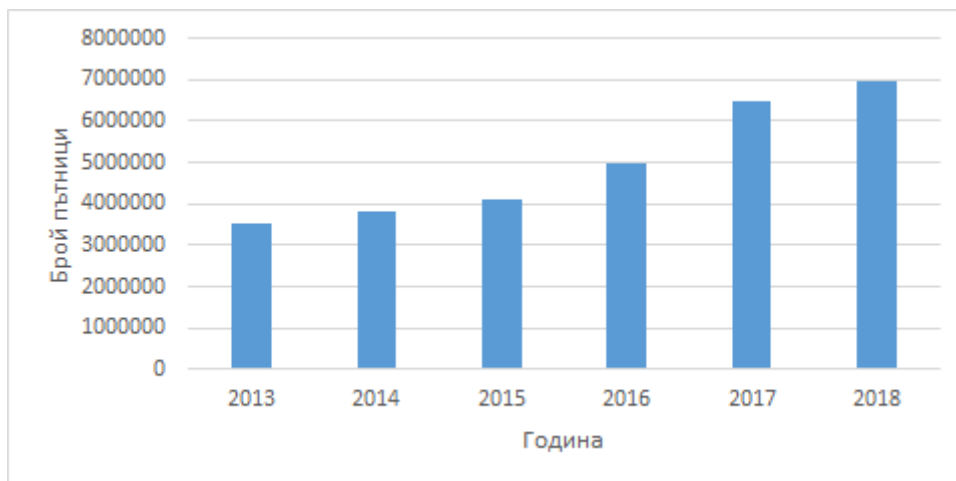
Предсказване на натоварването на разглежданите два вида сензори би могло да се направи на база следния сценарий. Потокът от пътуващи през летище София, реализиран в периода от 2013 до 2018 година [66], служи за основа на предсказване на броя пътуващи в следващите години. Това прогнозиране се извършва, за да се оцени реалната приложимост на описаните по-горе сензори, при реалистичен сценарий за тяхната употреба, за период не по-малък от 10 години напред във времето. Общият брой действително преминали пътници по години за посочения период е даден на фиг. 3.3.



Фиг. 3.1. Принцип на работа на капацитивния сензор

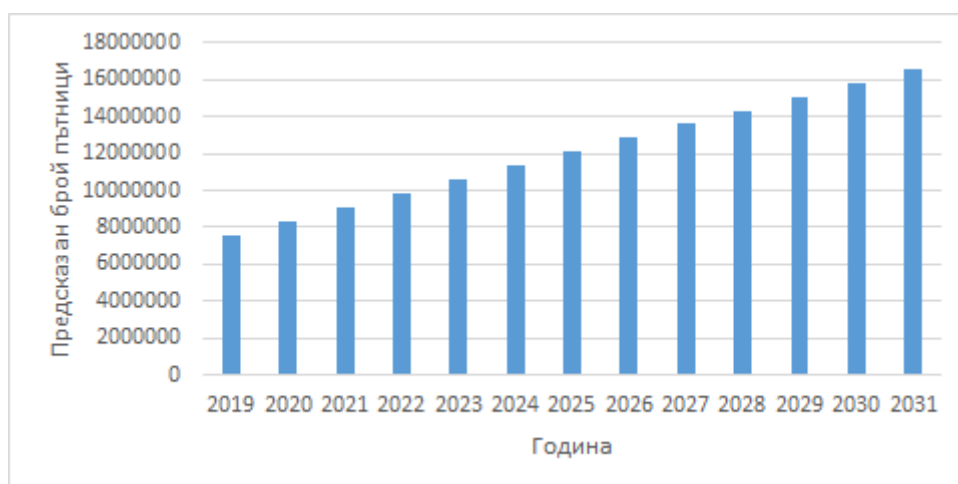


Фиг. 3.2. Принцип на работа на оптоелектронен сензор за пръстови отпечатыци и вени



Фиг. 3.3. Общ брой пътници през летище София за периода 2013-2018

Прилага се подходът с линейна регресия, описан в т. 3.2 като целта е определяне на вероятния брой пътници през летището до 2031 година. Резултатите са представени на фиг. 3.5. Параметрите на правата, апроксимираща разпределението на реализираните стойности са $\gamma = 748722$ и $\delta = 7.106$ с R^2 -стойност от наслагването, близка до 1.

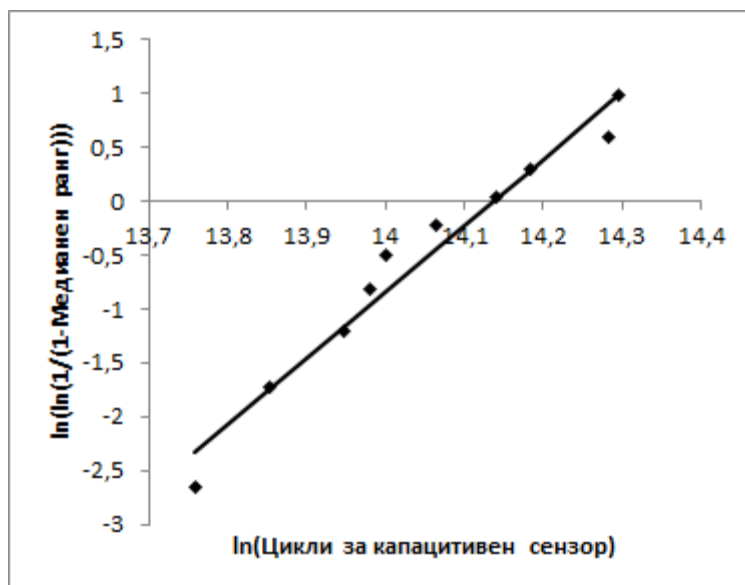


Фиг. 3.5. Предсказан поток от пътници през летище София за периода 2019-2031

Броят на работните цикли до отказ за двата вида изследвани сензори, представени с 10 екземпляра, са представени в табл. 3.1. Използва се методиката, описана в т. 3.1. Броят на циклите до отказ за всички образци на капацитивния сензор се асоциират с ранг в намаляващ ред. След това те се свързват с медианен ранг и свързаното с него логаритмично представяне от (3.14).

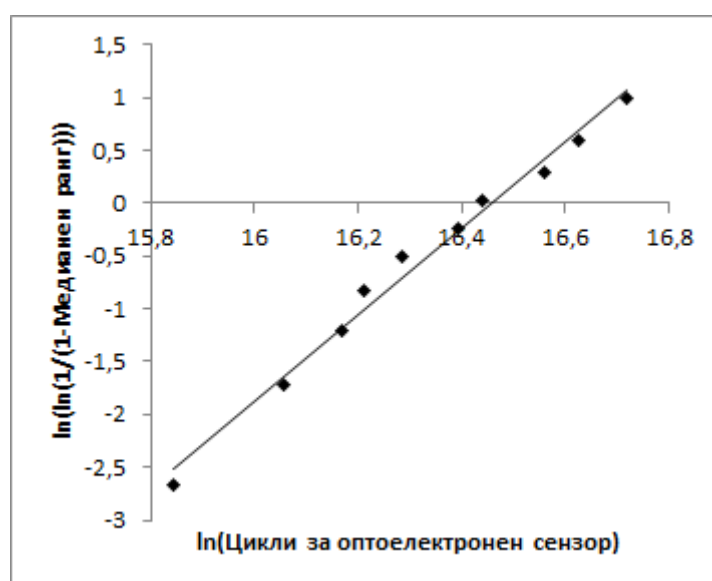
Табл. 3.1. Данни за отказите на изследваните сензори

Образец	Оптоелектронен сензор	Капацитивен сензор
1	10 523 982	1 038 884
2	13 807 750	1 385 766
3	13 146 179	1 445 775
4	10 965 715	1 597 327
5	11 831 679	1 617 936
6	7 607 990	1 283 014
7	15 528 035	1 180 418
8	18 250 937	1 202 909
9	9 403 728	1 141 568
10	16 610 249	944 272

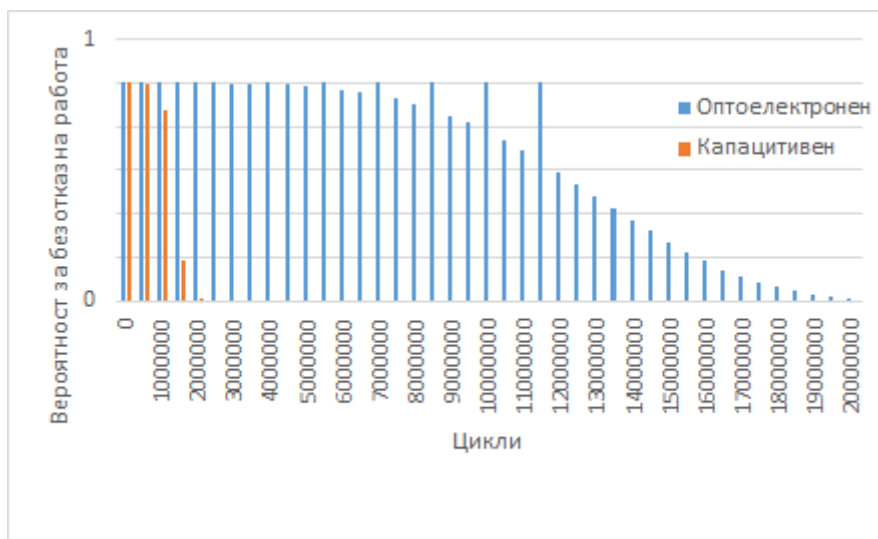


Фиг. 3.7. Намиране на правата, апроксимираща извадката на кондензаторния сензор

Честотата на отказите за двата сензора се увеличава, т.е. $\beta > 1$, което е очаквано поради износването им при експлоатацията от пътуващите. Характерният живот, т.е. α , е доста по-малък при кондензаторния сензор в сравнение с оптоелектронния – повече от 10 пъти. От представително множество кондензаторни сензори, при 63.2% се очаква отказ преди реализирането на 1,4 млн. цикъла, а при оптоелектронния – малко след 14 млн. цикъла.

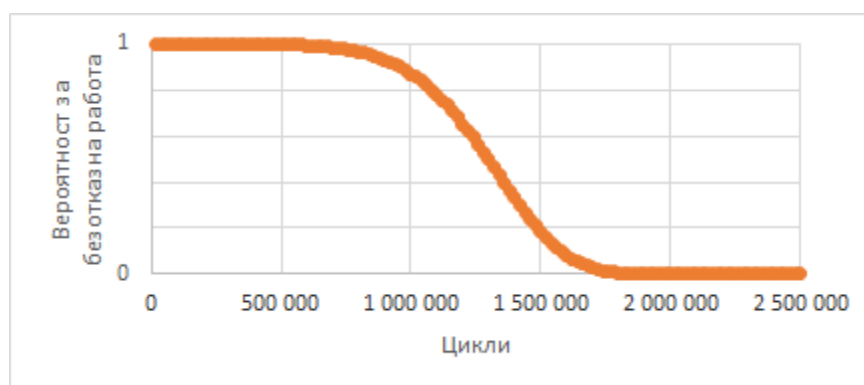


Фиг. 3.8. Линеен апроксимация за оптоелектронния сензор



Фиг. 3.9. Криви на вероятността за безотказна работа на сравняваните сензори

По-детайлно кривата на капацитивния сензор е показана на фиг. 3.10.



Фиг. 3.10. Крива на вероятността за безотказна работа на капацитивния сензор, определена до 2,5 млн. цикъла

При отчитане на предсказания брой пътници за 12 години (т. 3.4.1), само 50% от капацитивните сензори, предполагайки че се използват 6 точки (четци) за проверка, ще успеят да запазят работоспособността си за една година. Това означава, че на практика половината от биометричните станции с този сензор ще се нуждаят от подмяната му на годишна база. Една десета от сензорите ще продължат да работят за период от още 3 месеца, а само 1% ще са работоспособни за интервал от 18 месеца. В рамките на 9 месеца от въвеждането им в експлоатация се очаква 90% от капацитивните сензори да работят безотказно. С нарастване на разглеждания период, до 2031 година, периодът на замяна на сензорите ще намалява все повече като се отчете все по-големия брой пътници (фиг. 3.5).

При същите изходни условия, 50% от оптоелектронните сензори би трябвало да работят безотказно в рамките на 7,5 години. Само 1% няма да изискват замяна почти до края на първото десетилетие от въвеждането им. Това означава, че с почти пълна сигурност за всички биометрични четци от комбиниран тип ще бъде необходимо да бъдат поправяни поне веднъж до края на този период. За поне 5 години, 90% от оптоелектронните сензори би трябвало да са в работно състояние. В допълнение на това, 10% би следвало да осигурят безотказна работа в рамките на 9 години.

Научно-приложни приноси

1. Определено е прогнозно натоварване на биометрични сензори – капацитивен за пръстови отпечатыци и оптоелектронен за комбинирано регистриране на пръстови отпечатыци и вени от пръсти – на база на реалистичен сценарий за използване в условията на контрол на въздушна граница в рамките на десет годишен период ((3.22)-(3.26), фиг. 3.3 -3.6). Определена е надеждността на капацитивен сензор за пръстови отпечатыци и комбиниран оптоелектронен сензор за пръстови отпечатыци и вени от пръсти като са намерени кривите на вероятността за безотказната им работа и е направен анализ на честотата и мащаба на вероятните замени, които ще са необходими в различни периоди от време ((3.1)-(3.21), табл. 3.1-3.15, фиг. 3.7-3.10).

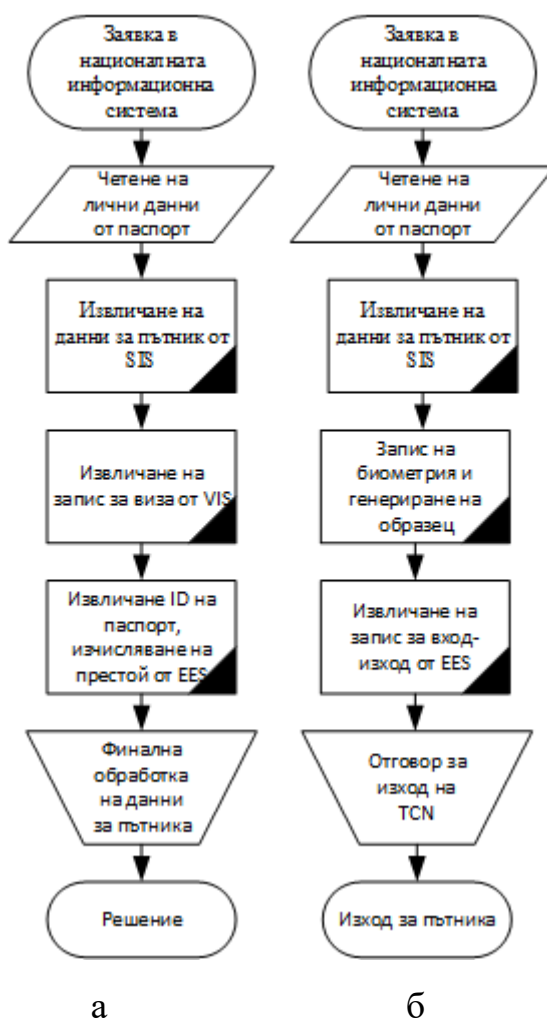
Приложни приноси

1. Приложена е методика за предсказване на потока от пътници през въздушна граница за период по-голям от десет години на база анализ чрез линейна регресия. Приложена е методика за определяне на крива на вероятност за безотказна работа на биометрични сензори чрез използването на разпределение на Вейбул, параметрите на което са получени чрез статистически анализ и линейна апроксимация.

ГЛАВА 4 ИКОНОМИЧЕСКИ АСПЕКТИ НА ПРИЛОЖЕНИЕТО НА МУЛТИМОДАЛНИТЕ БИОМЕТРИЧНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ В СИСТЕМИТЕ ЗА ГРАНИЧЕН КОНТРОЛ

В настоящата част от изследванията е представен икономически модел, свързан с предвижданите разходи при прилагане на мултимодални биометрични характеристики в системите за граничен контрол. Извършени са прогнозни анализи на възможната икономическа ефективност като за изходна рамка е приета единна автоматизирана система за вход-изход на Европейския съюз.

Съдържанието и обемът на информационните потоци, свързани с преминаването на границите на ЕС от граждани на трети страни, притежаващи виза (TCNVH – Third Country Nationals Visa Holders), се определят не само от броя пътуващи и тяхната националност, но и от основните стъпки на обработка на данни от системи, външни за EES (фиг. 4.1, EES – Entry-Exit System – Система за вход-изход).



Фиг. 4.1. Информационни потоци, обменяни по време на вход и изход на пътуващи в ЕС

Съществуващите информационни потоци могат да бъдат включени за обработка в система, подобна на тази, показана на фиг. 4.2. Две са възможните архитектури за осигуряване на информационния обмен, описан в т. 4.1. При първата EES и RT (Registered Travelers – Система на регистрираните пътуващи) системите съществуват независимо една от друга като се изграждат връзки между тях за обмен на данни, общи и за двете [72]. Вторият подход, одобрен от ЕК [83], е да се изгради напълно интегрирана EES, която да обхване RT системата с една обща база данни (фиг. 4.2). Наследената EES с ръчна обработка на документите (фиг. 4.3)

предлага ниска ефективност и не винаги е толкова надеждна поради недостатъчна подготовка или липса на ресурс в обслужващите звена.



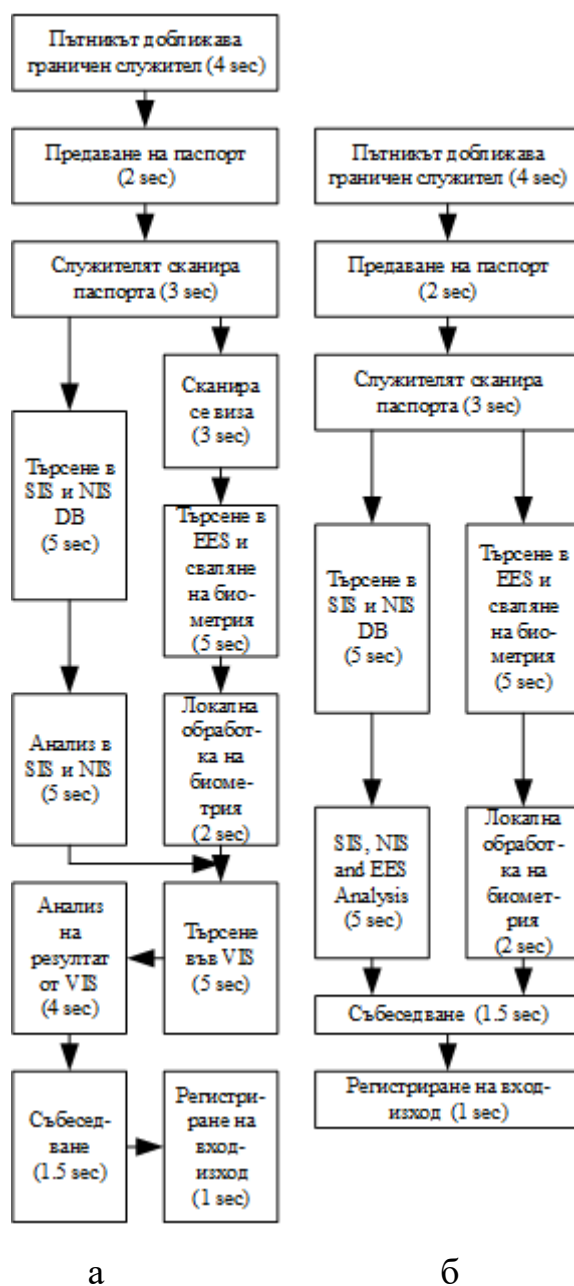
Фиг. 4.2. Целева архитектура на системата

Времето за проверка на TCNVN отнема средно 30,5 sec (фиг. 4.3.а), а за TCNVE (Third Country Nationals Visa Exempts – Граждани на трети страни, освободени от виза) – 21,5 sec (фиг. 4.3.б). В предлаганата, напълно автоматизирана, EES се предвижда средното време за проверка да отнема 22,5 sec за TCNVE (фиг. 4.4) и 30,5 sec за TCNVN (фиг. 4.5).

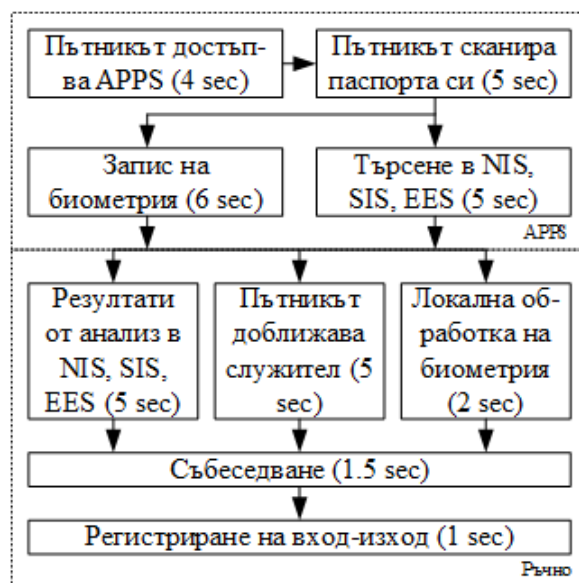
Очаква се надеждността да нарасне значително с въвеждането на биометричните показатели и високо защитените електронни записи в eMRTD (electronic Machine Readable Travel Documents – електронни машинно-четими документи за пътуване).

И при двете групи TCN (Third Country Nationals – граждани на трети страни) се прилага един и същ подход при изход от Шенгенското пространство, което отнема ръчно средно по 21 sec (фиг. 4.6.а). Очаква се,

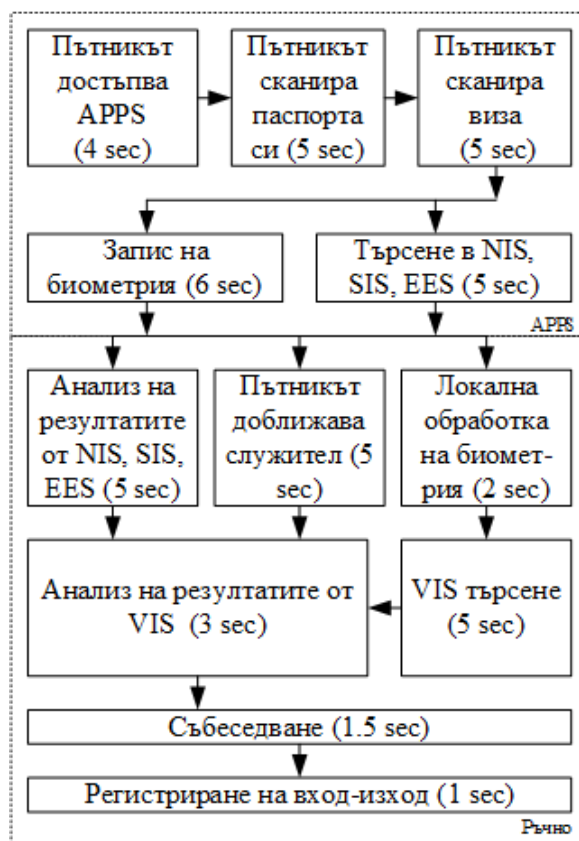
че автоматизираното напускане на зоната ще отнема не повече от 26 сек при пълната липса на гранични служители (фиг. 4.6.б).



Фиг. 4.3. Ръчно осигуряване на проверка: а) TCNVH; б) TCNVE



Фиг. 4.4. Процес на автоматизирана проверка на TCNVE



Фиг. 4.5. Процес на автоматизирана проверка на TCNVH

Хардуер за идентификация	60768	54000	60000	66000
Сървъри за приложения и мидълуеър	57759	54000	56000	58000
Приложения от трети доставчици и мидълуеър	304761	292000	312000	332000
Мрежа и комуникации	96237	90000	100000	110000
Други	276948	274000	280000	286000
Общо EES	1 976 431			

Табл. 4.2. Предвиждани инфраструктурни разходи за RT системата към 2020 г.

Елемент	Цена, EUR	Минимум	Мода	Максимум
Сървър за бази данни	276147	270000	300000	330000
Софтуер за бази данни	104546	90000	100000	110000
Масиви за съхранение	6285	6000	6250	6500
Софтуер за биометрична обработка	131161	130000	135000	140000
Хардуер за идентификация	19599	19000	20000	21000
Сървъри за приложения и мидълуеър	71689	68000	72000	74000
Приложения от трети доставчици и мидълуеър	199207	198000	200000	202000
Мрежа и комуникации	99852	90000	100000	110000
Други	123411	122000	125000	128000
Общо RT	1031902			

Табл. 4.3. Предвиждани разходи по разширяване на системата за определяне на биометрично сходство към 2020 г.

Елемент	Цена, EUR	Минимум	Мода	Максимум
Софтуер за биометрия	655893	625000	655000	685000
Хардуер за биометрия	119280	116000	120000	124000
Други	195334	194000	195000	196000
Общо	970508			

Понастоящем обемът данни, заема от 10 образа на пръстови отпечатьци, е 30 kB и 15 kB за лице. При ирис обемът е 5 kB като във второ

поколение е-паспорти има предвиден резервен обем от 10 kB информационно пространство. Един образец от вени от пръсти заемат по-малко от 2 kB [73], което дава възможност да се вложат записи от 5 пръста за всеки притежател на е-паспорт в настоящата му модификация.

Табл. 4.4. Предвиждани разходи за поддръжка към 2020 г.

Елемент	Годишен разход, EUR	Минимум	Мода	Максимум
Компоненти за подмяна	382609	375000	380000	385000
Такси за обслужване	1002866	990000	1000000	1010000
Общи годишни разходи за MS	1385475			

Предполага се, че е налице необходимост от постоянно съхраняване на поне 100 млн. записа в рамките на ЕС с отчитане на предсказания брой преминавания през гранични пунктове (табл. 4.5). За техният запис са необходими поне 8 TB дисково пространство, в т.ч. на всички използвани биометрични показатели. С отчитане на типичните капацитети на масово използваните към момента твърди дискове (HDD - Hard Disk Drive), около 20 от тях ще бъдат необходими. Две отделни географски местоположения се предпочитат за колокиране на масивите за съхранение от гледна точка на осигуряване на по-висока степен на тяхната сигурност.

Табл. 4.5. Предсказан брой гранични преминавания в ЕС през 2020 г.

Гранични преминавания за година	Влизания	Излизания	Общо
Граждани на ЕС	238500000	238500000	477000000
TCNVH	70500000	70500000	141000000
TCNVE	52000000	52000000	104000000
Общо	361000000	361000000	722000000

Обновяването на четците на биометрични показатели и на е-паспорти (и лични карти, след въвеждането на електронен вариант) е следващата операция, за която трябва да бъдат отчетени съответните разходи. Независимо от типа на използваните биометрични показатели, подмяна се прави на всеки 5-7 години поради износване на документите и амортизация на четците. Единственото условие, което трябва да се съблюдава е интерфейсът към централната част на системата да не се променя, което запазва нейната цялост, а с това не се генерират допълнителни разходи за обновяването му.

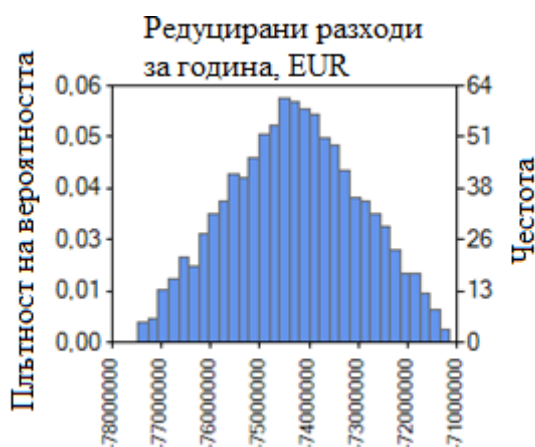
Потенциалната редукция на разходите при преход към напълно автоматизирана EES и въвеждането на посочените две биометрични характеристики, които биха довели до по-ниски FAR (False Acceptance Rate – Честота на недействително допускане) и FRR (False Rejection Rate – Честота на недействително отхвърляне), се определят по-долу като се отчита прогнозирания брой пътници за 2020 (табл. 4.5) и свързаната с процеса на автоматизиране редукция на броя на граничните служители (табл. 4.6).

Понастоящем съществуват 1505 BCP (Border Crossing Point – Граничен пропускателен пункт) в ЕС. При ръчна проверка на 1 милион пътници средният брой необходими гранични служители е 2021. С въвеждането на изцяло автоматизирана проверка се очаква тяхното намаляване с -1126, което представя модата при вариационния анализ, представен по-долу. Ако се приеме запазване на ръчната проверка, увеличаването на необходимия брой служители е 105. Минималният брой необходими служители при двете възможни реализации на системата са съответно 100 и -1276, а максималният – 115 и -1176, съответно. Реализира се Монте-Карло симулация с 1000 итерации върху входните данни и резултатът за крайните разходи и спестени средства е представен в табл. 4.6. Пълният размер от редукция на разходите за година се очаква да бъде около 74 млн. EUR след като се вземе предвид намаляването на броя на граничните служители и инфлацията на годишна база [78].

Табл. 4.6. Прогнозирани разходи за труд на гранични служители през 2020 г.

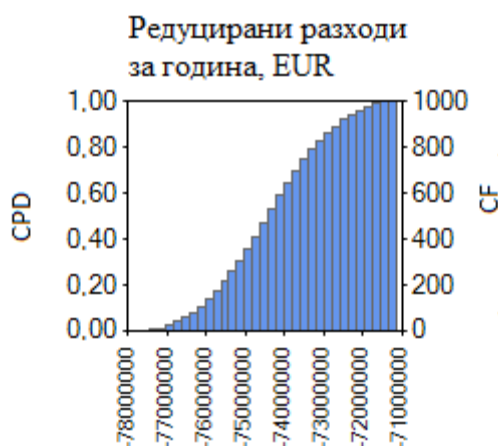
Брой наети гранични служители	Ръчна EES	Автоматизирана EES
Текущо необходими служители	2021	< 2021
Вход за TCNVE	411	197
Вход за TCNVH	776	409
Изход за TCNVE	402	81
Изход за TCNVH	537	108
Общ брой гранични служители	2126	795
Разлика	107	-1219
Годишен разход, EUR	6973903	-79283491
Обща инвестиция, EUR	0	5 364 318
Обща икономия за година, EUR	6973903	-73 919 173

Разпределението на плътността на вероятността за реализиране на предсказваната редукция в разходите, както и на честотата ѝ, са представени на фиг. 4.7.



Фиг. 4.7. Плътност на вероятността и честота на редуциран разход при обновяване на EES за 2020 година

Кумулативната плътност на вероятността (CPD – Cumulative Probability Density) и кумулативната честота (CF – Cumulative Density) за същия параметър са дадени на фиг. 4.8.



Фиг. 4.8. CPD и CF на прогнозираната редуцирания на разходите за EES през 2020 година

Статистическите параметри, намерени след симулиране на модела за 2020 година са дадени в табл. 4.7.

Табл. 4.7. Резултантни стойности на параметрите на модела за 2020 г.

Средна стойност	-74304368,7
Стандартно отклонение	1327679,5
Дисперсия	1 762 732 871 361,5

Коефициент на вариацията	-0,017868
Асиметрия	-0,000908
Ексцес	-0,594164
Мода	NaN
Стандартна грешка	41 984,9
Максимум	-71141506,3
Минимум	-77468390,5
Обхват	6326884,2

Анализът на чувствителността на разпределението чрез подхода „отгоре-надолу“ с използване на корелационния коефициент на Pearson показва, че най-голямо влияние върху модела имат разходите за поддръжка на софтуера (0.0576), следвани от тези за мидълуеър и сървърите за приложения в RT под-системата (0.0501), хардуерът за биометрия (0.486) и на пето място – мидълуеърът и сървърите за приложения за EES (0.0449).

Проверка на валидността на предложението в т. 4.3 модел на разходите при реализирането на напълно автоматизирана EES в рамките на ЕС би могла да се направи с прилагане на същия модел, но върху последните две фази на инициативата „Интелигентни граници“ [80]. Първата ѝ фаза е техническо проучване на възможностите за подобна реализация, предприето от ЕК през 2009 година, а втората – тестова фаза, завършила през 2014 година. Съществена разлика при реализирането на граничния контрол между началото и края на тази инициатива, обхващащ 5 годишен период, е ограничената употреба на биометрични показатели в е-паспортите, издавани от MS, както и липсата на биометрични записи в паспортите на TCN.

Тестовата фаза на „Интелигентни граници“ включва напълно оборудвани и автоматизирани ВСР само в 12 от 27 MS (Member States – страни-членки). При отчитане с фактор от 1/2,25 от всички преминавания през граничните пунктове на ЕС през същата година, средният брой гранични служители, участващи в процеса на проверка е 787 [70]. Пълният размер на разходите, които те генерират са приблизително 47,22 млн. EUR. Абсолютната разлика между реализираната и прогнозирана стойност на разхода (вж. табл. 4.13) е 1,08 млн. EUR или 2,3% относителна грешка. Последната е обективният критерий за точност на предлагания модел, валидиран чрез данни от изминал период от време.

Научно-приложни приноси

1. Определена е структурата на информационните потоци, обменяни по време на вход и изход на пътуващи в ЕС (фиг. 4.1). Предложена е целева

архитектура на система от централизиран тип за вход-изход на граждани между отделни държави, в която е възможно прилагането на мултимодални биометрични характеристики за персонална идентификация за автоматизиране на граничния контрол (фиг. 4.2). Определени са и са сравнени средните времена за обработка при ръчно и автоматизирано осигуряване на процеса на граничен контрол с използването на биометрични показатели за пътуващи лица, притежаващи и освободени от визи (фиг. 4.3-4.6). Извършено е мултивариантно моделиране с помощта на Монте-Карло симулации на икономическия риск, свързан с въвеждането на мултимодални биометрични технологии в единна информационна система от централизиран тип за автоматичен граничен контрол в ЕС (табл. 4.1-4.7, фиг. 4.7-4.8). Направена е валидация на предложения икономически модел с приложение на мултимодални биометрични характеристики за автоматизиран граничен контрол в ЕС за два етапа от изграждането на единна система за вход-изход (табл. 4.8-4.21, фиг. 4.9-4.12).

Приложни приноси

1. Изпълнени са серия от програмни симулации на мултивариантно моделиране.

ГЛАВА 5 ОСИГУРЯВАНЕ НА ПРОЦЕСИТЕ НА ИЗДАВАНЕ И ПРОВЕРКА НА ДОКУМЕНТИТЕ ЗА САМОЛИЧНОСТ ПРИ ИЗПОЛЗВАНЕ НА МУЛТИМОДАЛНИ БИОМЕТРИЧНИ ПОКАЗАТЕЛИ

Високото ниво на защита на личните документи се гарантира с въвеждането на безконтактен чип в е-паспортите, в който се съхраняват личните данни на притежателя, в т.ч. биометрични показатели. Последните свързват по-надеждно преносителя с конкретния документ при проверка.

Препоръките на ICAO (International Civil Aviation Organization – Международна организация за гражданска авиация) и Европейското законодателство са изцяло съобразени при реализацията на системата, обезпечаваща използването на цифрови сертификати в Република България. Постигната е съвместимост между издаваните лични документи и вече изградени системи, за тяхната обработка (фиг. 5.12).

Логическата структура на данните (LDS – Logical Data Structure), представена на фиг. 5.20 и използвана при eMRTD, е дефинирана в част 10 на DOC 9303 от ICAO [116]. Спазването на тази спецификация осигурява глобална съвместимост при използване на интегрални схеми (IC – Integrated Circuit) в документите. Част от информационните елементи, както и файловете структури и приложните профили, от нея са задължителни за включване, а останалите – препоръчителни. Всички те трябва да са достъпни при

легитимация с електронен документ в коя да е MS на ЕС. Зададен е и набор от задължителни изисквания като максимално улесняване на законния притежател, защита чрез набор от опции по отношение на записваните данни, осигуряване на възможност за адресиране на целия наличен информационен капацитет на чипа, свободното пространство от който би могъл да се използва за бъдещи приложения.



Фиг. 5.12. Връзка между приложението на сертификати и видовете управление на достъпа

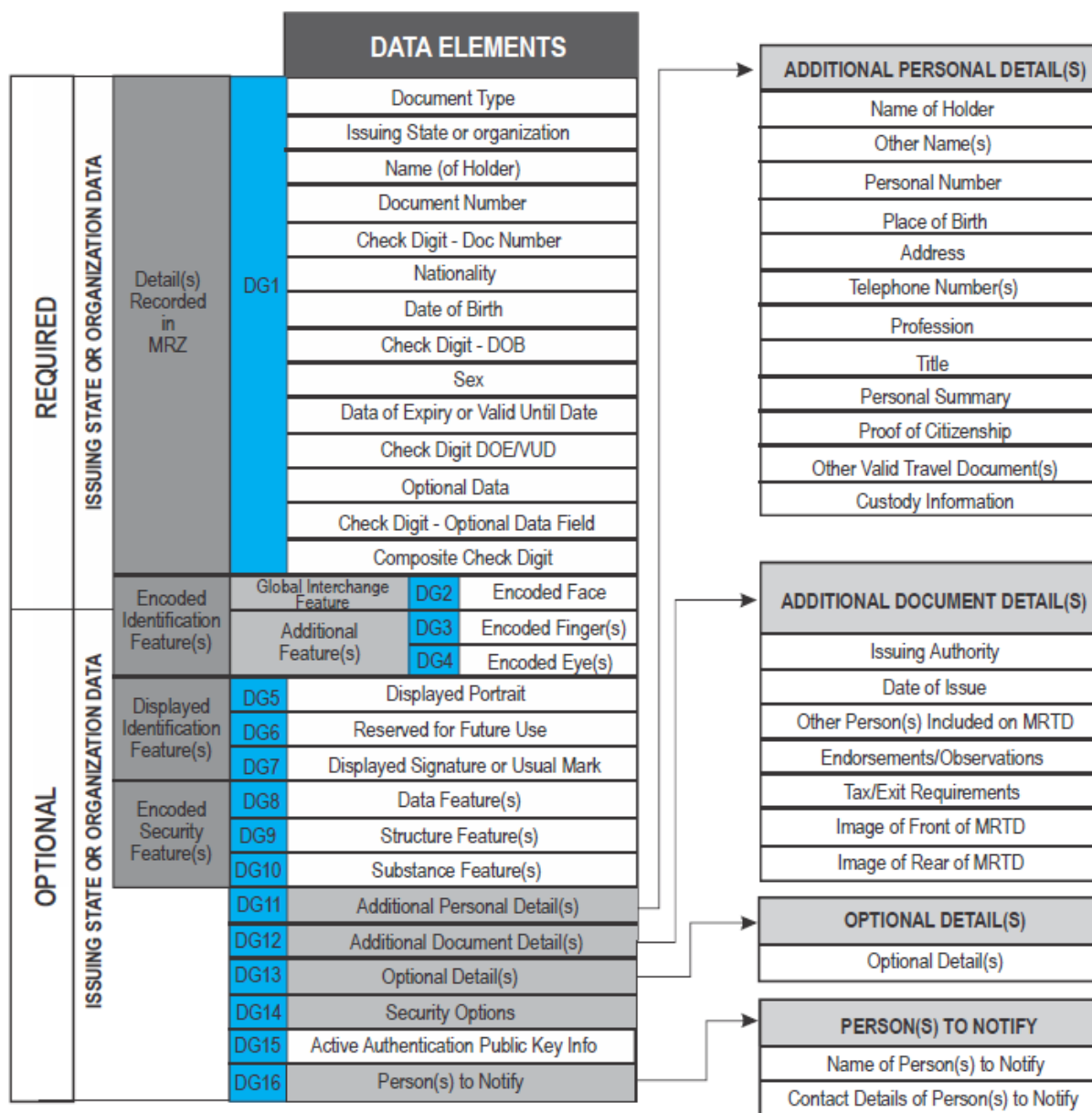
Научно-приложни приноси

1. Изследвани са основните видове атаки, прилагани върху документите за самоличност (т. 5.13.4, фиг. 5.21-5.25) като е направена класификация за тях и са предложени основни мерки за защита срещу тяхната реализация. Направен е детайлен анализ на структурата, физическите и цифрови елементи за защита на българските документи за самоличност, в т.ч. и с използването на мултимодални биометрични характеристики – лични карти, удостоверения за престой и различните видове паспорти (т. 5.1-5.6, 5.13.1-5.13.3) в контекста на прилаганите техники за неправомерното им използване. Анализирани са процесът на издаване на българските лични документи (т. 5.7). Предложен е модел на свързаността между централизираната информационна система за обслужване на работата с български лични документи с бази данни на други системи в Република България и ЕС (фиг. 5.10). Предложен е пакет от мерки за осигуряване на сигурността при работа с лични документи (т. 5.9) като е предложен единен модел на концепция за информационна сигурност (фиг. 5.11). Предложена е обобщена структура на работна рамка, представяща

информационните потоци, обменяни при използването на цифрови сертификати при реализация на базово, разширено и допълнително управление на достъпа (фиг. 5.12).

Приложни приноси

1. Изготвени и представени са статистически данни за изгубените, откраднати и неправомерно използвани лични документи в рамките на ЕС. Направено е сравнение на регистрираните стойности с нивата, отчетени в световен мащаб.



Фиг. 5.20. Идентифициращи номера на групите с данни, асоциирани съгласно LDGS (използвана е оригиналната фигура от [116])

M.Eng. Dimitar Georgiev

**APPLICATION OF MULTIMODAL BIOMETRIC TECHNOLOGIES IN
AUTOMATED BORDER CONTROL SYSTEMS**

ABSTRACT of Ph.D. THESIS

In the presented Ph.D. thesis means for increasing the accuracy, reliability and security of the process of personal identification in automated border control systems through application of multimodal biometric features - fingerprints and finger veins are offered, taking into account also the convenience of the travelers.

Initially, the effectiveness of the most common unimodal biometric features, applied at border crossing points in the member states of the European Union, is analyzed considering the risks associated with their use. An effective algorithm applicable to border control systems using fingerprint and finger veins score fusion is proposed. A biometric sensor suitable for parallel registration of these features is selected, analyzing its applicability in terms of operational reliability in a real-world use-case scenario.

Efficiency of centralized automated systems has been evaluated using the proposed multimodal biometric features to perform border control with regard to the necessary time resource compared to the manual verification of travelers' identities. An economic assessment has been carried out taking into account the necessary updates of the software and equipment in automated border control systems and the possible costs reduction associated with the decrease of non-automated checks. A technical possibility to integrate the selected multimodal biometric features in the electronic chip to the currently issued e-passports and its use for identification through a centralized information system is investigated with a set of guidelines for its incorporation. Promising results are gathered as a proof of concept to the suggested multimodal feature and identification algorithm towards their possible integration within the next generation of the electronic Machine Readable Travel Documents.