

Biometrické snímače lidského oka

Biometric Sensor of Human Eye

Marcel Čevora

Bakalářská práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Marcel ČEVORA**
Osobní číslo: **A10198**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Biometrické snímače lidského oka**

Zásady pro vypracování:

1. Popište vlastnosti a vysvětlete funkci lidského oka.
2. Analyzujte princip biometrického snímače sítnice a duhovky.
3. Porovnejte různé typy biometrických snímačů oka.
4. Pomocí skutečných snímků duhovky, příp. sítnice vytvořte laboratorní úlohu.
5. Odhadněte další vývoj těchto systémů a jejich využití.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. DRAHANSKÝ, Martin a Filip ORSÁG. Biometrie. 1. vyd. IBrno: M. Drahanský, 2011, 294 s. ISBN 978-80-254-8979-6.
2. RAK, Roman, Vašek MATYÁŠ a Zdeněk ŘÍHA. Biometrie a identita člověka ve forenzních a komerčních aplikacích. 1. vyd. Praha: Grada, 2008, 631 s., 32 s. barev. obr. příl. ISBN 978-80-247-2365-5.
3. BITTO, Ondřej. Šifrování a biometrika, aneb, Tajemné bity a dotyky. Vyd. 1. Kralice na Hané: Computer Media, 2005, 168 s. ISBN 80-86686-48-5
4. SYNEK, Svatopluk a Šárka SKORKOVSKÁ. Fyziologie oka a vidění. Vyd. 1. Praha: Grada, 2004, 93 s., 181 s. barev. obr. příl. ISBN 80-247-0786-1.
5. VYORAL, Pavel. Identifikační biometrické systémy. Zlín, 2011. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Rudolf Drga

Ústav bezpečnostního inženýrství

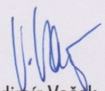
Datum zadání bakalářské práce:

25. února 2013

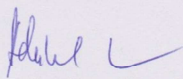
Termín odevzdání bakalářské práce:

30. května 2013

Ve Zlíně dne 25. února 2013


prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan




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

ABSTRAKT

Předložená bakalářská práce se zabývá vlastnostmi a možnostmi praktického využití biometrických snímačů lidského oka. V teoretické části je uvedena problematika biometrie a pojednání o vlastnostech lidského oka. Dále je zde uveden princip snímání oka pomocí biometrického snímače sítnice a biometrického snímače duhovky. Praktická část se zabývá principem konkrétního zařízení a obsahuje vytvořenou laboratorní úlohu, ve které je uveden postup vhodný k vyhodnocení získaných údajů biometrickým snímačem lidského oka.

Klíčová slova: oko, snímač, sítnice, duhovka

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the properties and possibilities of practical use of biometric sensors human eye. In the theoretical part there is the issue of biometrics and discussion of the properties of human eye. It also shows the principle of scanning the eye using a retinal biometric sensor and iris biometric sensor. The practical part deals with the principles of a particular appliance and contains (created) laboratory task where is presented action appropriate to evaluate obtained data from biometric sensor of the human eye.

Keywords: eye, sensor, retina, iris

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval Ing. Rudolfu Drgovi za odborné, kvalitní rady a čas, který mi věnoval při konzultacích a úpravách bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval své rodině za morální a finanční podporu během studia.

„Biometric Access, Where You're the Key!“

Bruce Scheier

Prohlašuji, že

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

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 BIOMETRIE	11
1.1 ZÁKLADNÍ BIOMETRICKÉ POJMY	11
1.1.1 Fyzická identita	11
1.1.2 Elektronická identita	11
1.1.3 Identifikace.....	11
1.1.4 Verifikace	12
1.1.5 Autentizace.....	12
1.2 BIOMETRICKÉ NORMY	12
1.2.1 Historie standardizace	13
1.3 BIOMETRICKÉ SYSTÉMY	14
1.3.1 Biometrie ruky	15
1.3.2 Biometrie hlavy	15
1.3.3 Další biometrie	16
1.3.4 Zhodnocení biometrických systémů	17
1.3.4.1 Koeficient nesprávného přijetí FAR	17
1.3.4.2 Koeficient nesprávného odmítnutí FRR	18
1.3.4.3 Křížový koeficient ERR.....	18
1.3.4.4 Koeficient selhání sejmutí příznaku FTE, FER	19
1.3.4.5 Koeficient nesprávného přiřazení FIR	19
1.3.4.6 Koeficient nesprávného přijetí FMR	19
1.3.4.7 Koeficient nesprávného odmítnutí FNMR	19
2 ANATOMIE LIDSKÉHO OKA	20
2.1 STAVBA OČNÍ KOULE.....	21
2.1.1 Bělima (sclera)	21
2.1.2 Rohovka (cornea)	21
2.1.3 Cévnatka (choroidea)	21
2.1.4 Řasnaté těleso (corpus ciliare)	22
2.1.5 Duhovka (iris)	22
2.1.6 Sítnice (retina)	22
2.2 OBSAH OČNÍ KOULE	23
2.2.1 Čočka (lens cristallina).....	23
2.2.2 Sklivec (corpus vitreum)	24
2.2.3 Oční komory (camerae bulbi)	24
2.3 FUNKCE LIDSKÉHO OKA	24
3 BIOMETRICKÉ SBÍMAČE LIDSKÉHO OKA	26
3.1 PRINCIP BIOMETRICKÉHO SNÍMAČE DUHOVKY	26
3.1.1 Vlastnosti duhovky.....	26
3.1.2 Snímání duhovky	27
3.1.3 Hlavní výhody a nevýhody identifikace podle oční duhovky.....	29
3.2 PRINCIP BIOMETRICKÉHO SNÍMAČE SÍTNICE	30
3.2.1 Vlastnosti sítnice	30
3.2.2 Snímání sítnice	31

3.2.3	Hlavní výhody a nevýhody identifikace podle sítnice oka	33
3.3	POROVNÁNÍ BIOMETRICKÝCH SNÍMAČŮ LIDSKÉHO OKA	34
II	PRAKTICKÁ ČÁST	35
4	SNÍMAČE LIDSKÉHO OKA NA TRHU	36
4.1	LG IRIS ACCESS	36
4.1.1	Komponenty LG Iris Access	37
4.2	PANASONIC BM-ET200 IRIS READER	41
4.2.1	Rozšiřující moduly BM-ET200.....	43
4.3	NIDEK AFC-330.....	45
5	LABORATORNÍ ÚLOHA ZAMĚŘENÁ NA BIOMETRICKÉ SNÍMAČE LIDSKÉHO OKA.....	48
5.1	ZADÁNÍ	48
5.2	PODKLADY K VYPRACOVÁNÍ LABORATORNÍ ÚLOHY „BIOMETRICKÉ SNÍMAČE LIDSKÉHO OKA“	49
5.3	VYPRACOVÁNÍ	51
6	VÝVOJ BIOMETRICKÝCH SNÍMAČŮ LIDSKÉHO OKA.....	58
6.1	PRAKTICKÉ VYUŽITÍ BIOMETRICKÝCH SNÍMAČŮ LIDSKÉHO OKA	58
6.2	ODHAD VÝVOJE BIOMETRICKÝCH SNÍMAČŮ OKA	59
	ZÁVĚR	60
	ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....	61
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	62
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	64
	SEZNAM OBRÁZKŮ	66
	SEZNAM TABULEK.....	67

ÚVOD

Rychlé a spolehlivé rozpoznávání osob je jedním z hlavních, nejen bezpečnostních, úkolů mnohých firem. A právě lidské oko může být cestou k řešení tohoto problému. Tato problematika, rozpoznávání dle lidského oka, spadá do odvětví biometrie. Biometrie je známa tisíce let a označuje rozpoznávání podle vlastností lidského jedince, ať už fyzických či behaviorálních. S biometrickým rozpoznáváním se setkáváme denně, aniž bychom si to uvědomovali, jelikož i samotná identifikace dle vzhledu je rozpoznání na základě biometrických vlastností jedince. Tato bakalářská práce poskytuje přehled biometrických systémů, které jsou dnes známy a využívány. Jsou zde popsány jejich výhody i nevýhody, ale především se práce věnuje konkrétnímu odvětví biometrie a to rozpoznávání podle lidského oka.

Tuto problematiku lze dále dělit na principu pořizovaných snímků na dvě odvětví. A to na rozpoznávání dle oční duhovky a rozpoznávání dle oční sítnice, přesněji očního pozadí. Obě tyto metody rozpoznávání patří k nejspolehlivějším způsobům identifikace osob. Vše je zapříčiněno anatomickými vlastnostmi lidského oka, kdy již od narození člověka, disponuje lidské oko velkým množstvím jedinečných znaků, které jsou k rozpoznávání využívány. Princip biometrických snímačů lidského oka je postaven na fázích pořízení snímku oka, extrakce jedinečných rysů, a porovnání s již existující databází. Teoretická část práce nejdříve seznamuje čtenáře s anatomickou stavbou lidského oka a zmiňuje vlastnosti, které mohou být výhodami i nevýhodami. Dále je rozebrána funkce lidského oka, díky čemuž získá čtenář ucelený přehled o smyslu jednotlivých základních částí, ze kterých je sestaveno lidské oko.

Následně je v práci analyzován princip biometrického snímače duhovky a biometrického snímače sítnice, kde jsou vysvětleny problémy spojené s těmito metodami rozpoznávání. V závěru teoretické části této práce je uvedeno porovnání obou druhů biometrických snímačů lidského oka.

Největší přínos této práce je v její praktické části. V ní je vytvořena laboratorní úloha a následně uveden přehled biometrických snímačů lidského oka na dnešním trhu. Na laboratorní úloze „Biometrické snímače lidského oka“ si budou moci studenti Univerzity Tomáše Bati vyzkoušet ruční analyzování snímků lidského oka a díky tomu blíže pochopit princip biometrického snímače sítnice.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 BIOMETRIE

Pojem biometrie pochází původně z řeckého jazyka, kde mu byla základem slova „bios“, které znamená život a slovo „metron“ znamenající měřítko. Z toho lze tedy snadno odvodit funkci a význam biometrie. V našem bezpečnostním oboru se používá pro systém či postup sloužící k rozpoznávání vzorů lidských vlastností.

V dnešní době pojem biometrie označuje automatizované rozpoznávání osob na základě jejich anatomických rysů. [1, s. 7]

1.1 Základní biometrické pojmy

1.1.1 Fyzická identita

Fyzickou identitou bychom mohli nazvat vlastnost, či souhrn vlastností vedoucí k jednoznačnému rozpoznání osoby. Jedná se tedy o jedinečnou vlastnost každého člověka. Neexistují na světě dvě osoby se stejnými fyzickými identitami a tím je zaručena právě ona jedinečnost. Obrovskou výhodou fyzické identity je její nepřenositelnost. Není jednoduše možné ji přenést či předat jiné osobě. Nemůže nám ji nikdo odcizit a my ji nemůžeme ztratit či zapomenout. S touto fyzickou identitou jsme se narodili a také s ní umřeme. [1, s. 10]

1.1.2 Elektronická identita

Protipólem fyzické identity je identita elektronická. U ní neplatí výše zmíněné vlastnosti, nýbrž elektronických identit můžeme mít několik. Jako ekvivalent elektronické identity si můžeme představit účty na webových portálech nebo emailových serverech. Můžeme jich mít více, každý účet pro jiný účel, a tím máme také více elektronických identit. Sdělením údajů o přístupu na daný portál jiné osobě, můžeme elektronickou identitu přenést na další osobu. [1, s. 10]

1.1.3 Identifikace

Identifikace je jedna z metod ke zjištění identity člověka. Tuto metodu si můžeme představit tak, že osoba, která například vyžaduje vstup do objektu, zadá systému svoji biometrickou vlastnost. Ten ji načte a porovná se všemi příslušnými daty uloženými v databázi.

Identifikace tedy pracuje pouze s fyzickou identitou. Kladným výsledkem je přidělení identity a záporným výsledkem bude, že systém osobu nerozezná. Identifikace je taky známa z anglického jazyka jako one-to-many, tedy porovnání jednoho vzorku se všemi v databázi. Tento proces je časově náročný, jelikož databáze může obsahovat velké množství uložených údajů.[1, s. 10]

1.1.4 Verifikace

Verifikace (ověřování) je takéž metoda vedoucí ke zjištění identity člověka, ovšem liší se v principu jejího přiřazení. Zde totiž osoba nejprve systému zadá svoji elektronickou identitu. Ta může být snadno zneužita a tak pro její ověření musí být následně vložena biometrická vlastnost člověka.

Postup se tedy liší v tom, že systém ví, kdo se k němu přihlašuje a pouze ověřuje fyzickou identitu přiřazenou k identitě elektronické. Již neporovnává získaná data s celou databází ale s jediným údajem. Verifikace je označována z anglického jazyka jako one-to-one, tedy porovnání jednoho vzorku s jedním vzorkem s databáze.. Výsledkem se ovšem od identifikace neliší, jelikož opět může být kladně nebo záporně přiřazena identita. Tento proces má největší výhodu ve zkrácení časového intervalu při porovnávání.[1, s. 10]

1.1.5 Autentizace

Pojem spadající především do kontroly vstupu, tedy přístupových a docházkových systémů. Autentizaci by se dalo vysvětlit jako určení míry hodnověrnosti. Při autentizaci můžeme použít jak metodu identifikace, tak i verifikace a systém na základě vypočtené hranice buď vyhoví, nebo zamítne žádost o přístup. [1, s. 10]

1.2 Biometrické normy

Právě vytvoření norem vedlo k největšímu rozšíření biometrických systémů. Jejich vytvoření napomohlo k provázanosti mezi jednotlivými výrobci, a proto je nyní možné jeden prvek biometrického systému vyměnit za druhý od jiného výrobce bez nutnosti zasahovat do softwarového vybavení.

Normy se především týkají formátu výměny dat a hodnocení výkonnosti biometrických systémů.

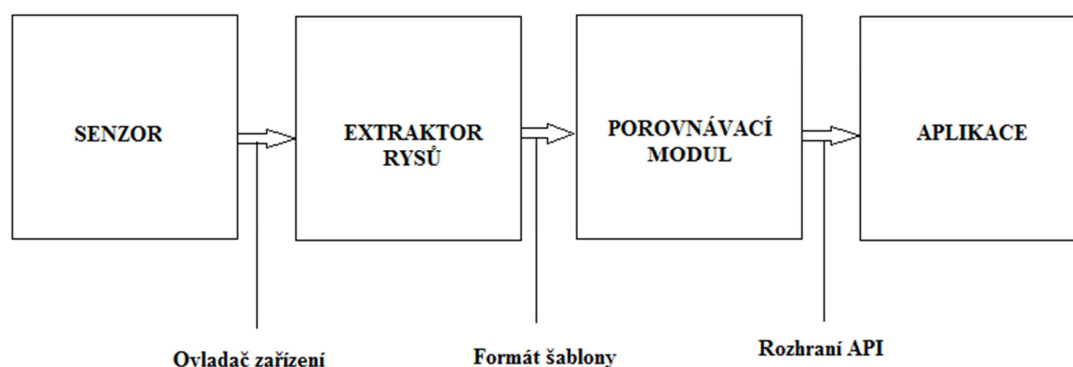
1.2.1 Historie standardizace

Do roku 1996 byla známa pouze norma pro otisky prstů a to ve formě záznamu na daktyloskopických kartách a dále pro účely medicíny. V roce 1996 významné americké laboratoře společně s FBI vytvořili normu pro formát obrazu otisku prstů. To se během dalších let ovšem ukázalo jako nedostatečné a vše směřovalo ke standardizaci pro všechny biometrické rysy.

V roce 1988 vzniklo konsorcium BioAPI. To vzešlo se sedmi počátečních sdružení s hlavním úkolem, kterým byl zrod standardního aplikačního rozhraní. V dnešní době konsorcium čítá přes 120 organizací zahrnující odvětví průmyslu, zástupce vlády, ale i akademické instituce.

Další pokrok nastal v roce 2001, kdy bylo založeno organizací *INCITS (International Committee for Information Technology Standards)* oddělení pro biometrii nazvané M1. Toto oddělení následně vytvářelo normy pro formát výměny biometrických dat se zaměřením na využitelnosti v kriminalistice. V roce 2002 se pak do tvorby norem přidala organizace *ISO JTC1 (Joint Technical Committee 1)*, kdy skupina stvořená touto organizací vytvořila normy formátu šablony pro výměnu biometrických dat pro velké množství biometrických systémů.

Tedy tvorbou norem se dnes zabývají především tři výše zmíněné sdružení, kdy jejich společným cílem je vytvoření provázanosti mezi jednotlivými prvky biometrického systému (obrázek 1).



Obrázek 1 Biometrický systém [1, s. 62]

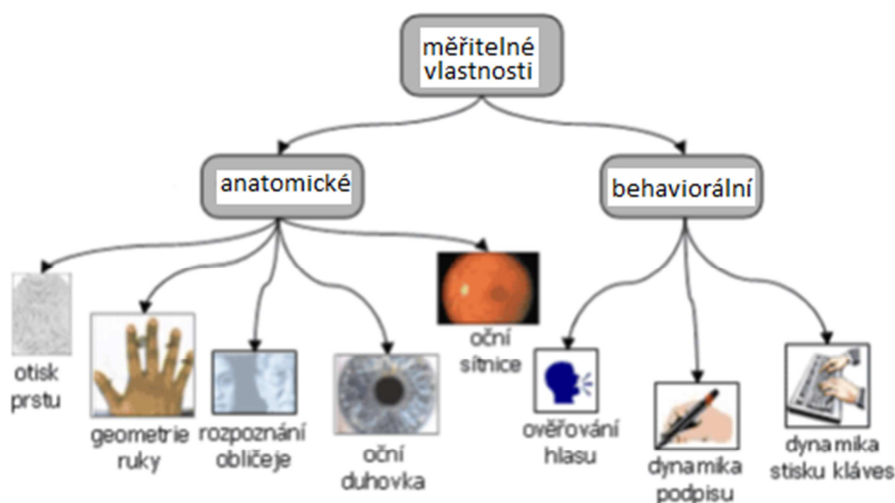
Ovladač zařízení se vytváří vždy pro každý senzor. Z toho důvodu jsou většinou mezi sebou nekompatibilní, a to dokonce u senzorů snímajících stejnou biometrickou vlastnost. Jelikož se jedná o software, řešením mohou být softwarové, normy např. od společnosti Windows.

Šablona a její formát podléhají standardizaci. Tím se zabývají výše zmíněné organizace *ISO JTC1* a *INCITS*. Jejich cílem je hlavně v případě nutnosti výměny jednoho prvku biometrického systému, zaručit jeho kompatibilitu s náhradním prvkem. Tím se může ušetřit např. znovu vytvoření databáze uživatelů.

Rozhraní API je standardizované rozhraní za účelem autentizace při využití kteréhokoliv biometrického systému.[1, s. 61-62]

1.3 Biometrické systémy

Nejpoužívanější dělení biometrických systémů je dělení na anatomické rysy a behaviorální rysy, tedy statické a dynamické vlastnosti.



Obrázek 2 Znázornění dělení biometrických vlastností [6]

V této bakalářské práci jsou ovšem biometrické systémy rozděleny jinak:

- 1) Biometriky ruky
- 2) Biometriky hlavy
- 3) Další biometriky

Takové dělení lépe vyhovuje potřebám této bakalářské práce.

1.3.1 Biometrie ruky

Biometriky ruky jsou nejstarší a nejkoumanější částí biometrických informací člověka. Bylo prokázáno hned několik jedinečných vlastností lidské ruky, které má každý jedinec na planetě Zemi.

Jako nejznámější a nejvyužívanější, považuji rozpoznávání dle otisků prstů. Je již dlouho využíváno pro kriminalistické účely a má vytvořeno vlastní vědní obor nazývaný daktyloskopie. Takzvaný otisk prstu je vlastně obrazec papilárních linií neboli zvrásnění lidského prstu.

Druhým jedinečným rysem lidské ruky je její geometrie neboli tvar. Jedná se o 2D dnes již o 3D snímání tvaru ruky. Vyhodnocují se především rysy jako délka prstů, šířka prstů, výška prstů a lokální anomálie. Využívá se především tam, kde není možné využít jiné více náročné biometrické systémy. Tato metoda nevyžaduje složité snímací zařízení a zpracování pořízeného obrazu ruky je také poměrně snadné.

Třetím významným rysem lidské ruky jsou její žilní obrazy, které se vyskytují na jejím hřbetu, na dlani a také v jednotlivých prstech. Oproti předešlé zmíněné metodě, je tato metoda výrazně bezpečnější, jelikož tato biometrická informace není viditelná lidským okem. K jejímu sejmutí je zapotřebí silného nasvícení snímané oblasti světlem blízkému infračervenému záření. Není potřeba kontakt se snímacím zařízením, tudíž se jedná o bezkontaktní proces. V principu se jedná o zvýraznění krevního řečiště obsahujícího hemoglobin, a tím o získání obrazu, nesoucího biometrickou informaci.

Další způsob rozpoznávání je podle struktury nehtu. Metoda, která ustoupila do ústraní, ale dnes se jí opět začínají věnovat různé výzkumné týmy a firmy. Metoda vychází ze snímání lůžka nehtu, nacházejícího se přímo pod nehtovou ploténkou. Ze škrápy nehtového lůžka přímo vybíhají podélné lišty. Tyto lišty mají jedinečnou strukturu jako linie na polštářcích prstů. Po sejmutí výsledek připomíná čárový kód. Metoda spočívá ve snímání přes nehet pomocí bílého koherentního světla. V budoucnu by se tato metoda mohla využívat v kombinaci s metodou snímání otisku prstů. [2, s. 123-133]

1.3.2 Biometrie hlavy

Rozpoznávání podle lidského obličeje používáme, aniž bychom si to uvědomovali každý den. Dříve již byly vyvinuty systémy pro snímání obličeje ve 2D. Ovšem dnes jsou již tyto snímací metody překonány a nahrazeny metodou snímání ve 3D. Obě tyto metody

je možno oklamat fotografií nebo napodobeninou lidské hlavy. Proto se dnes jako doplněk, či jako samostatná snímací metoda, používá pořizování termosnímků. Rozpoznávání dle obličeje používá každý z nás denně a úspěšně, proto nás nemůže překvapit, že tato biometrická oblast je jednou z nejvíce se rozvíjejících a dle mého mínění také jedna z největší budoucností co se týká uplatnění v komerční sféře.

Hned dva známé biometrické rysy nese lidské oko. Jedná se o rysy oční duhovky a sítnice. Oční duhovka i přes svou malou velikost (průměrně 11m) poskytuje dostatek informací pro jednoznačnou identifikaci i tam, kde je databáze uživatelů rozsáhlá. Je to orgán nacházející se uvnitř lidského těla, tedy dobře chráněn před vnějšími vlivy a přesto přístupný - viditelný pro snímání z vnější. Rozpoznávání podle oční sítnice využívá snímků očního pozadí, tedy přesněji obrazu cév nacházejícím se až za oční sítnicí. U této metody je největším problémem právě ono snímání. Metoda se je typická svou velkou přesností a bezpečností ovšem to je vykoupeno nepříjemným a složitým přístupem osob podléhajícím snímání.

Tvar ucha respektive ušního boltce je dalším nositelem jedinečné informace. I když je ucho několikanásobně větší, než oční duhovka, není nositelem tak rozsáhlé informace. Tedy nenachází se na něm tolik jedinečných rysů. Výhodou této metody je rozpoznávání z větších vzdáleností a také možností zanechání otisku ucha. [2, s. 135-140]

1.3.3 Další biometrie

Zde lze zařadit například rozpoznávání podle hlasu. Nejen že je možné se pomocí něj identifikovat, ale v budoucnu dle mého názoru možné usnadnit si každodenní život pomocí zařízení k rozpoznávání hlasu. Již dnes jsou na světě zařízení a algoritmy k rozpoznání mluveného slova, k následnému převedení na text a případně i k vykonání nějaké další činnosti. Ovšem ve výhledu budoucnosti bude možné, že zařízení rozpozná kdo mu daný úkol zadává a s kým právě komunikuje. K této metodě není potřeba složité či nákladné zařízení. Jde jen o správné vytvoření algoritmu, který bude schopen rozpoznat určitou osobu po porovnání se svou databází.

Rozpoznávání dle lidského pachu je již dlouho využíváno v kriminalistické praxi a to za pomoci speciálně vycvičených psů. Ovšem zařízení, které by jednoznačně určilo na základě pachu identitu osoby, se na trhu zatím neobjevilo. Problémem je především velké množství jiných pachů v okolí osoby. Neexistuje ani dostatečně přesný a vhodný detektor,

který by byl schopen sejmout pach s požadovanou přesností. Změna pachu může být navíc vyvolána psychickým, či emocionálním stavem jedince.

Nejdůležitější jedinečná vlastnost každého člověka je jeho DNA, neboli kyselina deoxyribonukleová. Často se o ní můžeme dočíst jako o nejlepším identifikátoru osob, nýbrž dokáže přiřadit identitu každému jedinci na světě. Její využití v bezpečnostní nebo komerční sféře ovšem nepovažuji za tak důležité, jako využití v oboru medicíny. Její největší nevýhodou je, že ke každé analýze potřebuje kousek osoby vyžadující určení identity. Navíc rychlost analýzy nebude vyhovující k využití například v přístupových systémech.

Každý z nás má nejen fyzické rysy vedoucí k jednoznačnému určení identity, ale také si nese rysy behaviorální. Tedy rysy chování či vystupování. Jedná se o charakteristickou chůzi, pohyb rtů, dynamika stisku kláves, vlastnosti ručně psaného písma.[2, s. 141-148]

1.3.4 Zhodnocení biometrických systémů

Ani biometrické systémy nejsou bezchybné. Jejich zhodnocení je možné provést na základě různých druhů pochybení. A to nesprávného přijetí, nesprávného odmítnutí, vyrovnané chyby, doby zápisu etalonu a doby ověření.

Právě zhodnocení biometrických systémů nám zaručí jejich posun vpřed. Biometrické rysy lidského jedince jsou jedinečné, ovšem biometrické systémy pracují s určitou chybovostí. Dalším důvodem pro jejich hodnocení a zlepšování jsou dnes známé prolomení biometrických systémů.

1.3.4.1 Koeficient nesprávného přijetí FAR

Koeficient nesprávného přijetí (False Acceptance Rate) vyjadřuje míru pravděpodobnosti toho, že osoba bez práva bude považována za osobu s právem. Je tedy jedním se dvou hlavních koeficientů posuzujících biometrické systémy. Někdy nazýván koeficient bezpečnosti.

$$FAR = \frac{\text{Množství chybných přijetí}}{\text{Množství neoprávněných pokusů o identifikaci}} \times 100[\%]$$

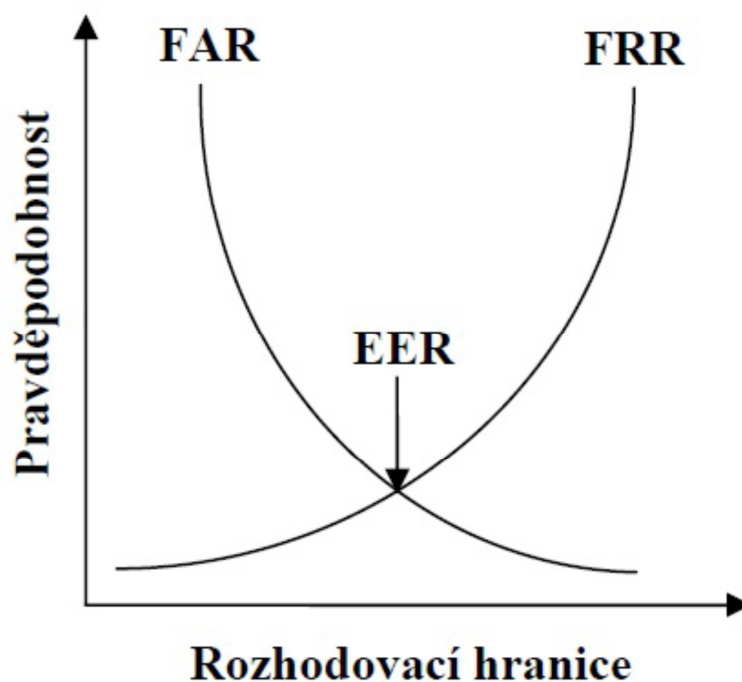
1.3.4.2 Koeficient nesprávného odmítnutí FRR

Koeficient nesprávného odmítnutí (False Rejection Rate) vyjadřuje míru pravděpodobnosti toho, když osoba s právem bude označena za osobu bez práva. Tato situace je pro uživatele nepříjemná, a proto je této koeficient nazýván koeficientem komfortu. FRR je druhým hlavním koeficientem hodnotící biometrické systémy.

$$FRR = \frac{\text{Množství chybných odmítnutí}}{\text{Množství oprávněných pokusů o identifikaci}} \times 100[\%]$$

1.3.4.3 Křížový koeficient ERR

Křížový koeficient (Equal Error Rate). ERR je bod, kde se protínají pravděpodobnosti koeficientů FAR a FRR. V ideálním případě by se křivky neprotínaly a všechny osoby s právem by byly přijaty a osoby bez práva odmítnuty. Ve skutečnosti se tyto křivky vždy protínají. Potom záleží na stupni rizika, v jakém má být biometrickým systémem použit. Čím větší stupeň zabezpečení, tím se sníží hodnota komfortu a zvýší hodnota bezpečnosti. [5, s. 42]



Obrázek 3 Závislost FAR a FRR na rozhodovací hranici [5]

1.3.4.4 Koeficient selhání sejmутí příznaku FTE, FER

Koeficient selhání sejmутí příznaku (Failure to Enroll Rate) vyjadřuje poměr osob, u kterých došlo k tomuto selhání. Vztahuje se tedy jak ke snímané osobě, tak i k biometrickému systému. Platí zde pravidlo, čím více pokusů, tím přesnější údaj.

1.3.4.5 Koeficient nesprávného přiřazení FIR

Koeficient nesprávného přiřazení (False Identification Rate) vyjadřuje s jakou mírou pravděpodobnosti, bude při identifikaci biometrická vlastnost přiřazena k nesprávnému porovnávanému vzorku.

1.3.4.6 Koeficient nesprávného přijetí FMR

Koeficient nesprávného přijetí (False Match Rate) je velice blízky koeficientu FAR. Vyjadřuje míru pravděpodobnosti, kdy osoba bez práva bude označena za osobu s právem. Ovšem na rozdíl od koeficientu FAR koeficient FMR nezahrnuje neoprávněné pokusy vzniklé důsledkem špatným sejmутím biometrické informace.

1.3.4.7 Koeficient nesprávného odmítnutí FNMR

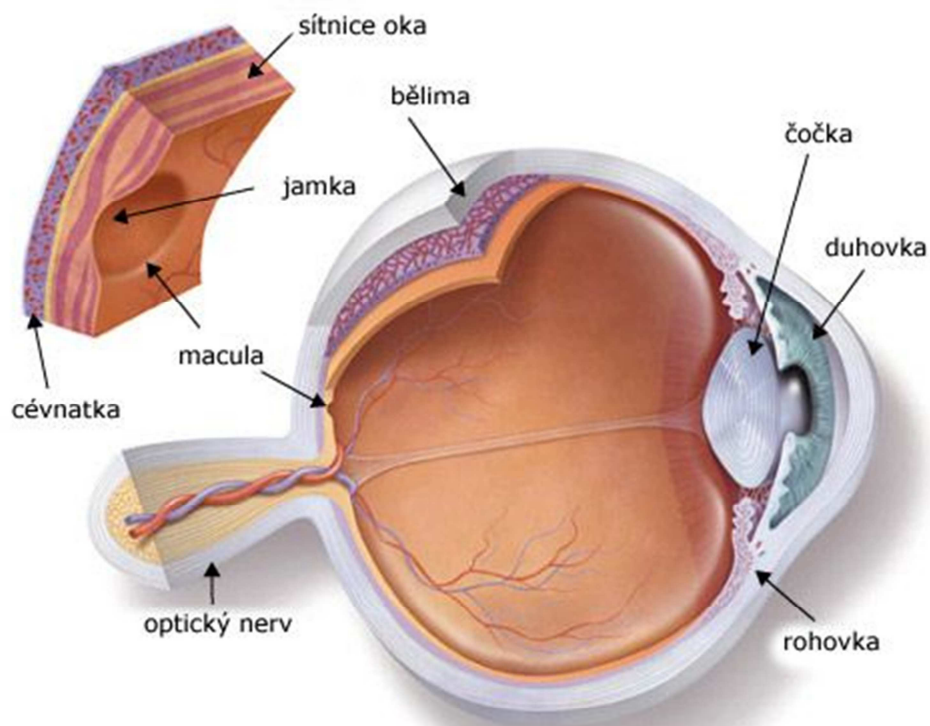
Tak jako je koeficient FMR blízky koeficientu FAR, tak i FNMR koeficient nesprávného odmítnutí (False Non-Match Rate) je blízky koeficientu FRR. Vyjadřuje míru pravděpodobnosti zamítnutí osob s právem, jelikož jsou považovány za osoby bez práva. Ovšem liší se od koeficientu FRR tím, že nezahrnuje neoprávněné přístupy způsobené důsledkem špatného sejmутí biometrické informace. [11, s. 38-40]

2 ANATOMIE LIDSKÉHO OKA

Zrak jakožto jeden z lidských smyslů tvoří až 80% získaných informací z okolního prostředí. O zbylých 20% se dělí smysly – sluch, chuť, vůně a hmat. Z toho vyplývá jeho důležitost pro člověka a právě pár očí je ústrojím vidění.

Základní částí lidského oka je **oční koule**. Ta má své místo v očníci, což je část lebky v obličejové části. Zezadu z oka vystupuje zrakový nerv a také tepna, která přivádí krev pro celé oko. Tvar oční koule připomíná skutečnou kouli a její průměr je 24-25mm. Stavba oční koule je rozdělena do tří vrstev:

- Povrchová = zevní vazivová vrstva tvořená bělimou (sclera) a rohovkou (cornea)
- Střední cévnatá = živnatka tvořená cévnatkou (chorioidea), řasnatým tělesem (corpus ciliare) a duhovkou (iris)
- Vnitřní vrstva tvořená sítnicí (retina) [4, s. 12-13]



Obrázek 4 Stavba oční koule [8]

2.1 Stavba oční koule

2.1.1 Bělima (sclera)

Bělima je pevná tuhá vazivová blána, která tvoří 5/6 obvodu oční koule. Poskytuje ochranu hlubším částem oční koule, a také je místem, kde se pomocí šlach připojují svaly zajišťující pohyb okem. Nenalézají se v ní téměř žádné cévy, proto má z vnějšku bílou barvu, to se ovšem s věkem mění. V mládí od zamodralé barvy, v dospělosti porcelánově bílá a ve stáří důsledkem ukládání pigmentu nažloutlá. V zadní části skrz ni prochází oční nerv a na přední straně je otvor, do něhož je vsazena rohovka.[4, s. 13]

2.1.2 Rohovka (cornea)

Rohovka dotváří zbylou 1/6 vnější části oční koule, kdy v přední části uzavírá otvor pomocí přizpůsobených okrajů v bělimě. Obsahuje nervy, ale není prostoupěna cévami. Z přední strany ji kryje vrstva, která je pokračováním epitelu spojivky a ta je velmi citlivá na dotek. Proto při doteku pomocí nepodmíněného reflexu dojde k sevření víček. Má vlastnost velmi dobré regenerace drobných poranění, ovšem nesmí dojít k poškození tzv. Bowmanovy membrány. Pak by poranění mělo za následek zahojení jizvou. Tloušťka rohovky nabývá 0,5mm u okrajů až 1mm a skládá se z 78% z vody a 22% organického materiálu. Díky jejímu uspořádání a stavbě je průhledná, a tím pádem prostupná pro světelné paprsky. Je tedy vstupním bodem světla do lidského oka a podílí se ze 2/3 na jeho lomu a rozptyl světla u zdravé rohovky je pouze 1%. Její vlastnosti se nemění po celou dobu života. [4, s. 14-18]

2.1.3 Cévnatka (choroidea)

Cévnatka představuje nejrozsáhlejší část střední vrstvy oční koule. Vzhled má hnědo-černá blány a je bohatá ne cévy. Svou vnější stranou přiléhá k bělimě a mezi sebou jsou odděleny tenkou vrstvou vaziva, ve kterém prochází mnohé cévy. Vnitřní strana cévnatky je hladká a přiléhá na ni sítnice. Právě tato strana cévnatky pohlcuje světelné paprsky, jelikož je bohatá na pigment. Jejím úkolem je znemožnit odrazy světla a také vyživuje buňky, čípky a tyčinky sítnice. Vzadu se nalézá otvor, kterým prochází zrakový nerv, sítnicové tepna a žíla. V přední části plynule přechází v další část střední vrstvy oční koule, řasnaté tělísko.[4, s. 18]

2.1.4 Řasnaté těleso (*corpus ciliare*)

Řasnaté těleso nabývá podoby prstence, který doléhá na vnitřní stranu bělimy a v okolí místa přechodu bělimy a rohovky z vnitřní stranou bělimy srůstá. Z vnější strany plynule přechází v cévnatku a vnitřní částí se spojuje s duhovkou. Jedná se o blok z hladké svaloviny, který má mnoho výběžků. Na tyto výběžky je tenkými vlákny zavěšena čočka. Kontrakcí svalstva se buď uvolňují, nebo napínají závěsné části čočky. Ta díky své pružnosti mění tvar a tím optickou mohutnost. Tím dochází k akomodaci oka a dochází k zaostření oka. Dochází k ní bez našeho vědomí, kdy pozorování vzdálených předmětů je čočka téměř plochá, zatímco při pozorování předmětů v blízkosti se čočka více prohne. [4, s. 19]

2.1.5 Duhovka (*iris*)

Duhovka je část střední vrstvy oční koule nejvíce vysunutá vpřed. Má tvar mezikruží s uprostřed uloženým otvorem zornicí (panenka, *pupilla*) a skládá se z hladkého svalstva. Okraj duhovky přechází v řasnaté těleso. Mezi duhovkou a rohovkou se nachází přední komora oční. Duhovku vidíme i lidským okem při pohledu na oko a nabývá různých zbarvení. Zbarvení ovlivňuje množství pigmentu, kde méně vyvolává modrou barvu a mnoho hnědou barvu. Tato pigmentová vrstva také zabraňuje pronikání paprsků světla do oka jinudy než zornicí. Svalové buňky duhovky dělíme na svěrač a rozvěrač duhovky. Kdy svěrač má za úkol zužovat zornici a při kontrakci rozvěrače se zornice rozšiřuje. Duhovka plní funkci světelné clony a je ovládána pomocí pupilárního reflexu, který ovládá sítnice. Barva pigmentu se během života mění dle množství pigmentu a její zbarvení a typ kresby na ní se využívá nejen v medicíně, ale i pro identifikaci osob. [4, s. 19-20]

2.1.6 Sítnice (*retina*)

Vnitřní vrstvu oční koule tvoří sítnice. Rozprostírá se po celé vnitřní straně až po pupilární okraj duhovky. Svou vnější stranou přiléhá k prostřední vrstvě oční koule a z její vnitřní strany se jí dotýká sklivec. Stavba sítnice je velmi složitá. Skládá se z 11 mikroskopických vrstev, ale nejdůležitější jsou dvě optické části.

Zadní oddíl přiléhá k cévnatce. Skládá se z buněk přeplněných pigmentem. Tato část společně s pigmentovou vrstvou cévnatky pohlcuje světelné paprsky a tím zabraňuje jejich odrazu. Také do této vrstvy jsou zanořeny výběžky smyslových buněk sítnice.

Přední oddíl obsahuje hlavně smyslové buňky (fotoreceptory) a neurony. Neurony slouží ke sbírání údajů z fotoreceptorů a odesílají je pomocí zrakového nervu ke zpracování do mozku. Smyslové buňky máme dvojí, a to tyčinky (bacilli) a čípky (coni). Tyčinky slouží k určení množství dopadajícího světla na plochu sítnice a nachází se jich zde okolo 130 milionů. Čípky nám určují barvy a na sítnici se jich nachází asi 7 milionů.

Sítnice, přesněji její optická část je nejdůležitější částí oční koule. Při oftalmoskopickém vyšetření má oranžovou až červenou barvu, což je zapříčiněno prosvítáním cév cévnatky. Výsledkem oftalmoskopického vyšetření je snímek očního pozadí. Na takovém snímku rozlišujeme několik znaků. Hlavním je žlutá skvrna, které může být kruhového až eliptického tvaru o průměru kolem 3mm. Leží v hrotu optické osy oka a je to místo nejostřejšího vidění. Při vyšetření má sytě červenou barvu, ale svůj název dostala, protože v oku mrtvého má barvu žlutou. V jejím okolí jsou hustě se skupeny čípky. Ve vzdálenosti asi 4mm od žluté skvrny na snímku očního pozadí najdeme bělavý útvar. Je to místo, kterým z oční koule odchází zrakový nerv. Tato bělavá skvrna má tvar kruhu o průměru asi 1,5mm. V tomto místě se nevyskytují žádné fotoreceptory, proto se jedná o tzv. slepou skvrnu. A posledním prvkem zobrazeným na snímku očního pozadí je soustava cév, které mohou mimo jiné vést k identifikaci osob. [4, s. 20-23]

2.2 Obsah oční koule

Obsahem vnitřní koule jsou transparentní a průsvitné struktury, díky čemuž dovolují prostupovat optickým paprskům. Jejich hlavním úkolem je vytvářet prostředí s vhodným lomem paprsků tak, aby dopadali na sítnici. Obsah oční koule se skládá ze čtyř částí. Jsou to čočka, sklivec, a oční komory.

2.2.1 Čočka (lens cristallina)

V lidském oku čočka nabývá tvar bikonvexní spojné čočky. Poloměry zakřivení přední a zadní plochy se liší, kdy přední plocha je vyklenutá méně než plocha zadní. Poloměr zadního zakřivení je 5-6mm. Její přední plocha vytváří hranice zadní oční komory a v jejím středu přiléhá na zornici a její zadní plocha je umístěna ve sklivci. Tak jako má vrchol přední plochy tak se nalézá vrchol zakřivení i na zadní ploše. Osa spojující tyto dva vrcholy se nazývá osa čočky. Průměr celé čočky je přibližně 9-10mm, ten se ovšem mění v závislosti na akomodaci oka. Akomodaci způsobuje hladké svalstvo řasnatého tělesa, uchycené pomocí závěsných vláken na ekvátor čočky. Hladké svalstvo uspořádané

cirkulárně při své kontrakci čočku více prohne a zaostří tak vidění do blízka. Naopak hladké svalstvo řasnatého tělesa uspořádané radiálně způsobí napnutí čočky a ta se jeví více zploštěná. Tím se lidské oko zaostřilo na vidění do dálky. Vlastnosti čočky se během lidského života mění, kdy s příchodem stáří mění svou čirou barvu a začíná žloutnout, tím se snižuje její průhlednost. Její úplné zakalení, kdy již není průhledná, se nazývá šedý zákal a řeší se chirurgickým odstraněním čočky. [4, s. 23-25]

2.2.2 Sklivec (corpus vitreum)

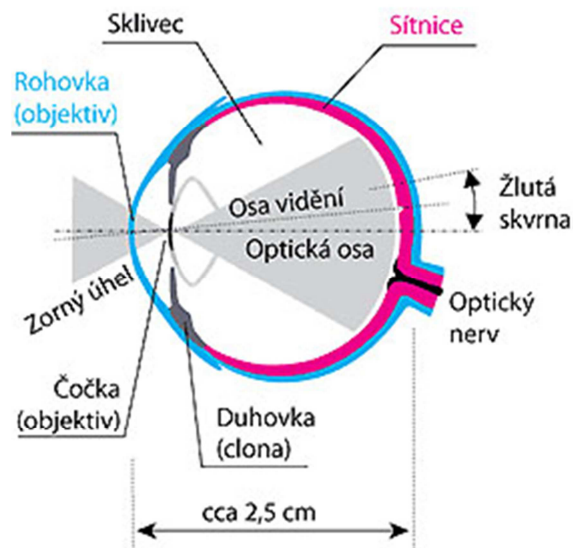
Sklivec vyplňuje sklivcovou komoru a jedná se o transparentní gelovou hmotu. Ve své přední části má sklivec vytvořen důlek, do kterého zapadá zadní stěna oční čočky. Stavba sklivce je z 99% tvořena vodou a zbylé jedno procento bílkoviny, sacharidy a kyselinou hyaluronovou. Sklivec obzvláště pak v případě poranění je zodpovědný za zachování formy oka. U zdravého člověka je dokonale průhledný, ovšem ve stáří se mění jeho rovnoměrná struktura. V některých částech je hustší a jinde řidší, a právě tyto místa jsou buď více či méně průhledné. To způsobuje překážku paprskům světla. Toto se projevuje jako šmouhy ve vidění či pohybující se tečky v obraze. [4, s. 25-26]

2.2.3 Oční komory (camerae bulbi)

Oční komory představují dva šterbinovité prostory. Prostor mezi rohovkou a přední stranou čočky nazýváme přední oční komora a prostor mezi závěsným aparátem čočky a řasnatým tělesem nazýváme zadní oční komorou. Tyto komory jsou mezi sebou propojeny prostřednictvím zornice a jsou vyplněny komorovým mokem. Komorový mok je transparentní tekutina, kterou produkuje řasnaté těleso difuzí z krevní plazmy. Komorový mok do přední komory proniká komunikačním kanálem zornice a odtud odtéká do Schlemmov kanálku, odkud je odváděn vodními žilami. Je-li odtok komorového moku narušen, nedochází ke správné regulaci nitroočního tlaku. Stav kdy je odtok komorového moku znemožněn a dochází ke zvýšení nitroočního tlaku, se nazývá zelený zákal. [4, s. 26-28]

2.3 Funkce lidského oka

Funkce lidského oka by se dala jednoduše nazvat jako vstupní senzor vidění. Jedná se o optický systém či soustavu, která má za úkol zachytit světelné paprsky z okolního prostředí a pomocí nervových vzruchů a mozku sestavit obraz vidění.



Obrázek 5 Oko – optická soustava [9]

Samotná funkce lidského oka se dá vysvětlit přirovnáním k optickým přístrojům, fotoaparátům. Objektiv, který zapříčiňuje soustředění světla, se v případě lidského oka skládá z rohovky, moku oční komory, čočky a sklivce. Hlavním úkolem takového objektivu je lom paprsků světla, aby tyto paprsky dopadaly na přesně určenou plochu.

Jelikož se mění prostředí, v kterém se oko vyskytuje, musí i oko měnit své vlastnosti. Jak velké množství světla, do oka vstoupí, je omezováno duhovkou, která se nalézá mezi čočkou a rohovkou. Duhovka se v závislosti na intenzitě světla roztahuje nebo smršťuje a tím reguluje množství světelných paprsků, která do oka proniknou. Mohli bychom ji tedy přirovnat k cloně fotoaparátu.

Plocha kde dopadají paprsky, tedy ohnisko optického senzoru je tvořeno v lidském oku sítnicí. Ta je složená z čípků a tyčinek, kterých je přibližně 137 milionů. Oko tedy může fungovat obdobně jako 137 megapixelový fotoaparát. Méně citlivé čípky se starají o rozlišování barev, zatím co mnoho násobně citlivější tyčinky zprostředkovávají černobílé vidění. Sítnice také následně obraz převede do kódu nervových vzruchů a ty poté putují do zrakového centra v mozkové kůře.

3 BIOMETRICKÉ SBÍMAČE LIDSKÉHO OKA

3.1 Princip biometrického snímače duhovky

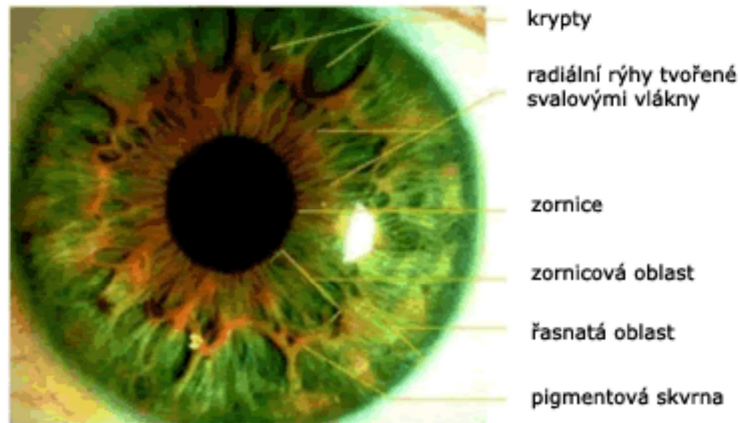
Duhovka je část oka, kterou můžeme pozorovat i pouhým pohledem. Jedná se o barevnou část oka, s černým otvorem uprostřed – zornicí. Jak již bylo zmíněno výše jejím hlavním úkolem je regulovat množství světelných paprsků vstupujících do oka pomocí hladkého svalstva. Právě její typická barva a vykreslený vzor duhovky jsou nositeli jedinečné informace, které mohou být použity pro identifikaci osob. Pravděpodobnost nalezení dvou stejných duhovek je, vzhledem k množství nesené informace, několikanásobně menší než u metody otisků prstů.

3.1.1 Vlastnosti duhovky

Pro regulaci osvětlení využívá duhovka hladké svalstvo. Při silnějším osvětlení využívá duhovka svírací sval, který leží cirkulárně okolo hranice duhovky. Při zvýšení osvětlení dojde ke kontrakci svalu a ten se smrští. Tím dojde ke zmenšení zornice a regulaci pronikání světla. Naopak při menší intenzitě osvětlení dojde ke kontrakci roztahovacího svalu, který leží příčně. Za barvu duhovky je odpovědné barvivo zvané melanin a velikost duhovky je přibližně 11mm.

Textura duhovky vzniká přibližně od třetího měsíce těhotenství a dotváří se během dvou prvních let života. Tato struktura zůstává během života nezměněná a je prokázáno, že i u jednovaječných dvojčat je duhovka rozdílná a jedinečná. Na jejím složitém povrchu při identifikaci můžeme najít až 250 známých rysů, ovšem v praxi se zaměřujeme na ty nejdůležitější a to jsou:

- Krypty – Na snímcích tmavá místa, vyskytující se mezi oblastí řasnatého tělesa a zornicí. Nalézají se v místech, kde je malá tloušťka duhovky.
- Radiální rýhy – Jedná se o paprskovitě vyběhající útvary od zornice až k okraji duhovky.
- Pigmentové skvrny – Vyskytují se náhodně a jedná se o shluky pigmentu objevující se na povrchu duhovky.
- Pigmentové záhyby – Jedná se o vystupující spodní vrstvy duhovky okolo zornice. [2, s. 136]



Obrázek 6 Rysy duhovky zaznačeny v obraze [6]

3.1.2 Snímání duhovky

Světelné paprsky, které vnímáme, jsou ve skutečnosti elektromagnetické vlnění ve viditelném spektru. I na duhovce vystavené viditelnému spektru můžeme pozorovat jedinečné informace, ovšem jejich množství není tak rozsáhlé jako když ji pozorujeme pod infračerveným zářením. Je to dáno tím, že pigment melanin, který způsobuje zbarvení duhovky, viditelné spektrum absorbuje. To je jedním z důvodů pro využívání infračerveného spektra ke snímání duhovky. Další pozitivní vlastnosti, které nese infračervené záření je příjemnost pro uživatele, jelikož jej neoslňuje a zvýrazňuje námi hledané informace.

Dnes se pro identifikaci podle duhovky používají čtyři fáze:

- Gaborova demodulace
- Waveletové rysy
- Analýza nezávislých komponent
- Variace lokálních klíčů

Metoda identifikace dle duhovky začíná samotným nalezením duhovky v pořízeném obraze. Podmínkou je dostatečná kvalita pořízeného snímku, aby mohla být následně mapována pomocí fázových diagramů. Ty jsou nositeli informací o umístění duhovky v obraze její orientaci a množství jedinečných rysů vedoucích k identifikaci jedince.

Duhovka se lokalizuje pomocí Gaussovské funkce vyhlazení, kde operátor hledá ve vstupním obraze, přesněji jeho parciální derivaci s ohledem na poloměr souřadnice středu. Operátor, můžeme ve skutečnosti nazvat kruhový detektor hran. Tedy detektor vnější hrany duhovky a vnitřní hrany duhovky přecházející v zornici. Následuje lokalizace

víčka oka. Zde se podobným postupem jako probíhala lokalizace duhovky, nalezne pozice obou víček oka. Využívá se k tomu část předchozí funkce, ovšem kruhový operátor je nahrazen obloukovým.

Takto nalezený vzor duhovky je následně demodulován a to tak, abychom získali jeho fázovou informaci. Využívá se 2D Gaborových waveletů, což umožňuje definici a přiřazení fázových proměnných libovolnému bodu snímku. Tím je získaná informace o tom, co a kde se na snímku nachází. Výsledkem je kód duhovky, který obsahuje 2048 bitů, což odpovídá 256 bytům.

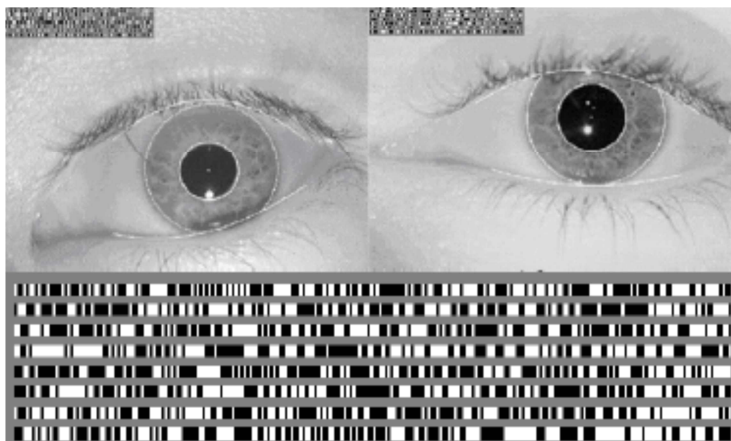
Analýza nezávislých komponent je někdy zvaná jako test statistické nezávislosti. Jedná se o porovnání provedené výpočtem Hammingovy vzdálenosti mezi 256 bytovými kódy duhovek. Ta je dána sumou exkluzivních součtů mezi jednotlivými bity.

$$HD = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N A_j \otimes B_j$$

N představuje v ideálním případě hodnotu 2048, což je velikost kódu duhovky, ovšem jen za předpokladu že není zastíněna očními víčky. Je-li část duhovky zastíněna očními víčky, jsou pro výpočet využity jen tzv. platné oblasti. Porovnáváme-li duhovky stejného oka, Hammingova vzdálenost se blíží nebo rovná nule. Pokud je pouze jedna třetina dat odlišná, test statické nezávislosti se považuje za neúspěšný a to znamená, že kódy duhovek jsou stejné. Následně se k zajištění rotační konzistence jeden z kódů posouvá o dva bity doleva a o dva bity doprava a provádí se opět výpočet Hammingovy vzdálenosti. Nejnižší výsledná hodnota je považována za výsledek porovnání.[3, s. 493-509]

Tabulka 1 Závislost přesnosti výsledku Hammingovy vzdálenosti [3, s. 505]

Prahová hodnota (HD)	Pravděpodobnost nesprávného srovnání
0,26	1 ku 10^{13}
0,27	1 ku 10^{12}
0,28	1 ku 10^{11}
0,29	1 ku 13 miliardám
0,30	1 ku 1,5 miliardám
0,31	1 ku 185 milionům
0,32	1 ku 26 milionům
0,33	1 ku 4 milionům
0,34	1 ku 690 000
0,35	1 ku 133 000



Obrázek 7 Lokalizovaná duhovka s příkladem jejího kódu [7, s. 24]

3.1.3 Hlavní výhody a nevýhody identifikace podle oční duhovky

- Vzhled duhovky považujeme po celý život jedince jako neměnnou vlastnost. To ovšem komplikují mnohé onemocnění, přičemž každé se může projevit jinými následky.
- Pořízení snímku duhovky je pro uživatele bez nepříjemných jevů, jako je např. oslnění oka, ovšem nutností je spolupráce uživatele.
- Míra jedinečné informace duhovky je mnohem větší než míra informace, kterou nese otisk lidského prstu.
- Ochrana proti vnějším vlivům je dostatečná, jelikož se jedná o vnitřní orgán.
- Bohužel již jsou známy metody překonání systémů využívající identifikace pomocí snímání duhovky, a to oklamáním kontaktní čočkou nebo fotografií duhovky.
- Pořizovací náklady zařízení na snímání duhovky neumožňují masivní rozšíření.
- Možnost zneužití osobních údajů, jelikož duhovka je vázána na značný počet vnitřních orgánů a tedy zneužití ke zjištění zdravotního stavu osoby.

3.2 Princip biometrického snímače sítnice

Rozpoznávání podle sítnice oka neboli retinal identification (RI). Úkolem sítnice v lidském oku je zachytit světelné paprsky a pomocí nervových vláken předat informace do mozku. Rozpoznávání dle sítnice oka je ve skutečnosti nepřesné pojmenování, ovšem je již začleněno v praxi a běžně je používáno. Samotná sítnice oka však ve skutečnosti není cílem našeho pozorování. Cílem a nositelem jedinečné informace je ve skutečnosti cévnatka vyživující sítnici obsahující až 400 jedinečných charakteristik a také místo slepé skvrny, tedy místo průchodu očního nervu.

3.2.1 Vlastnosti sítnice

Sítnice je umístěna na zadní straně oční koule a jedná se o světlocitlivou vrstvu buněk, kterou považujeme za část centrálního nervového systému (CNS). Jedná se o jedinou část centrálního nervového systému, kterou můžeme zkoumat bez proniknutí do lidského organismu. Úkol sítnice je snímání paprsků světelného záření, které jsou na ní po úpravě duhovkou a čočkou zaostřeny. Při poruchách zraku dopadá zaostřený obraz před nebo za sítnici a tím vzniká problém krátkozrakosti či dalekozrakosti. Sítnice samotná pokrývá okolo 70% vnitřního povrchu oční koule a je pokrytá neurony citlivými na světlo, fotoreceptory. Ty tvoří společně s dalšími vrstvami neuronů kompletní strukturu sítnice. Fotoreceptory jsou dvojího druhu, čípky a tyčinky. Fotoreceptory jsou odpovědné za lidské vidění. V nich vznikají impulsy, které pomocí nervových vláken putují do mozku a ten z nich vytváří obraz.

Při pozorování snímku sítnice získáváme několik základních informací. Mezi ně zařazujeme slepou a žlutou skvrnu. Jejich nalezení je velmi důležité, abychom následně mohli stanovit souřadný systém, do kterého budeme adresovat větvení cévního řečiště.

Slepá skvrna je místo nepokryté fotoreceptory, tedy bez schopnosti vytvářet impulsy pro tvorbu obrazu, proto je často úkolem mozku dotvářet obraz a domýšlet jsi jej. Důvodem existence slepé skvrny je místo průchodu zrakového nervu do oka.

Úplným opakem slepé skvrny je žlutá skvrna. Ta je místem nejostřejšího vidění. Jedná se o téměř kruhový útvar s průměrem okolo 5mm a přímý obraz je promítán přímo na toto místo. Na barevném snímku sítnice ji rozeznáme díky jejímu červenějšímu zabarvení. [2, s. 188-197]

3.2.2 Snímání sítnice

Princip snímání sítnice se neodlišuje od ostatních biometrických metod. Skládá se tedy ze tří základních fází:

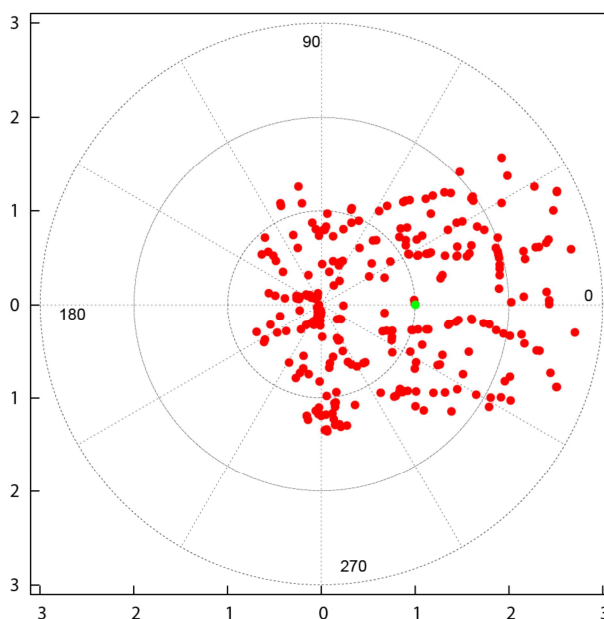
- Vytvoření snímku – zachycení dostatečně kvalitního obrazu je nejdůležitější podmínkou, aby byl dostatečně vhodný k následnému zpracování.
- Extrakce rysů – jedná se o vhodný software, který dokáže vytáhnout jedinečné vlastnosti z pořízeného snímku.
- Reprezentace – jedná se o zastoupení každého otisku tak, aby mohl být rychle porovnán nebo uložen do databáze.

Základním článkem snímače sítnice je jeho optický systém. Jeho vývoj byl zaměřen především na lékařské účely, ale jeho přizpůsobením našel využití v průmyslu komerční bezpečnosti. V tomto případě nazýváme zařízení retinoskopy nebo fundus kamery. Nejedná se o přizpůsobení samotného optického systému nýbrž softwarového řešení. Optický systém využívá světelné paprsky blízké infračervenému spektru. Ty mají tu výhodu, že nejsou reflektovány rohovkou a prostoupí snadněji sítnicí až na samotnou cévnatku. Paprsek je seřízen tak, aby jej čočka oka zaostřila jako bod na sítnici. Cévnatka část světla odrazí zpět pod stejným úhlem, jakým do oka vstoupil. Tento jev nazýváme retroodraz. Odražené světlo snímá CCD snímač. Snímaná plocha je omezená roztažením zornice.

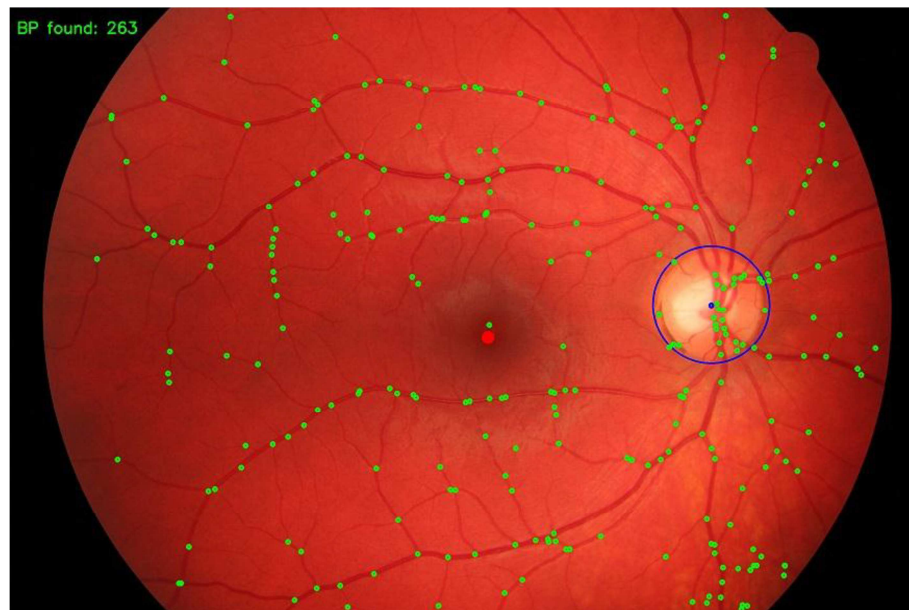
Takto vytvořený snímek je dále analyzován. Vyhledává se žlutá a slepá skvrna, což je velmi důležité pro určení souřadného systému, do kterého poté proběhne zakreslení bodů větvení cév. Většina lékařských systémů hledá hranice slepé skvrny, což je poměrně výpočetně složité, a proto pomalé. Pro naše účely je však důležitější nalezení středu slepé skvrny. K tomu je využíván velice rychlý algoritmus, založený na předpokladu, že slepá skvrna je na snímku sítnice oblastí s 5% nejsvětlejších pixelů. K nalezení středu žluté skvrny (fovei) se využívá anatomických vlastností lidského oka. Předpokládá se, že vzdálenost fovei od středu slepé skvrny je rovna zhruba dvojnásobku průměru slepé skvrny (optického disku). Také je znám úhel spojnice fovei a středu slepé skvrny. Je třeba tedy prvně nalézt střed slepé skvrny a následně dohledat foveu. Tím máme určený souřadný systém a můžeme vyhledat body větvení cév cévnatky. Při hledání bodů větvení je nejprve nutno nalézt samotné cévy. Nejprve ze snímku, ve kterém mají cévy poměrně malý kontrast, za použití aplikace postavené na metodě 2D filtru získáme odezvu. Z té dále

po úpravách pozadí, a převedením z obrazu ve stupních šedi do binární podoby získáme výstup vhodný pro další zpracování. Po ztenčení cév se již můžeme zaměřit na samotné vyhledání bodů větvení, tedy bodů, ze kterých vychází tři cévy. V obrazu upraveném dle předchozích postupů jsou cévy znázorněné čarou o tloušťce jednoho pixelu. Vyhledání bodu větvení je založeno na vyhledání osmi přechodů z nuly na jedničku či z jedničky na nulu v jeho okolí. Tím jsou poměrně snadno vyhledány body větvení. Jedinou komplikací jsou falešné body, vzniklé ztenčováním čar. Ty jsou odstraněny zadáním minimální délky, kterou musí nabývat cévy. V průměru se udává, že každý snímek vykazuje 256 jedinečných vlastností. Samotné uložení a archivace je již na výrobci biometrického systému. [3, s. 515-520; 10, s. 22-34]

Na obrázcích 6 a 7 jsou zobrazeny výsledky analýzy snímku sítnice. Obrázek č. 6 je vycentrován na slepou skvrnu a nese pouze užitečné informace vedoucí k identifikaci zakreslené v souřadném systému. Obrázek č. 7 je vycentrován na žlutou skvrnu a výsledek analýzy je zobrazen přímo na vstupním snímku.



Obrázek 8 Výsledek analýzy snímku sítnice [10, s. 34]



Obrázek 9 Výsledek analýzy snímku sítnice zobrazený ve vstupním snímku [10, s. 34]

3.2.3 Hlavní výhody a nevýhody identifikace podle sítnice oka

U metody identifikace dle sítnice oka obecně převažuje názor, že má více nevýhod, než výhod. Dle mého mínění jsou ale výhody na tolik výrazné, že jejich malý počet není hlavním faktorem. Výhody a nevýhody jsou následující:

- vhodnost použití do nejvyšších stupňů zabezpečení
- vysoká přesnost metody díky velkému množství jedinečné informace
- strach uživatelů z důvodu poškození oka – neoprávněný
- velmi blízké přiblížení při snímání
- vysoká pořizovací cena
- velmi omezený výběr na trhu
- není znám případ překonání biometrického snímače duhovky

3.3 Porovnání biometrických snímačů lidského oka

Pro přehlednost a pro jednoduchou orientaci v porovnávaných vlastnostech biometrických snímačů lidského oka je zvolena forma tabulky.

Tabulka 2 Porovnání biometrických snímačů lidského oka

Operátor	Snímač duhovky	Snímač sítnice
FRR[%]	0,00066	1
FAR[%]	0,00078	0,0001-0,00001
Přijetí uživatelem	střední úroveň	nízká úroveň
Spolehlivost	střední úroveň	vysoká úroveň
Pořizovací cena	vysoká	velmi vysoká
Výběr na trhu	dostatečný	nedostatečný
Případy překonání	Ano	Ne

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 SNÍMAČE LIDSKÉHO OKA NA TRHU

Tato kapitola bakalářské práce je zaměřena na aktuální situaci snímačů lidského oka na trhu. Výrobců i výrobků je velké množství, co se týče snímačů duhovky oka. Ovšem snímačů sítnice oka pro bezpečnostní účely je velmi malé množství. Snímače sítnice oka se dnes využívají především k lékařským účelům. Tato zařízení se liší převážně v softwarovém řešení a vzhledu zařízení. Pro ucelenost přehledu zařízení jsou zmíněny i snímače sítnice využívané v lékařském odvětví.

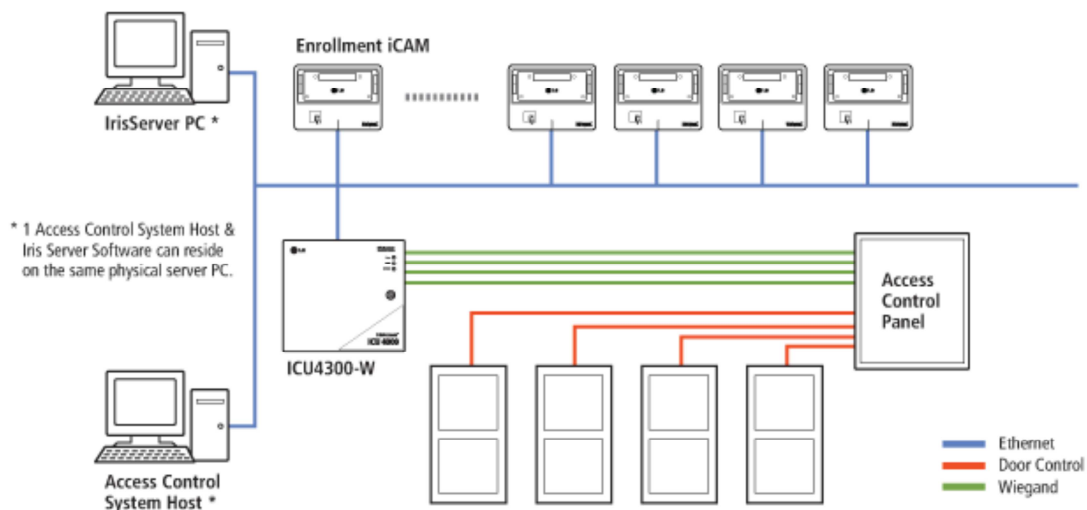
4.1 LG Iris Access

Jedná se o kompletní biometrický identifikační systém, kde identifikace je založena primárně na principu snímání duhovky. Systém se skládá z prvků:

- ICU – řídicí jednotka
- DCU – řídicí jednotka vstupů
- ICAM – Snímač duhovky
- EAC – software

Výrobce se snaží poskytnout nejlepší zabezpečení a maximalizovat ochranu dat uložených v systému tím, že uložená data nejsou dostupná na žádné externí součásti. Tím brání systém proti napadení a zneužití dat. Systém umožňuje více faktorové ověřování totožnosti a to díky možnosti autentizace za pomoci identifikační karty nebo PIN (Personal identification number) kódu.

Konfigurace systému umožňuje nastavit snímání levého oka, pravého oka nebo obou očí. Dále výše zmíněnou dvou-faktorovou autentizaci za použití karty nebo více faktorovou autentizaci za pomoci až deseti místného PIN kódu. Kamery jsou schopny zaměřit obličej a disponují svým vestavěným osvětlením. Systém díky displeji poskytuje zpětnou vazbu, která zjednodušuje práci uživateli a poskytuje mu potřebné informace. Sestava využívá síťovou konektivitu, jelikož každá část systému má svou IP adresu. Tím je možno tento systém využít i ve větších objektech či podnicích. [12]



Obrázek 10 Schéma systému LG Iris Access [12]

4.1.1 Komponenty LG Iris Access

ICU4300 – kontroler



Obrázek 11 ICU4300 [12]

Jedná se o centrální jednotku umožňující napojení ostatních součástí systému, jak je znázorněno na obrázku č. 8. Můžeme na něj připojit až čtyři snímače duhovky ICAM a můžeme volit mezi formou výstupu. Při ICU4300R nutno využít DCU a u ICU4300R – W výstup pomocí rozhraní Wiegand, což je běžně používané rozhraní. Tím nám výrobce usnadňuje kompatibilitu mezi jinými systémy.

Tabulka 3 Technická specifikace ICU4300 [12]

kontroler	ICU4300
Rozměry (Š x V x H)	430 mm x 420 mm x 163 mm (16,9" x 16,5" 6,4")
Hmotnost	5,5 kg (12 liber)
Vstupní napájení	19 Vss, 1,5 A nominální, 2.0 A max.
Spotřeba energie	38 W max.
CPU	x86 kompatibilní
Paměť	DDR 256 MB
Disková paměť	HDD 2G
Operační systém	Linux
Indikátory LED	Napájení (zelená), Stav, Síť
Provozní teplota	0 °C ~ 40 °C (32 °F ~ 104 °F)
Teplota pro uložení	-20 °C ~ 60 °C (-4 °F ~ 140 °F)
Relativní vlhkost vzduchu	0 % - 95 %, bez kondenzace

DCU4000 – jednotka řízení pro reléové výstupy



Obrázek 12 DCU4000 [12]

Jedná se o reléovou jednotku, která umožňuje ovládat až čtyři výstupy, např. dveře. Zapojení je opět možno vidět v obrázku č. 8. Pomocí stavových LED diod informuje tento

system o stavu připojeného zařízení a také má indikační LED diodu, která informuje uživatele o stavu napájení.

Tabulka 4 Technická specifikace DCU4000 [12]

kontroler vstupu	DCU4000
Rozměry (Š x V x H)	430 mm x 420 mm x 163 mm (16,9" x 16,5" x 6,4")
Hmotnost	5,5 kg (12 liber)
Vstupní napájení	19 V ss, 4,74 A
Spotřeba energie	750 mA při 19 V ss
Indikátory LED	Napájení (zelená), Stav1, Stav2
Provozní teplota	0 °C ~ 40 °C (32 °F ~ 104 °F)
Teplota pro uložení	-20 °C ~ 60 °C (-4 °F ~ 140 °F)
Relativní vlhkost vzduchu	0 % - 95 %, bez kondenzace

ICAM4100



Obrázek 13 ICAM4100 [12]

ICAM4100 je snímač duhovky disponující také klávesnicí umožňující zadávání PIN kódu, a také čtečkou bezkontaktních karet. Díky tomu má uživatel na výběr z několika režimů rozpoznávání a to:

- Režim vyhledávání neboli 1:Many
- Režim ověřování neboli 1:1 (s PIN kódem)
- Režim ověřování 1:1 (s bezkontaktní kartou)
- Režim ověřování 1:1 (se smart kartou)

Tabulka 5 Technická Specifikace ICAM4100 [12]

snímač duhovky	ICAM4100
Rozměry (Š x V x H)	218 mm x 235 mm x 80 mm (8,6" x 9,3" x 3,2")
Hmotnost	2,2 kg (4,8 liber)
Vstupní napájení	12 Vss, 2,5 A MAX, +/-10 %
Spotřeba energie	400 W
Interní zdroj napájení	Vstup: 120-240 Vstř, 1,5 A / Výstup: 12 Vss, 15 A max.
Indikátory LED	Napájení (modrá), Provozní rozsah (zelená), Mimo rozsah (oranžová), Přijetí (bliká zelená), Odmítnutí (bliká oranžová)
Hlasová indikace	Flexibilní hlasové zprávy (angličtina: standardní, jiný jazyk: ke stažení)
Provozní rozsah	26 cm ~ 36 cm (10,2" ~ 14,2")
Provozní teplota	0 °C ~ 40 °C (32 °F ~ 104 °F)
Teplota pro uložení	-20 °C ~ 60 °C (-4 °F ~ 140 °F)
Relativní vlhkost vzduchu	0 % - 95 %, bez kondenzace
Úhel otáčení	+35°/-25°

Pro kompletnost hardwaru systému je nutno vybavit jej ještě serverovým PC. Zde výrobce udává pouze požadavky na výkon sestavy a její vybavenost.

Tabulka 6 Požadavky na serverové PC [12]

Operační systém	Windows® 2000, Windows® XP
Procesor	Pentium® IV, 1,6 GHz nebo vyšší
Paměť	512 MB nebo vyšší
Pevný disk	10 GB nebo vyšší
Ethernet	10/100 Mb/s, úplný Duplex
Ostatní	1 sériový port, CD-RO, PCI Slot, plná výška

4.2 Panasonic BM-ET200 Iris Reader

Zařízení Panasonic BM-ET200 je samostatná jednotka kontroly vstupu, která využívá k identifikaci osob snímání oční duhovky. Výrobce kladl požadavky na vysokou přesnost a rychlost rozpoznávání společně s možností připojení dalších systémů.

V jednotce Panasonic BM-ET200 jsou umístěny dvě kamery, které současně snímají duhovky obou očí prověřované osoby. Jednotka může být rozšířena o barevnou kameru snímající prostor před zařízením, která může být napojena do již existujícího kamerového systému, nebo může sloužit k nahrávání záznamu v případě zamítnutí vstupu, tedy negativní identifikace.

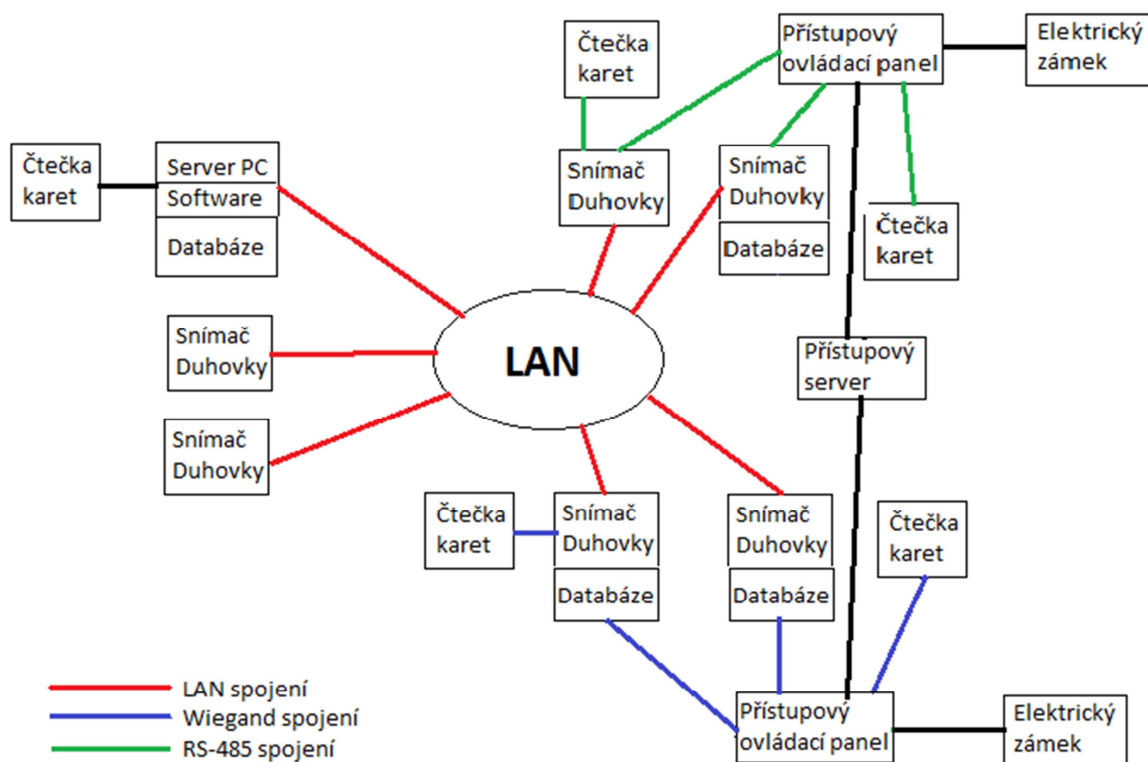
Komunikace a propojení s dalšími zařízeními jako jsou čtečky karet, nebo ovládací dveřní zařízení je zajištěno pomocí rozhraní Wiegand nebo RS485 jak pro vstupní tak i pro výstupní zařízení.

Kapacita uživatelů v systému je dána zakoupenou licencí, kdy základní verze obsahuje možnost vložit až 25 uživatelů. Ta může být pomocí rozšiřujících licencí rozšířená na 1000 nebo 5000 uživatelů. [13]



Obrázek 14 Panasonic BM-ET200 [13]

Zařízení je vhodné jak pro malé podniky či domy, tak i pro velké společnosti, jelikož propojení se serverem obsahujícím databázi, probíhá pomocí sítě LAN. Zvýšení zabezpečení je možno docílit jednoduše napojením čtečky karet či klávesnice přímo do zařízení Panasonic BM-ET200, tedy více faktorové identifikace.



Obrázek 15 Schéma zapojení BM-ET200

Na schématu (obrázek č. 15) jsou patrné všechny možnosti zapojení snímače duhovky Panasonic BM-ET200.

Tabulka 7 Technická specifikace BM-ET200 [14]

Snímač duhovky	BM-ET200
Rozměry (Š x V x H)	203 (š) x 190 (v) x 77 (h) mm
Hmotnost	0,9 kg (samotný přístroj)
Vstupní napájení	12 V nebo 24V ss.
Příkon	max. 24 W
Čas Idenifikace	cca. 0,3 sekundy po sejmutí obrazu
Provozní teplota	0 °C - 40 °C
Rozhraní	Wiegand, RS485 (s BM-ETA201)
Relativní vlhkost vzduchu	30% - 90%
Síťové rozhraní	10Base-T / 100Base-TX, protokol TCP/IP
Vstupy/Výstupy	1 výstup (výsledek identifikace ACCEPT), 1 vstup (spuštění identifikace) Rozšiřující deska BM-ETA201 = (3 výstupy, 2 vstupy, Wiegand, RS485)
Dohledová kamera	Volitelně BM-ETC202 - PAL kompozitní video signál

4.2.1 Rozšiřující moduly BM-ET200

Deska rozhraní BM-ETA201



Obrázek 16 BM-ETA201 [15]

Deska rozhraní BM-ETA201 disponuje uzpůsobenými držáky k uchycení do zařízení BM-ET200. Deska BM-ETA201 disponuje třemi výstupy a dvěma vstupy, což je znázorněno v tabulce č. 8.

Tabulka 8 Technická specifikace BM-ETA201 [15]

Deska rozhraní	BM-ETA201
Rozměry (Š x V x H)	65 mm x 76 mm x 31 mm
Výstup alarm 1	Výstup s otevřeným kolektorem, normálně otevřený, 24V ss, 24mA
Výstup alarm 2	Výstup s otevřeným kolektorem, normálně uzavřený, 24V ss, 24mA
Výstup uznání výsledků	Výstup s otevřeným kolektorem, normálně otevřený, 24V ss, 24mA Délka pulsu 0,1 - 60s
Vstup zvukové signalizace	0 - 5V ss, 24 mA, šířka pulsu 200 ms nebo více
Vstup nastavení času	0 - 5V ss, 24 mA, šířka pulsu 200 ms nebo více
Rozhraní čtečky karet	volitelné - Wiegand, RS-485
Rozhraní Přístupový panel	volitelné - Wiegand, RS-485

Doplňková kamera BM-ETC202



Obrázek 17 BM-ETC202 [15]

Tato volitelná kamera je uzpůsobená k umístění uvnitř modulu BM-ET200. Díky tomu umožňuje uživatelům zvýšit bezpečnost celé aplikace BM-ET200, jelikož může být připojena pomocí BNC konektoru ke stávajícímu kamerovému systému. Poté uživatel má možnost živého sledování, či zaznamenávání v případě odmítnutí tedy negativní identifikace.

Software k BM-ET200

Pro úplnou kompletaci systému Panasonic Bm-ET200 Iris Reader je nutno pořídit softwarové produkty této společnosti. Ty jsou rozděleny na administrátorský software označený BM-ES200 a software uživatelských licencí. Ten se liší v maximálním počtu uživatelů. Zařízení BM-ET200 obsahuje základní licenci pro 25 uživatelů a dále je možnost zakoupení licencí s označením BM-EU30100 pro 100 uživatelů, BM-EU31000 pro 1000 uživatelů, BM-EU33000 pro 3000 uživatelů a BM-EU35000 pro 5000 uživatelů.

4.3 NIDEK AFC-330

Zařízení společnosti NIDEK typové označení AFC-330 je primárně určeno k lékařským účelům. Výrobce jej specifikuje jako inteligentní fundus kameru neboli kameru očního pozadí. Jedná se o sestavu snímače fundu a počítače s náležitým softwarem.



Obrázek 18 AFC-330 [17]

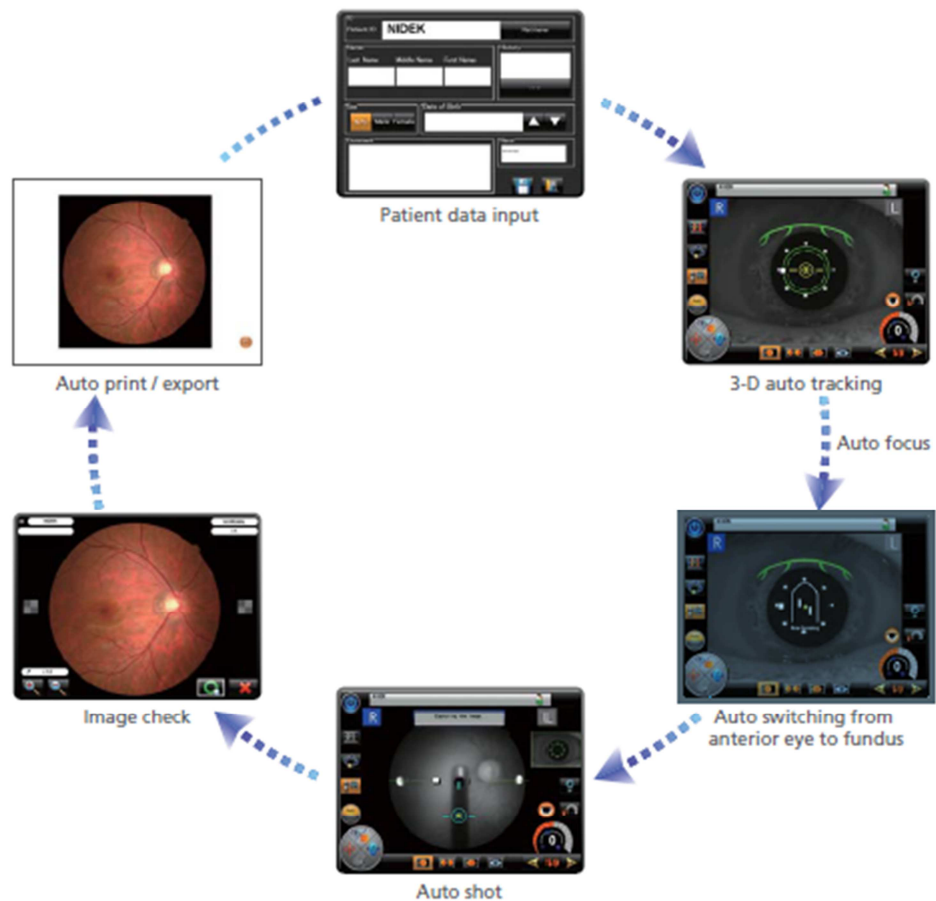
AFC-330 obsahuje integrovanou CCD kameru, která má dvanácti megapixelové rozlišení, díky čemuž je zařízení schopno pořídit vysoce kvalitní snímky fundu. Díky vestavěnému mikropočítači umožňuje správu dat, včetně mnohých rozšiřujících funkcí. A právě tento kompaktní celek, tedy sloučení kamery fundu a mikropočítače je hlavní výhodou zařízení AFC-330.



Obrázek 19 Znázornění kompaktnosti AFC-330 [16]

Další výhodou zařízení AFC-330 je uživatelská příjemnost, jelikož proti svému předchůdci AFC230 snižuje intenzitu záblesku o 40% a zvukovou úroveň uzávěrky o 50%, tím je také docíleno zvýšení kvality získaného obrazu. Výrazného pokroku bylo docíleno i v komunikaci a spolupráci s obsluhou díky automatickým funkcím:

- 3D Auto tracking = automatické sledování
- Auto fokus = automatické zaostření
- Auto switching = přepínání z přední na zadní stranu lidského oka
- Auto shot = automatické sejmутí snímku
- Auto print/export = automatické vytištění/export [16]



Obrázek 20 Zobrazení využití automatických funkcí AFC-330 [16]

Tabulka 9 Technická specifikace AFC-330 [16]

Typ	Non-mydratic fundus kamera
Úhel pohledu	45° (33° v režimu malé zornice)
Pracovní vzdálenost	45,7 mm (od čočky objektivu k rohovce)
Minimální průměr pupily	4.0mm (3.3mm v režimu malé zornice)
Světelný zdroj	
pro pozorování	Halogenová žárovka 12 V 50 W
pro zachycení	Xenonová výbojka 300 W
intenzita blesku	17 úrovní F1-F17
Vnitřní fixace na cíl	LED (maximum 9 bodů)
Vnější fixace na cíl	Fixační rameno (volitelné příslušenství)
Auto tracking / Auto shot	X-Y-Z směr Auto shot
Kamera	zabudovaná CCD kamera 12 megapixel
Displej	Naklápěcí 8,4 palcová barevný LCD dotykový displej
Rozhraní	LAN, USB 2.0
Napájecí zdroj	Střídavé 100 až 240 V ± 10%, 50/60 Hz
Spotřeba energie	150 VA
Rozměry / Hmotnost	316 (Š) x 518 (D) x 579 (H) mm / 29 kg

Díky již výše zmíněné kompaktnosti i automatickosti, by bylo možné využití obdobného systému, ovšem v odlišném provedení, v průmyslu komerční bezpečnosti. Je zde vyřešeno automatické sejmutí obrazu, navedení uživatele do správné polohy i export odeslaných údajů. Chybějícím článkem pro propojení např. s přístupovým systémem je software vykonávající identifikaci uživatele a následné porovnání s databází.

5 LABORATORNÍ ÚLOHA ZAMĚŘENÁ NA BIOMETRICKÉ SNÍMAČE LIDSKÉHO OKA

5.1 Zadání

Tabulka 10 Hlavička zadání laboratorní úlohy

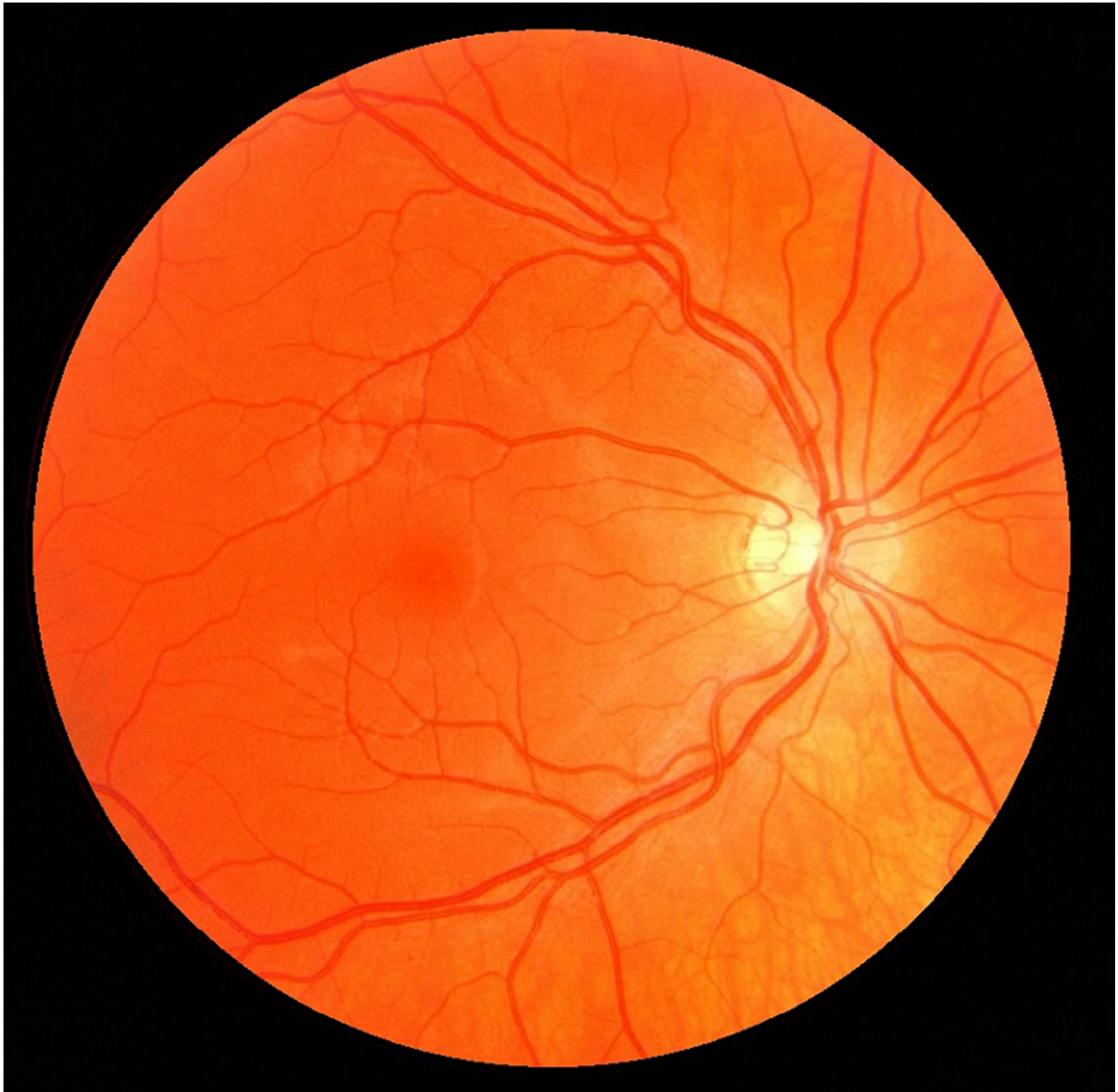
Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky			
Jméno a příjmení:		Ročník:	
Předmět:		Skupina:	
Název úlohy:	Biometrické snímače lidského oka	Naměřeno:	
		Číslo úlohy:	

Úkol:

1. Prostudujte obrazy sítnice.
2. Nalezněte žlutou a slepou skvrnu v obraze sítnice.
3. Určete střed a osy souřadného systému (střed slepá skvrna, osa x protíná žlutou i slepou skvrnu).
4. Zaznačte všechny viditelné markanty (body větvení cév).
5. Vytvořte tabulku, které bude databází nalezených markant.
6. Porovnejte se vzorovou tabulkou a rozhodněte, zdali se jedná o pozitivní či negativní identifikaci.
7. Vypracujte zápis z měření.

5.2 Podklady k vypracování laboratorní úlohy „Biometrické snímače lidského oka“

Snímek k vypracování laboratorní úlohy poskytnutý očním centrem.



Obrázek 21 Snímky sítnice pořízené fundus kamerou

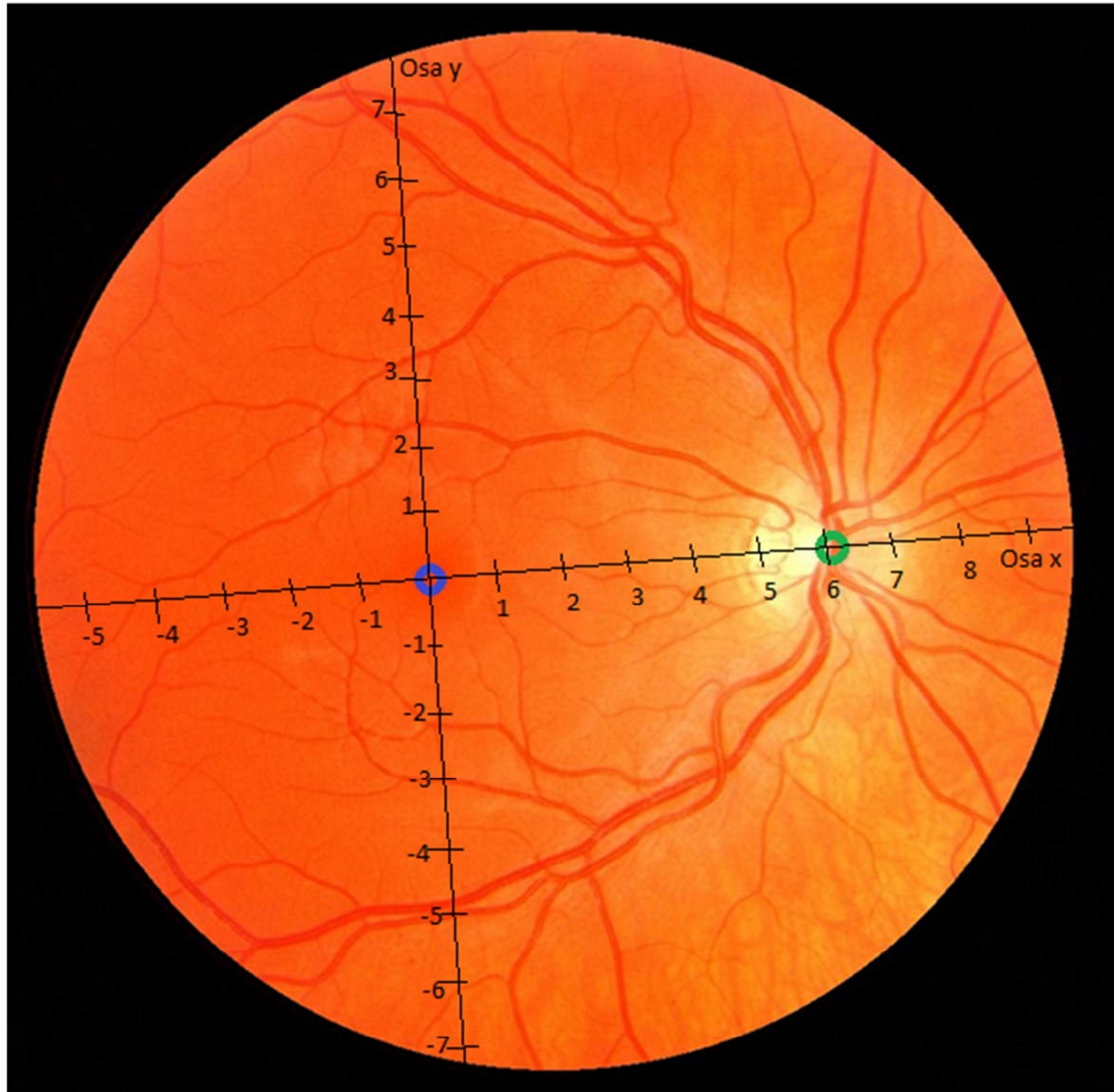
Tabulka 11 Vzorová tabulka

Bod č.	Osa x [cm]	Osa y [cm]	Bod č.	Osa x [cm]	Osa y [cm]	Bod č.	Osa x [cm]	Osa y [cm]
1	5,371	2,257	11	1,314	4,257	21	-0,057	5,429
2	5,457	0,286	12	1,429	3,086	22	-1,371	5,000
3	6,314	0,257	13	2,714	3,514	23	-1,444	1,254
4	6,743	0,657	14	2,114	1,143	24	-5,400	1,429
5	7,543	0,514	15	0,629	-1,457	25	-2,943	0,743
6	8,057	0,400	16	0,857	-2,286	26	-1,314	2,600
7	8,714	0,114	17	0,545	-2,555	27	-2,545	2,700
8	5,229	-0,229	18	3,371	-2,286	28	-5,029	-2,800
9	5,257	-1,314	19	2,057	-4,314	29	-3,771	-2,629
1	6,229	-1,486	20	3,743	-6,371	30	2,429	-7,114

Vzorová tabulka vytvořená za účelem možnosti porovnání a rozhodnutí o stavu identifikace po stanovení hranice tolerance, kdy bude ještě přípustné považovat identifikaci za pozitivní. V tabulce body č. 1-10 spadají do oblasti nejbližší slepé skvrny, body č. 11-20 do střední oblasti vzdálenosti od slepé skvrny a body č. 21-30 do nejbližší oblasti od slepé skvrny.

5.3 Vypracování

2. Nalezněte žlutou a slepou skvrnu v obraze sítnice
3. Určete střed a osy souřadného systému



- Slepá skvrna
- Žlutá skvrna

Obrázek 22 Vypracování úlohy – souřadný systém

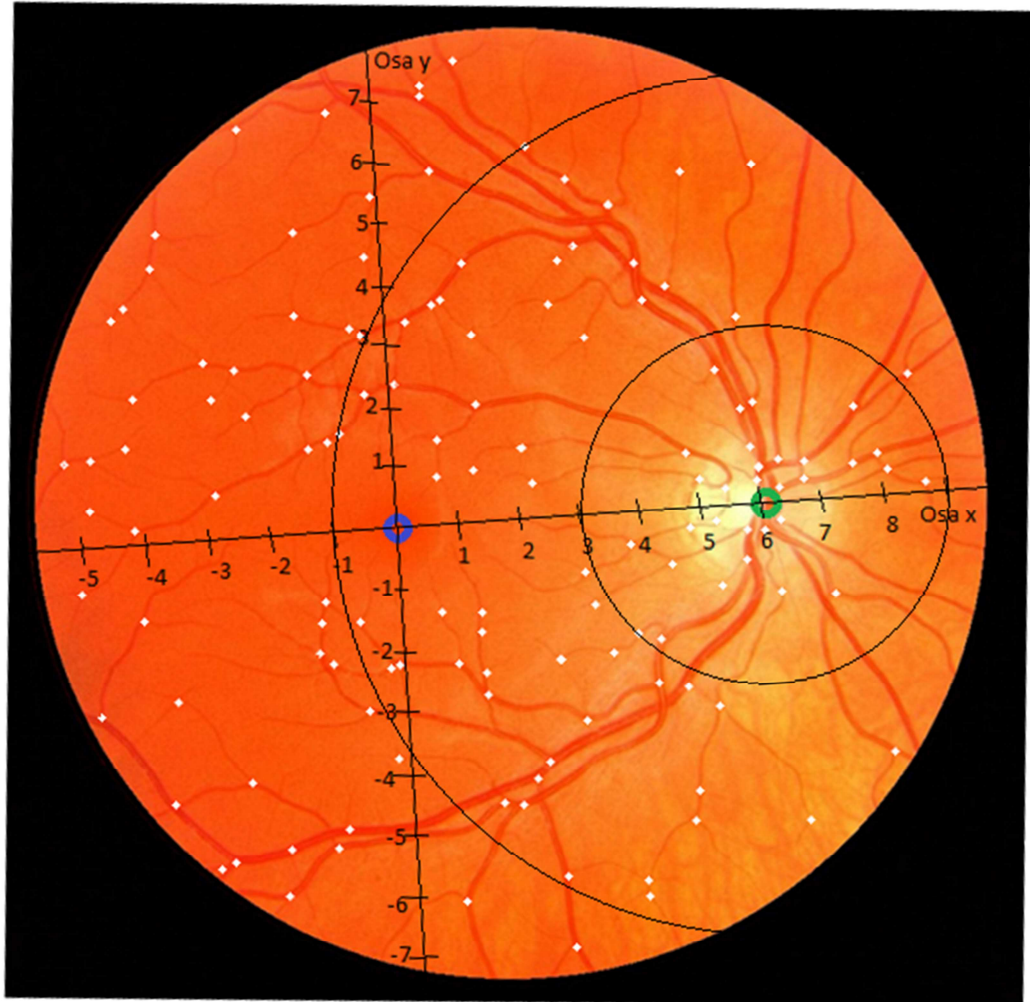
Slepá skvrna – určena dle místa výskytu nejsvětlejších pixelů

Žlutá skvrna – určena dle známých anatomických vlastností oka

Osa x – je spojnicí slepé a žluté skvrny

Osa y – protíná osu x v místě žluté skvrny, tedy žlutá skvrna je určena středem souřadného systému.

4. Zaznačte všechny viditelné markanty



Obrázek 23 Vypracování úlohy – Zaznačení bodů větvení cév

5. Vytvořte tabulku, která bude databází bodů větvení cév

V tabulkách jsou zapsány souřadnice bodů větvení cév, které nám udávají jejich polohu. Obraz byl z důvodů vyšší spolehlivosti systému rozdělen do tří kruhových oblastí. Jejím středem je slepá skvrna. Následně při zpracování údajů a porovnání, body ležící nejbližší slepé skvrně, budou mít přiřazeny vyšší hodnotu.

Tabulka 12 Body větvení cév v 1. oblasti

Bod	Osa x	Osa y	Bod	Osa x	Osa y
1	5,371	2,257	17	8,057	0,400
2	4,800	0,886	18	8,714	0,114
3	5,029	0,457	19	3,771	-0,543
4	5,743	1,600	20	3,829	-2,000
5	5,971	1,686	21	4,200	-2,143
6	5,457	0,286	22	4,829	-0,314
7	5,857	0,914	23	5,229	-0,229
8	7,600	1,486	24	4,429	-0,914
9	5,971	0,600	25	5,257	-1,314
10	5,971	0,371	26	5,743	-0,314
11	6,343	0,714	27	6,029	-0,457
12	6,314	0,257	28	5,657	-0,914
13	6,743	0,657	29	7,114	-1,600
14	6,714	0,343	30	6,229	-1,486
15	7,543	0,514	31	6,314	-0,314
16	7,914	0,686			

Tabulka 13 Body větvení cév v 2. oblasti

Bod	Osa x	Osa y	Bod	Osa x	Osa y
32	2,571	6,057	60	-0,714	-1,486
33	3,143	5,543	61	-0,257	-2,286
34	5,057	5,514	62	-0,114	-2,200
35	6,229	5,600	63	0,629	-1,457
36	1,314	4,257	64	1,286	-1,457
37	2,914	4,200	65	1,286	-1,800
38	3,200	4,429	66	0,857	-2,286
39	4,171	4,029	67	1,314	-2,429
40	-0,857	1,571	68	1,314	-2,800
41	-0,371	2,257	69	3,000	-0,943
42	0,114	2,371	70	3,200	-1,457
43	0,343	3,371	71	2,514	-2,343
44	0,829	3,629	72	3,371	-2,286
45	0,943	3,686	73	4,114	-2,829
46	1,429	3,086	74	4,571	-2,914
47	8,543	1,943	75	5,086	-3,286
48	5,800	3,086	76	1,457	-4,629
49	4,686	3,771	77	1,800	-4,657
50	4,286	3,457	78	2,057	-4,314
51	3,286	2,914	79	2,257	-4,000
52	2,714	3,514	80	2,886	-3,400
53	1,400	1,943	81	2,400	-5,914
54	0,714	1,371	82	4,686	-4,657
55	0,714	0,800	83	4,571	-5,143
56	1,343	0,800	84	3,714	-6,086
57	2,114	1,143	85	3,743	-6,371
58	2,257	0,571	86	6,457	-5,257
59	2,514	6,114	87	7,886	-4,229

Tabulka 14 Body větvení cév v 3. oblasti

Bod	Osa x	Osa y	Bod	Osa x	Osa y
88	1,457	7,600	113	-0,571	3,314
89	0,886	7,229	114	-0,400	3,200
90	0,857	7,029	115	-1,314	2,600
91	0,943	5,800	116	-1,057	1,457
92	-2,200	6,686	117	-1,371	1,400
93	-0,714	6,914	118	-5,229	-0,743
94	-0,057	5,429	119	-4,286	-1,286
95	-1,371	5,000	120	-5,029	-2,800
96	-0,229	4,486	121	-3,771	-2,629
97	-3,657	5,086	122	-3,943	-4,286
98	-3,743	4,543	123	-1,257	-1,143
99	-4,257	3,914	124	-1,343	-1,457
100	-4,457	3,714	125	-1,400	-1,971
101	-4,200	2,457	126	-1,171	-2,143
102	-4,371	1,571	127	-0,657	-3,000
103	-5,400	1,429	128	-0,229	-3,800
104	-4,971	1,457	129	0,743	-6,200
105	-5,000	0,629	130	2,429	-7,114
106	-4,314	0,229	131	-2,657	-4,029
107	-2,971	2,914	132	-3,257	-5,429
108	-2,914	2,286	133	-3,029	-5,314
109	-2,514	2,743	134	-2,114	-5,143
110	-2,343	2,000	135	-2,171	-5,886
111	-2,943	0,743	136	-1,114	-4,857
112	-1,457	3,600	137	-1,286	-5,200

6. Porovnejte se vzorovou tabulkou a rozhodněte, zdali se jedná o pozitivní či negativní identifikaci.

Pro pozitivní identifikaci byla zvolena:

- tolerance v oblasti nejbližší slepé skvrně 0%
- tolerance v oblasti střední vzdálenosti od slepé skvrny 10%
- tolerance v oblasti nejdále slepé skvrně 20%

Takto nastavené tolerance odstraní v případě nepřesného sejmutí obrazu odchylky od optické osy, po které je snímek pořizován. Ve vyšších stupních zabezpečení budou tolerance sníženy na vhodnou úroveň.

Tabulka 15 Porovnání oblasti 1 se vzorovou tabulkou

Bod č.	Osa x [cm]	Osa y [cm]	Výsledek
1	5,371	2,257	Nalezen
2	5,457	0,286	Nalezen
3	6,314	0,257	Nalezen
4	6,743	0,657	Nalezen
5	7,543	0,514	Nalezen
6	8,057	0,400	Nalezen
7	8,714	0,114	Nalezen
8	5,229	-0,229	Nalezen
9	5,257	-1,314	Nalezen
10	6,229	-1,486	Nalezen

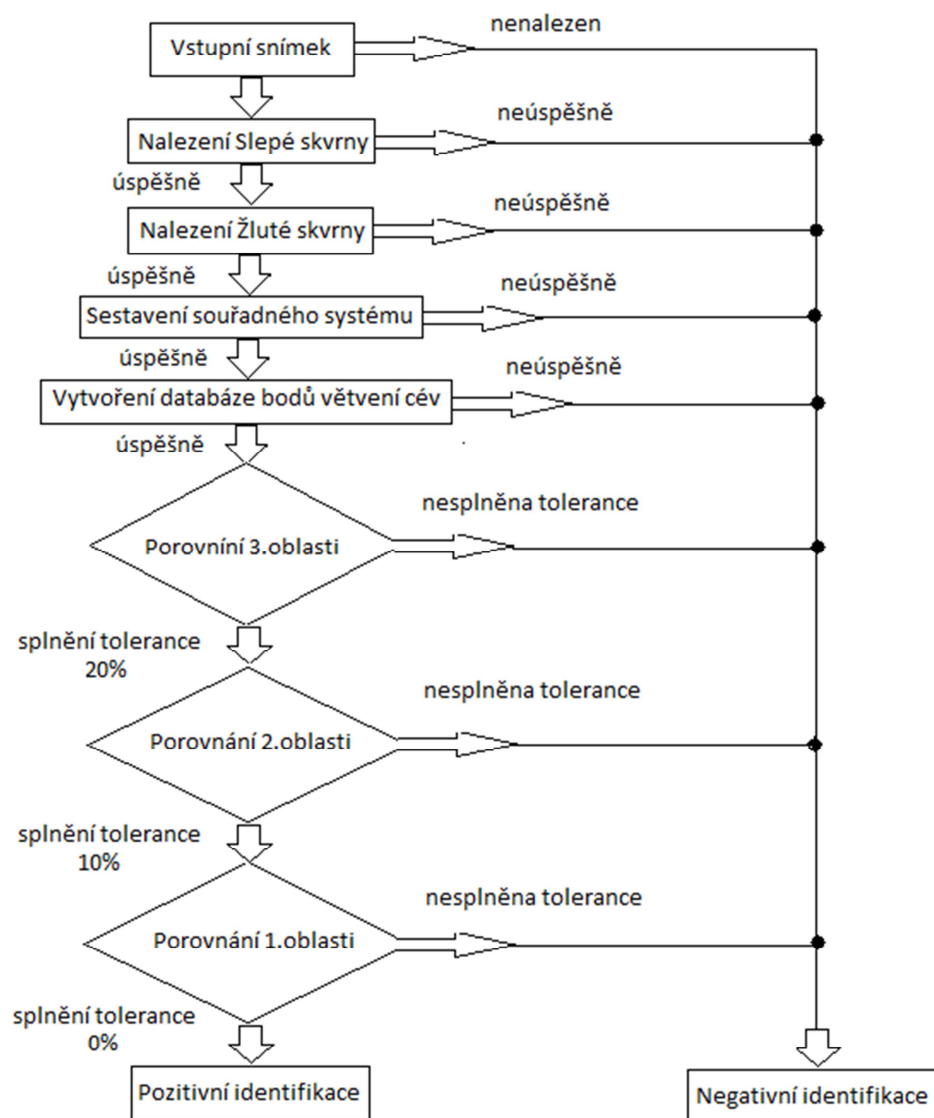
Tabulka 16 Porovnání oblasti 2 se vzorovou tabulkou

Bod č.	Osa x [cm]	Osa y [cm]	Výsledek
11	1,314	4,257	Nalezen
12	1,429	3,086	Nalezen
13	2,714	3,514	Nalezen
14	2,114	1,143	Nalezen
15	0,629	-1,457	Nalezen
16	0,857	-2,286	Nalezen
17	0,545	-2,555	Nenalezen
18	3,371	-2,286	Nalezen
19	2,057	-4,314	Nalezen
20	3,743	-6,371	Nalezen

Tabulka 17 Porovnání oblasti 3 se vzorovou tabulkou

Bod č.	Osa x [cm]	Osa y [cm]	Výsledek
21	-0,057	5,429	Nalezen
22	-1,371	5,000	Nalezen
23	-1,444	1,254	Nenalezen
24	-5,400	1,429	Nalezen
25	-2,943	0,743	Nalezen
26	-1,314	2,600	Nalezen
27	-2,545	2,700	Nenalezen
28	-5,029	-2,800	Nalezen
29	-3,771	-2,629	Nalezen
30	2,429	-7,114	Nalezen

V laboratorní úloze bylo postupováno dle vývojového diagramu znázorněného na obrázku č. 24. Tento ruční postup by mohl sloužit jako podklad pro vývoj softwaru biometrického snímače sítnice, jelikož tento postup by přinesl zrychlení celého systému, a zvýšil jeho přesnost. Zvýšení rychlosti a přesnosti je způsobeno rozdělením obrazu do tří oblastí. Z tohoto důvodu není nutno ihned porovnávat celou databázi bodů větvení cév.



Obrázek 24 Vývojový diagram ruční analýzy snímku sítnice

7. Vyhodnocení úlohy.

V teoretické části bakalářské práce je uvedeno, že nejvíce jedinečných rysů na fundu lidského oka je v oblasti slepé skvrny. To se potvrdilo ve výsledcích laboratorní úlohy, kdy v prvním a čtvrtém kvadrantu bylo nalezeno téměř dvojnásobné množství jedinečných rysů než v kvadrantu druhém a třetím. To vše zapříčiňuje anatomická stavba oka, jelikož v okolí slepé skvrny, neboli vstupu očního nervu do lidského oka, vstupují do oka taktéž cévy vyživující oko samotné. V laboratorní úloze je dále provedena ruční analýza snímku oka, která může být podkladem pro vývoj softwaru, jelikož obsahuje metodiku vedoucí ke zvýšení spolehlivosti a přesnosti těchto systémů. Výsledkem úlohy je porovnání zadané tabulky, a určení stavu identifikace. Jelikož nastavené tolerance jsou splněny, můžeme považovat danou identifikaci za pozitivní.

6 VÝVOJ BIOMETRICKÝCH SNÍMAČŮ LIDSKÉHO OKA

6.1 Praktické využití biometrických snímačů lidského oka

Biometrické systémy se nejčastěji využívají ke kontrole vstupu do prostor z vyššími až nejvyššími předpoklady zabezpečení. Takové prostory představují letiště, lékařská zařízení, bankovní sektor, armádní areály a mnohé další. Vždy je nutno zvolit správnou variantu nejen dle stupně zabezpečení, ale také s ohledem na akceptaci uživatelů a okolního prostředí daného biometrického systému.

Vývojem takovýchto systémů se zabývají mnohé společnosti např. společnost Aoptrix, která vyvíjí systém pro Mezinárodní sdružení leteckých dopravců.



Obrázek 25 Budoucnost dle společnosti Aoptrix [18]

Podmínkou pro správnou činnost takového systému je spolupráce jeho uživatelů.

Druhou sférou využití dnes již hojně využívanou je ochrana informací. Jedná se především o ochranu počítačových systémů proti zneužití. Ochrana informací je neméně důležité sféra průmyslu komerční bezpečnosti. Cena informace se mnohdy nedá ani vyčíslit, a proto není vhodné tuto oblast zanedbávat. Jako příklad biometrického systému pro ochranu informací bych zmínil čtečku otisku prstů umístěnou na notebooku. Ta bez správné identifikace uživatele nepovolí manipulaci s PC. S rozvojem technologií se dnes začínají objevovat i přenosné počítače využívající jedinečných biometrických vlastností

oka, především duhovky za pomoci sejmutí obrazu pomocí kamery umístěné v těle přenosného počítače.

Další z mnoha oblastí využití je například v automobilovém průmyslu, kde by např. snímač duhovky mohl být zabudován ve vozidle a na základě pozitivní identifikace by dovolil uživateli/majiteli nastoupit a s vozem odjet. O tuto aplikaci už pokoušela ryze česká firma Devcon za podpory mezinárodního výzkumného projektu Eureka. Zájem o tuto aplikaci projevila např. česká automobilka Škoda.

Z výše zmíněného plyne široká oblast, kde je prostor pro využití a praktického nasazení biometrických snímačů lidského oka. Jedná se o různé aplikace s využitím identifikace za pomoci snímačů duhovky či sítnice.

6.2 Odhad vývoje biometrických snímačů oka

Vývoj biometrických snímačů lidského oka i všech biometrických systémů je zaměřen na odstranění odhalených problémů a také se věnuje zvýšení dostupnosti i běžným společnostem, podnikům a majitelům nemovitostí.

V budoucnu bude s největší pravděpodobností naplněna představa scénáristů sci-fi filmů, kde jsou přístroje k identifikaci dle lidského oka kompaktních rozměrů a s možností využití u každých vstupních dveří.

Je zde nutné zmenšit či upravit systémy tak, aby se dali zabudovat do staveb již v době jejich vzniku a tím je přiblížit rozsáhlejšímu spektru potenciálních zákazníků. Ti musí být obeznámeni se skutečností, že jim v důsledku využití těchto systémů nehrozí žádné nebezpečí, nejen po stránce stavu bezpečnosti, ale také po stránce svého fyzického zdraví, jelikož biometrické systémy nemají žádné škodlivé vlivy na zdraví osob podléhajících jejich využívání.

Vývoj bude směřován na zvýšení přijatelnosti uživateli a možností navýšení bezpečnosti na nejvyšší úroveň za co nejmenších nákladů, ovšem při zachování kvality a spolehlivosti systémů.

ZÁVĚR

Předložená bakalářská práce je zpracována na téma: „Biometrické snímače lidského oka“. V teoretické části, která je rozdělena do tří celků, je v prvním celku uveden stručný úvod do biometrie, seznámení se základními využívanými pojmy v odvětví biometrie a dále je zde provedeno přehledné dělení biometrie a hodnocení biometrických systémů z hlediska různých koeficientů.

V druhém celku teoretické části se práce věnuje stavbě a funkci lidského oka. Díky této části práce čtenář získává přehled o funkci jednotlivých základních částí lidského oka a o jejich vlastnostech.

V závěru teoretické části jsou analyzovány principy snímačů lidského oka. Tato část je rozdělena dle dvou principů snímání a to podle snímání oční duhovky a snímání podle oční sítnice, přesněji očního pozadí.

Hlavním účelem teoretické části tedy bylo vysvětlení principu biometrických systémů a popis principu funkce biometrických systémů využívajících jedinečné vlastnosti, kterou nese lidské oko.

Praktická část navazuje na teoretickou část a je rozdělena taktéž do tří celků.

V prvním celku praktické části je uvedena současná nabídka biometrických snímačů lidského oka, díky čemuž by měl čtenář získat přehled o dnešních možnostech v případě pořízení a využití takovýchto systémů.

V následujícím celku je vytvořena laboratorní úloha. Pomocí této úlohy mohou studenti lépe pochopit princip fungování biometrických snímačů lidského oka, ale především může být úlohy podkladem pro vývoj softwaru těchto systémů.

Poslední celek praktické části odhaduje vývoj a možné využití biometrických systémů v budoucnu, konkrétně biometrických snímačů lidského oka.

Bakalářská práce jako celek ukázala na hlavní výhody biometrických systémů a její zaměření na biometrické snímače lidského oka umožnilo analyzovat a vysvětlit jejich funkci společně s jejich pozitivy a negativy. Díky tomu je možno nasměřovat další vývoj biometrických snímačů lidského oka.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The topic of this bachelor's thesis is: "Biometric sensor of human eye". In the theoretical part, which is divided into three sections, is in the first section a brief introduction to biometrics, introduction to basic concepts used by the biometrics industry and there is a clear division of biometrics and biometric systems evaluation in terms of different factors.

The second section of theoretical part deals with the structure and function of human eye. In this part the reader gets an overview of the various constituent parts of human eye and their properties.

At the end of the theoretical part there are analyzed the principles of sensors of human eye. This part is divided into two principles sensing according to the scanning of the iris and scanning of the retina.

The main purpose of the theoretical part was therefore to explain the principle of biometric systems and the description of the function of biometric systems based on unique properties, which carries the human eye.

The practical part follows the theoretical part is also divided into three parts.

In the first section the practical part is displayed the current offer of biometric sensors of human eye, allowing the reader getting an overview of current possibilities for acquisition and use of such systems.

In the following section is a laboratory task. Using this task, students can better understand the working principle of biometric sensors of human eye, but the task can also be a base for the development of software systems.

The last section of practical part estimates development and possible use of biometric systems in the future, namely biometric sensors of human eye.

Bachelor's thesis as a whole showed the main advantages of biometric systems and its focus on biometric sensors of human eye and allowed to analyze and explain their function together with their positives and negatives. This makes it possible to direct further development of biometric human eye.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DRAHANSKÝ, Martin; ORSÁG, Filip. *Biometrie* 1. vyd. Brno 2011. ISBN 978-80-254-8979-6
- [2] BITTO, Ondřej. *Šifrování a biometrika aneb tajemné bity a dotyky*. 1. vyd. Praha 2005. ISBN 80-56686-48-5.
- [3] RAK, Roman; MATYÁŠ, Vašek; ŘÍHA, Zdeněk. *Biometrie a identita člověka ve forenzních a komerčních aplikacích*. 1. vyd. Praha 2008. ISBN 978-80-247-2365-5.
- [4] SYNEK, Svatopluk; Skorkovská, Šárka. *Fyziologie oka a vidění*. 1. Vyd, Praha 2004. ISBN 80-247-0786-1.
- [5] Pavel Vyoral, *Identifikační biometrické systémy*. Bakalářská práce, UTB ve Zlíně, 2011.
- [6] *IDENTIFIKACE ČLOVĚKA POMOCÍ BIOMETRICKÝCH ÚDAJŮ*. Ústí nad Labem, 4. listopadu 2007. Bakalářská práce. Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem.
- [7] ŠČUREK, Radomír. *Biometrické metody identifikace osob v bezpečnostní praxi*. [online]. 2008 [cit.2013-01-03]. Dostupné z WWW: <http://www.fbi.vsb.cz/miranda2/export/sites-root/fbi/040/cs/sys/resource/PDF/biometricke_metody.pdf>
- [8] Lidské oko - z čeho se skládá. *Mediaspot* [online]. 06.11.2010 [cit. 2013-03-22]. Dostupné z: <http://www.medispot.cz/oci-ocni-vicka/lidske-oko-jak-vidime.html>
- [9] Mozek jako nástroj lidského vidění - jak vidíme svět kolem nás. *Životní energie* [online]. 17.5.2007 [cit. 2013-03-28]. Dostupné z: <http://zivotni-energie.cz/mozek-jako-nastroj-lidskeho-videni-jak-vidime-svet-kolem-nas.html>
- [10] DROZD, Radek. *Aplikace pro rozpoznávání sítnice lidského oka*. Brno, 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, fakulta informačních technologií, ústav inteligentních systémů.
- [11] KUDLIČKA, Roman. *Moderní technologie v zajištění bezpečnosti pláště budov*. Zlín, 2011. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [12] AKTION [online]. 2013 [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: <http://www.aktion.cz/>
- [13] Panasonic BM-ET200 Iris Reader. *Epsys* [online]. Oslo, 2012 [cit. 2013-04-23]. Dostupné z: <http://www.epsys.no/acontrol/panasonic>
- [14] Kontrola vstupu a docházky / Panasonic BM-ET200. *Digitus* [online]. Přerov, 2009 [cit. 2013-04-23]. Dostupné z: http://www.digitus.cz/produkt_bm200.php

- [15] Panasonic BMETA201 Interface Board. *Sovereign* [online]. [2012] [cit. 2013-04-23]. Dostupné z: <http://www.sovereigncctv.co.uk/item--Panasonic-BMETA201--Panasonic-BMETA201.html>
- [16] NIDEK. *Non-Mydriatic Auto Fundus Camera: AFC-330*. Japan, 2011.
- [17] NIDEK AFC-330 FUNDUS KAMERA. *Birmingham optical* [online]. [2013] [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: <http://www.birminghamoptical.co.uk/categories/ophthalmic/retinal-diagnostics/nidek-afc-330-fundus-camera/>
- [18] Technology Or Fiction: Iris Recognition. *Cpuhost* [online]. 13. února 2013 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: <http://cpuhost.com/technology-or-fiction-iris-recognition.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Např.	Například
Tzv.	Takzvaný
Mm	Milimetr
FAR	False Acceptance Rate (koeficient nesprávného přijetí)
FRR	False Rejection Rate (koeficient nesprávného odmítnutí)
ERR	Equal Error Rate (křížový koeficient)
FTE,FER	Failure to Enroll Rate (koeficient selhání sejmutí příznaku)
FIR	False Identification Rate (koeficient nesprávného přiřazení)
FMR	False Match Rate (koeficient nesprávného přijetí)
FNMR	False Non-Match Rate (koeficient nesprávného odmítnutí)
RI	Retinal Identification (identifikace dle sítnice)
CNS	Centrální nervový systém
CCD	Charged Coupled Device (zařízení s vázanými náboji)
2D	Dvoudimenzionální
3D	Trojdimenzionální
PC	Personal Computer (osobní počítač)
PIN	Personal Identification Number (identifikační číslo)
IP	Internetový protokol
V	Volt
A	Ampér
Max.	Maximální
Ss	Stejnoseměrné
°C	Stupeň Celsia
°F	Stupeň Fahrenheita
Kg	Kilogram

LAN	Local Area Network (lokální síť)
LCD	Liquid Crystal Display (displej z tekutých krystalů)
VA	Volt-Ampér

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Biometrický systém [1, s. 62].....	13
Obrázek 2 Znázornění dělení biometrických vlastností [6].....	14
Obrázek 3 Závislost FAR a FRR na rozhodovací hranici [5].....	18
Obrázek 4 Stavba oční koule [8].....	20
Obrázek 5 Oko – optická soustava [9].....	25
Obrázek 6 Rysy duhovky zaznačeny v obraze [6].....	27
Obrázek 7 Lokalizovaná duhovka s příkladem jejího kódu [7, s. 24]	29
Obrázek 8 Výsledek analýzy snímku sítnice [10, s. 34].....	32
Obrázek 9 Výsledek analýzy snímku sítnice zobrazený ve vstupním snímku [10, s. 34].....	33
Obrázek 10 Schéma systému LG Iris Access [12]	37
Obrázek 11 ICU4300 [12]	37
Obrázek 12 DCU4000 [12].....	38
Obrázek 13 ICAM4100 [12].....	39
Obrázek 14 Panasonic BM-ET200 [13].....	41
Obrázek 15 Schéma zapojení BM-ET200	42
Obrázek 16 BM-ETA201 [15].....	43
Obrázek 17 BM-ETC202 [15]	44
Obrázek 18 AFC-330 [17]	45
Obrázek 19 Znázornění kompaktnosti AFC-330 [16]	45
Obrázek 20 Zobrazení využití automatických funkcí AFC-330 [16].....	46
Obrázek 21 Snímky sítnice pořízené fundus kamerou	49
Obrázek 22 Vypracování úlohy – souřadný systém	51
Obrázek 23 Vypracování úlohy – Zaznačení bodů větvení cév	52
Obrázek 24 Vývojový diagram ruční analýzy snímku sítnice.....	56
Obrázek 25 Budoucnost dle společnosti Aoptrix [18].....	58

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Závislost přesnosti výsledku Hammingovy vzdálenosti [3, s. 505]	28
Tabulka 2 Porovnání biometrických snímačů lidského oka	34
Tabulka 3 Technická specifikace ICU4300 [12]	38
Tabulka 4 Technická specifikace DCU4000 [12].....	39
Tabulka 5 Technická Specifikace ICAM4100 [12].....	40
Tabulka 6 Požadavky na serverové PC [12].....	40
Tabulka 7 Technická specifikace BM-ET200 [14].....	42
Tabulka 8 Technická specifikace BM-ETA201 [15].....	43
Tabulka 9 Technická specifikace AFC-330 [16].....	47
Tabulka 10 Hlavička zadání laboratorní úlohy.....	48
Tabulka 11 Vzorová tabulka.....	50
Tabulka 12 Body větvení cév v 1. oblasti.....	53
Tabulka 13 Body větvení cév v 2. oblasti.....	53
Tabulka 14 Body větvení cév v 3. oblasti.....	54
Tabulka 15 Porovnání oblasti 1 se vzorovou tabulkou.....	55
Tabulka 16 Porovnání oblasti 2 se vzorovou tabulkou.....	55
Tabulka 17 Porovnání oblasti 3 se vzorovou tabulkou.....	55