

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



Spolehlivost systémů pro rozpoznání tváře za ztížených podmínek

Diplomová práce

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Veronika Hartová Ph.D.

Diplomant: Bc. Veronika Štekerová

PRAHA 2018

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Veronika Štekerová

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Spolehlivost systémů pro rozpoznání tváře za ztížených podmínek

Název anglicky

Reliability of systems for face recognition under difficult conditions

Cíle práce

Diplomová práce je tematicky zaměřena na spolehlivost systémů pro rozpoznání tváře za ztížených podmínek.

Hlavním cílem je provést testování určených technologií a jejich následné zhodnocení.

Dílní cíle diplomové práce jsou:

- vytvořit přehled řešené problematiky
- kvalitně zpracovat rešeršní část
- provést rozbor současných systémů pro rozpoznání osob na základě obličejových rysů
- provést sadu testování na spolehlivost systémů pro rozpoznání tváře za ztížených podmínek
- provést finanční zhodnocení systémů pro identifikaci člověka

Metodika

Metodika řešené problematiky diplomové práce je založena na studiu a analýzách odborných informačních zdrojů.

Praktická část práce je zaměřena na testování spolehlivost systémů pro rozpoznání tváře za ztížených podmínek.

Na základě rozboru teoretických poznatků a výsledků praktické části práce, budou formulovány závěry diplomové práce.

Doporučený rozsah práce

50 až 60 stran včetně grafů, obrázků a tabulek

Klíčová slova

tvář, rys, spolehlivost, biometrie, testování, ztížené podmínky

Doporučené zdroje informací

Hayward, W.G. , Favelle, S.K., Oxner, M., Chu, M.H., Lam, S.M. The other-race effect in face learning: Using naturalistic images to investigate face ethnicity effects in a learning paradigm. Quarterly Journal of Experimental Psychology. ISSN: 17470218

Huang, K.-K. , Dai, D.-Q. , Ren, C.-X. , Yu, Y.-F. , Lai, Z.-R. Fusing landmark-based features at kernel level for face recognition. Pattern Recognition. ISSN: 00313203

JEŽEK, V. *Systémy automatické identifikace : [aplikace a praktické zkušenosti]*. Praha: Grada, 1996. ISBN 80-7169-282-4.

ŘÍHA, Z. – MATYÁŠ, V. – RAK, R. *Biometrie a identita člověka ve forenzních a komerčních aplikacích*. Praha: Grada, 2008. ISBN 978-80-247-2365-5.

Seo, Y., Kim, M., Jung, Y., Lee, D. Avatar face recognition and self-presence. Computers in Human Behavior. ISSN: 07475632

ZACH, J. – DRÁPELA, K. *Biometrie, biostatistika : vybrané části*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1996. ISBN 80-7157-234-9.

a Hartová, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 13. 1.

doc. Ing. Miroslav Růžička, CSc.

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Veronika Hartová, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 13. 1. 2017

doc. Ing. Miroslav Růžička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 1. 2017

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 01. 03. 2018

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Spolehlivost systémů pro rozpoznání tváře za ztížených podmínek** vypracovala samostatně a použila jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědoma, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědoma že, na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“

.....
Veronika Štekerová

Poděkování

Chtěla bych velmi poděkovat vedoucí mé diplomové práce Ing. Veronice Hartové Ph.D. za skvělou spolupráci, pomoc, rady a konzultace, které byly vždy velkým přínosem pro mou práci. Dále bych chtěla poděkovat své rodině za trpělivost a podporu během studia a samozřejmě i velké díky patří mým přátelům a spolužákům, kteří se podíleli na praktické části této práce.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá spolehlivostí systému pro rozpoznávání tváře za ztížených podmínek. První část diplomové práce vytváří přehled řešené problematiky a věnuje se biometrickým vlastnostem a jejich spolehlivosti, biometrické autentizaci, dále pak identitě, identifikaci a verifikaci, kde jsou vysvětleny tyto pojmy, aby nedocházelo k jejich záměně. V první části diplomové práce jsou rovněž uvedeny 2D a 3D biometrické přístupy pro rozpoznávání tváří. V kapitole klasifikace biometrických chyb jsou popsány dva základní druhy chyb, a to sice chybné přijetí a chybné odmítnutí. Dále se první část diplomové práce zabývá spolehlivostí a chybovostí biometrických metod. V závěru první části je podrobně popsána metodika rozpoznávání tváře. Ta se dělí na dvě části. První část je detekce a lokalizace tváře a druhá část je rozpoznávání tváře.

V praktické části práce jsou podrobně popsány použité zařízení, která byla potřeba k hlavnímu měření, které bylo předmětem této diplomové práce. Jedná se o dvě biometrické čtečky obličeje a o Luxmetr. V této části práce je podrobně popsán postup měření, jak, kde a za jakých podmínek měření probíhalo a jaké byly nasimulovány ztížené podmínky pro toto měření spolehlivosti. Dále jsou zde uvedeny tabulky, které obsahují údaje získané měřením.

Klíčová slova: tvář, rys, spolehlivost, biometrie, testování, ztížené podmínky

Abstract

The diploma thesis is mainly focused on the reliability of the facial recognition system under difficult conditions. The first part of the diploma thesis provides an overview of the solved problems and deals with the biometric properties and their reliability, biometric authentication, identity, identification and verification where these terms are explained in order to avoid their confusion. In the first part of the diploma thesis are also presented 2D and 3D biometric approaches for face recognition. Two fundamental types of errors are described in the biometric error classification chapter, namely mistaken acceptance and wrong rejection. The first part of the diploma thesis deals with the reliability and error rate of biometric methods. At the end of the first part is described in detail the methodology of face recognition. It is divided into two parts. The first part is face detection and localization, and the second part is face recognition.

In the practical part of the thesis are described in detail the used equipment, which was needed for the main measurement, which was the subject of this diploma thesis. These are two biometric facial readers and a Luxmetr. In this part of the thesis is described in detail the procedure of measurement, how, where and under what conditions the measurement took place and how the conditions for this reliability measurement were simulated. In addition, there are tables that contain the data obtained by the measurement.

Key words: face, feature, reliability, biometrics, testing, difficult conditions

Obsah

1. ÚVOD.....	1
2. CÍLE PRÁCE	3
3. METODIKA PRÁCE	4
4. PŘEHLED ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	5
4.1. BIOMETRICKÉ VLASTNOSTI A JEJICH SPOLEHLIVOST	5
4.2. BIOMETRICKÁ AUTENTIZACE.....	7
4.3. IDENTITA vs. IDENTIFIKACE vs. VERIFIKACE	8
4.4. 2D A 3D BIOMETRICKÝ PŘÍSTUP K ROZPOZNÁVÁNÍ TVÁŘÍ	9
4.4.1. DVOUROZMĚRNÝ PŘÍSTUP – 2D	9
4.4.2. TROJROZMĚRNÝ PŘÍSTUP – 3D	11
4.5. KLASIFIKACE BIOMETRICKÝCH CHYB	12
4.6. SPOLEHLIVOST A CHYBOVOST BIOMETRICKÝCH METOD	14
4.7. METODIKA ROZPOZNÁVÁNÍ TVÁŘE	15
4.7.1. DETEKCE A LOKALIZACE TVÁŘE	15
4.7.2. ROZPOZNÁVÁNÍ TVÁŘE	20
4.8. IDENTIFIKACE OSOBY NA ZÁKLADĚ FOTOGRAFICKÉHO PORTRÉTU.....	29
5. PRAKTICKÁ ČÁST PRÁCE	31
5.1. POUŽITÁ ZAŘÍZENÍ.....	31
5.1.1. Aktion AFT-500 – ČTEČKA ČÍSLO 1.....	31
5.1.2. Multibio 700 – ČTEČKA ČÍSLO 2.....	34
5.1.3. Luxmetr – CEM-DT 8809A	35
5.2. POSTUP MĚŘENÍ.....	37
5.2.1. LABORATOŘ.....	37
5.2.2. BIOMETRICKÉ ČTEČKY	38
5.2.3. ZTÍŽENÉ PODMÍNKY.....	39
5.2.4. SIMULACE ZTÍŽENÝCH PODMÍNEK	42
5.2.5. UŽIVATELÉ	43
5.2.6. POSTUP MĚŘENÍ.....	43
5.3. VYHODNOCENÍ	47
5.4. FINANČNÍ ZHODNOCENÍ.....	54
5.5. DISKUZE	55
6. ZÁVĚR	57
7. CITOVANÁ LITERATURA.....	59

8.	SEZNAM OBRÁZKŮ	61
9.	SEZNAM TABULEK	61
10.	PŘÍLOHY.....	62

1. ÚVOD

Tématem této práce je Spolehlivost systémů pro rozpoznání tváře za ztížených podmínek. Rozpoznání tváře je jedna z možností rozpoznání na základě biometrických systémů.

Obličej patří mezi nejznámější biometrický rys. Je používán intuitivně každý den, aniž by si člověk uvědomoval, že právě dochází k biometrické identifikaci. Schopnost reagovat na obličejové podněty, která je jednou z prvních kognitivních funkcí, kterou si osvojují novorozenci. (1) (2)

Jde o nejpřirozenější a nejpoužívanější způsob identifikace s vysokou úrovní spolehlivosti. Lidský mozek si totiž ukládá zcela automaticky tváře lidí, se kterými přichází do kontaktu. Nicméně samotná biometrická identifikace je známa něco málo přes 30 let, ačkoliv identifikace osob na základě rozpoznání lidských tváří je stará jako lidstvo samo. (1) (3)

Lidskou tvář má každý jedinec jiný, přesto ale vykazuje obličej velké množství variability, například při gestikulaci. Také zároveň vykazuje i v mnoha případech vyšší mezitřídní variabilitu, a to například u dvojčat. (3)

Díky vývoji a rozvoji technologie dochází neustále ke snižování výrobních cen elektronických součástí, proto se stávají biometrické systémy stále více dostupnější z finančního hlediska. Biometrické identifikační systémy se dnes používají stále více, a to ve zcela běžných zařízeních jako jsou mobilní telefony nebo počítače. Díky jejich vysoké spolehlivosti nejsou vhodné jen do menších či větších firem a korporací, ale jsou hlavní doménou armády, zabezpečení jaderných zbraní, ostře střeženého finančního sektoru, stadionů, letištních areálů, recepcí významných míst či jiných významně střežených míst a lokalit. Vlády po celém světě zadávají poptávky po biometrickém zabezpečení integrovaných systémů ochrany hranic. V komerčním sektoru patří biometrické zabezpečovací systémy k hlavním faktorům, které lákají potencionální klienty, neboť ochrana identity a prevence kybernetických útoků je dnes velice žádaná. (4)

Biometrie na základě rozpoznávání obličeje je druhá nejpoužívanější biometrická identifikace hned po otisku prstu. Od šedesátých let 20. století se zdokonalují algoritmy a metody na rozpoznávání lidských tváří. Rozpoznávání 2D systémy je již dávno za námi a nyní se používá 3D systém. Díky tomu je tak dosaženo zvýšení spolehlivosti rozpoznávání a také

zvýšení biometrické entropie. Je to velmi rozsáhlé téma, o kterém je ročně publikováno stovka vědeckých článků. V průběhu času se mění jednotlivé algoritmy, založené na metodách analyticko-statistických či grafických. Využívají se také jiná elektromagnetická spektra, ve kterých tyto čtečky následně fungují nebo se pro snazší identifikaci využívají se různé přísvity.

2. CÍLE PRÁCE

Diplomová práce je tematicky zaměřena na spolehlivost systémů pro rozpoznání tváře za ztížených podmínek. Hlavním cílem je provést testování určených technologií a jejich následné zhodnocení. Mimo jiné je práce zaměřena na vytvoření přehledu řešené problematiky, provést rozbor současných systémů pro rozpoznávání osob na základě obličejových rysů a provést sadu testování na spolehlivost systémů pro rozpoznání tváře za ztížených podmínek. Celkem bude nasimulováno 11 ztížených podmínek. V závěru práce bude provedeno finanční zhodnocení biometrických systémů pro identifikaci člověka.

Dílčí cíle diplomové práce jsou:

- vytvořit přehled řešené problematiky
- kvalitně zpracovat rešeršní část
- provést rozbor současných systémů pro rozpoznání osob na základě obličejových rysů
- provést sadu testování na spolehlivost systémů pro rozpoznání tváře za ztížených podmínek
- provést finanční zhodnocení systémů pro identifikaci člověka

3. METODIKA PRÁCE

Metodika řešené problematiky diplomové práce je založena na studiu a analýzách odborných informačních zdrojů. Teoretická část diplomové práce bude zpracována hlavně z ověřených vědeckých článků, odborné literatury a internetových publikací. Diplomová práce je rozčleněna do několika kapitol. První kapitoly slouží k úvodu do problematiky a vysvětlení rozdílů mezi jednotlivými pojmy.

Nejobsáhlejší kapitolou teoretické části je kapitola s názvem metodika rozpoznávání tváře, která se dělí na dvě části. Na detekci a lokalizaci tváře a rozpoznávání tváře. Podkapitola o detekci a lokalizaci tváře popisuje jednotlivé typy metod detekce a lokalizace tváře, které jsou v podkapitole popsány. Stejně tak i podkapitola o rozpoznávání tváře se bude zabývat jednotlivými metodami a algoritmy pro rozpoznávání tváře.

V praktické části práci se bude provádět měření. Toto měření bude probíhat v laboratoři katedry, kde budou laboratorní podmínky. Pro měření budou stěžejní dobrovolníci – studenti ČZU. Měření se uskuteční na dvou biometrických čtečkách, které patří mezi nejpoužívanější v České Republice. Aby bylo možné provádět měření, nejprve je nutné všechny potenciální uživatele do čtečky nalogovat a pořídit jejich referenční snímek.

Referenční snímek každého uživatele bude stěžejní pro celé měření a bude pro to nutné pořídit kvalitní referenční snímek. Postupně pak budou naměřeny jednotlivé ztížené podmínky, které budou nasimulovány ve spolupráci s uživateli.

Při testování bude určena časová hranice doby identifikace, pro jeden identifikační pokus. Testovat se bude celkem 11 ztížených podmínek, které budou jedna za druhou postupně nasimulovány. Každá ztížená podmínka se bude měřit celkem desetkrát. Při měření se budou zaznamenávat jednotlivé časy identifikace, pro každou ztíženou podmínku a budou se také zaznamenávat i případné falešná odmítnutí či falešná přijetí.

Všechny naměřené časy se budou zaznamenávat do připravených tabulek. Na základě rozboru teoretických poznatků a výsledků praktické části práce, bude provedena analýza dat z tabulek. Po provedení analýzy dat a spočítání hodnoty FRR pro jednotlivé ztížené podmínky budou formulovány závěry diplomové práce.

4. PŘEHLED ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Tato kapitola obsahuje teoretický přehled řešené problematiky. Kapitola je rozdělena do několika podkapitol – biometrické vlastnosti a jejich spolehlivost, biometrická autentizace, Identita vs. identifikace vs. verifikace, 2D a 3D biometrický přístup k rozpoznávání tváří, klasifikace biometrických chyb, spolehlivost a chybovost biometrických metod a metodika rozpoznávání tváře, která je členěna do důležitých dvou podkapitol.

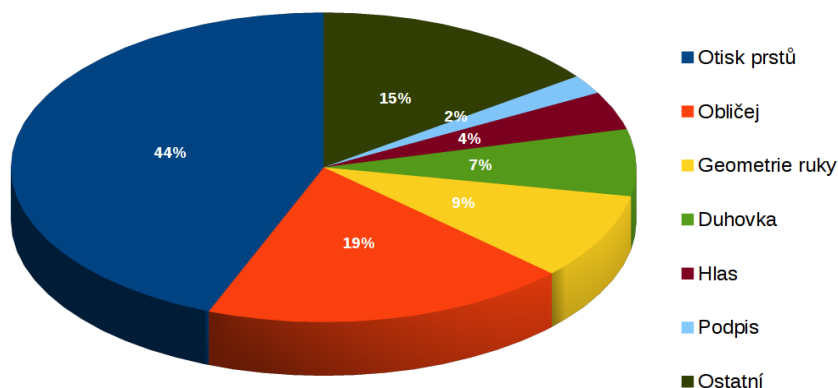
4.1. BIOMETRICKÉ VLASTNOSTI A JEJICH SPOLEHLIVOST

Pro automatické rozpoznávání lidí na základě jejich charakteristických anatomických rysů se využívá biometrie. Tato metoda identifikuje jedince pomocí obličeje, otisku prstu, geometrie ruky duhovky, sítnice či například pomocí charakteristického chování jako je podpis nebo chůze. (1)

Mezi anatomické neboli fyzické vlastnosti řadíme: otisk prstu, obličej, duhovka a sítnice oka, geometrie ruky, dlaň, termogram obličeje, termogram ruky, dentální obraz, podpis, tvar ucha, snímek nehtu a DNA. Naproti tomu řadíme mezi dynamické vlastnosti řadíme hlas, gestikulaci obličeje, podpisovou dynamiku, dynamiku stisku kláves, pohyby rtů, chůzi či zužování duhovky. (1) (5)

Na obrázku 1 je vidět, že na trhu se nejvíce využívá k identifikaci člověka biometrických systémů, který identifikují jedince na základě otisku prstu. Tento biometrický systém identifikace se totiž může pochlubit velmi vysokou spolehlivostí při identifikaci, neboť papilární linie, které tvoří otisk prstu člověka jsou pro každého člověka jedinečné a ani identická dvojčata nemají stejný otisk prstu. (1) (5)

Obrázek 1 Podíly využití na trhu biometrických vlastností



ZDROJ: Michal Černý, Jak vyrát na biometrii

V rámci biometrické autentizace je kladeno za cíl, aby měl systém, co největší spolehlivost. Spolehlivost je schopnost určitého objektu plnit požadovanou funkci. V tomto případě jde o to, aby nedocházelo k chybným autentizacím. (1) (4)

Mezi klíčové biometrické aplikace patří kybernetická bezpečnost, fyzický přístup, ochrana identity a monitorování a dohled. (4) (6)

Jako hlavní výhody biometrické identifikace lze uvést obtížnost zhotovení padělku, vyšší stupeň zabezpečení a zvýšení komfortu, vzhledem k tomu, že není potřeba si pamatovat hesla, PINy či vlastnit nějaký identifikátor jako je například čipová karta. (4)

V neprospěch biometrické identifikace jsou pořizovací náklady, nicméně jak již bylo uvedeno v současné době pořizovací cena na trhu klesá a biometrické zabezpečovací systémy se stávají mnohem více dostupnějšími. Jako další nevýhodu lze uvést obavy o ztrátu soukromí, fyzická onemocnění či nutnost zabezpečení dat. (4)

4.2. BIOMETRICKÁ AUTENTIZACE

Pro identifikaci osoby na základě využití jedinečných tělesných znaků se využívá biometrika. Jednou z mnoha výhod této autentizace je fakt, že není nutné si pamatovat žádná hesla nebo s sebou nosit lehce odcizitelný přihlašovací klíč jako je přihlašovací kartu či čip. Je tedy zvýšená bezpečnost a přináší toto řešení větší komfort pro uživatele. (1)

Jedná se o pohodlnou, rychlou a hlavně poměrně velice přesnou metodu. Za další výhodou této metody lze považovat to, že po vstupních nákladech je nenáročná na další finance. Výhodou je i skutečnost, že biometrické znaky člověka zůstávají během života člověka neměnné a je nemožné je zapomenout nebo odcizit. Biometrické znaky člověka jsou vhodné pro nejvyšší stupeň zabezpečení. (1) (5) (6)

Podstatou těchto systémů je snímání biometrických charakteristik, které probíhá automatizovaně a jejich následné porovnávání s předem sejmutými a uloženými údaji. Cílem v této oblasti bezpečnosti je vytvořit komplexní systémy, které budou založeny na kombinaci měření více biometrických charakteristik. Tím se docílí mnohonásobně vyšší spolehlivosti těchto systémů. Hlavní výhody biometrické autentizace můžeme vidět v Tabulce 1. (1)

Tabulka 1 Výhody biometrické autentizace

Rychlost
Cena – příznivá ve vztahu k bezpečnosti a v poměru cena/výkon, neexistující dodatečné náklady
Vysoký stupeň spolehlivosti – osvědčené technologie jen těžko oklamat
Nulové provozní náklady – žádná režie spojená s procesem autentizace
Praktičnost – není nutné nic přenášet → nelze to ztratit
Efektivnost – přímé datové propojení s databází a počítači
Zřejmost – výsledek je jednoznačný a hned

ZDROJ: vlastní zpracování autora

Jako každý zabezpečovací systém i zabezpečovací systém na základě biometrické autentizace lze podrobit útokům. Útoky lze snižovat použitím kombinací jednotlivých autentizačních metod. (1)

Využití biometrické autentizace má v praxi velmi široké využití. V současné době už se nevyužívá jen v oblasti kriminalistiky a soudnictví ale je také využíváno díky rychle se rozvíjejícím technologiím i v běžném životě. Nejčastěji se však stále využívá v soukromé či forenzní sféře. (1) (4)

Vzhledem k tomu, že identifikace osob pomocí biometrie dnes získává na popularitě a významu, lze se domnívat, že má tato metoda velký potenciál a budoucnost, vzhledem k tomu, že lidé stále více chtějí lepší zabezpečení. Společnost MasterCard proto vzhledem k narůstajícímu počtu online plateb představila službu pro své zákazníky, která funguje na základě otisku prstu. Společnost do platebních karet integrovala čtečku otisků prstů, aniž by se změnila její rozměry. Tato změna přináší zákazníkům tu výhodu, že uživatel už nebude muset zadávat PIN. MasterCard zatím nezaznamenal žádné zneužití této technologie. (1) (7) (8)

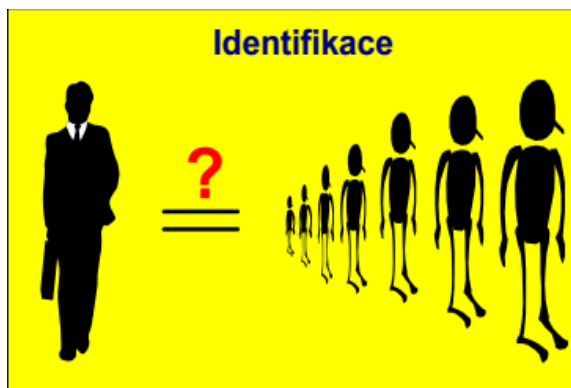
4.3. IDENTITA vs. IDENTIFIKACE vs. VERIFIKACE

Všechny tyto tři pojmy jsou velmi úzce spojeny a propojeny s biometrií. Každý má svou identitu a ta nás jednoznačně charakterizuje. Identita je založena na těchto třech principech – něčem, co víme, co máme a co jsme. Za něco, co víme můžeme považovat například heslo či PIN. To znamená, že si uživatel musí pamatovat konkrétní informaci. Jde převážně o bezpečností hesla. Nevýhodou je to, že bezpečnostní heslo můžeme zapomenout, anebo ho někdo může získat a zneužít. Něco, co máme, může být přístupová karta nebo klíč. Zde dochází k možnosti ztráty či odcizení a není ani vyloučena možnost nelegálního okopírování. Něco, co jsme je založena na našem chování nebo vzhledu. Díky tomu se stáváme sami sobě vstupním klíčem. Odpadá zde možnost zapomenutí nebo ztráta sebe sama. (1)

Pod pojmem identifikace se skrývá proces zjištění identity. Tento proces spočívá v určení identity osoby na základě biometrické vlastnosti. Systém, zde porovnává daný vzorek se všemi ostatními vzorky, které jsou uloženy v databázi. Dochází zde k porovnávání 1:N, které je názorně znázorněno na Obrázku 2. Jedná se o časově náročnější proces, hlavně pokud se jedná o rozsáhlé databáze. Výsledkem je buď nalezená identita nebo identita nalezena není. (1) (9)

Opačným procesem je proces verifikace, kde dochází k porovnání jednoho vzorku s jiným vzorkem. Dochází zde k porovnání 1:1, které je znázorněno na Obrázku 3. Jde o rychlejší proces, protože potřebný čas je stále stejný. Výsledkem je buď potvrzení přístupu nebo jeho zamítnutí. (1)

Obrázek 2 Proces Identifikace



Obrázek 3 Proces verifikace



ZDROJ: Martin Drahanský, VUT v Brně, Fakulta informačních technologií

4.4. 2D A 3D BIOMETRICKÝ PŘÍSTUP K ROZPOZNÁVÁNÍ TVÁŘÍ

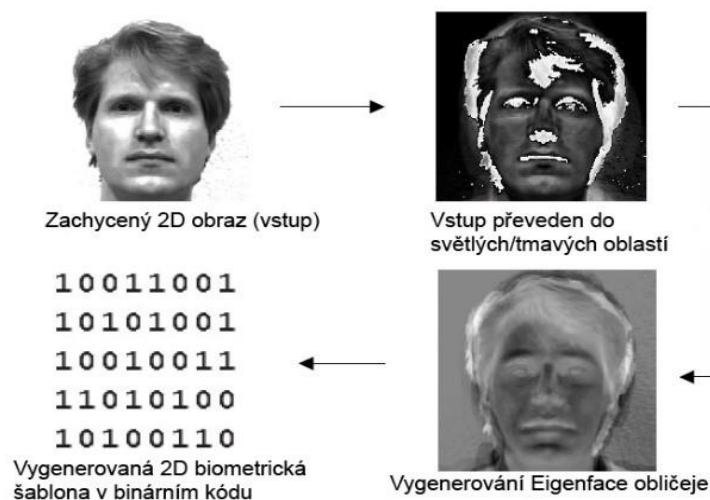
Jsou dva obecné přístupy k biometrii tváří. A to sice dvourozměrný a třírozměrný. Každý přístup využívá jiný způsob počítačového vidění, využívá jiné metodiky, algoritmů a logiky přístupu. Základním rozdílem mezi 2D a 3D technologií čtení biometrie obličeje je to, že zatímco 2D technologie využívá pouze měření vzdáleností v obličejové struktuře na základě videoanalýzy, tak 3D čtení obličeje z principu nejde oklamat maskou nebo fotografií. (10)

4.4.1. DVOUROZMĚRNÝ PŘÍSTUP – 2D

Při zpracování tváří bývá obhajován tím, že tento přístup je přirozený snímacím kamerám a očím, a tím je také lehce využitelný. Je přístupnější z finančního hlediska a také přizpůsobitelnější pro další zautomatizování biometrického procesu. (1)

Obecný proces 2D zpracování tváří je demonstrován na Obrázku 4. Nejprve zde dochází ke snímání biometrického vzorku tváře. Následně k přeměně na tmavá a světlá místa a poté se vygeneruje průměrný obraz tváře pomocí metody Eigenface. Na závěr se vygenerují 2D šablony obličeje. (1)

Obrázek 4 Obecný přístup zpracování tváří 2D technikou



ZDROJ: <http://www.fingertec.com/whatsnew/face-recognition-white-paper-technology-2>

Dvourozměrné techniky biometrického zpracování obličejů jsou velmi často ovlivňovány okolním světlem. Okolní světlo může identifikaci napomáhat, ale také ji může škodit. Toto okolního světla se dle zdroje světla rozlišuje na přirozené a umělé. Škodit může jak jeho přebytek, tak i jeho nedostatek. Také může škodit přítomnost stínů. Z těchto důvodů se využívají různé snímací kamery, které jsou závislé na rozdílném způsobu přisvícení biometrických čteček. Mohou být okolním světlem ovlivnitelné i okolním světlem do jisté míry neovlivnitelné. (1)

Dvourozměrné techniky mohou být ovlivnitelné také pokud je obličej znečištěný. Dále pak také pokud se na obličej nachází příliš mnoho kosmetiky či make-upu. Na výsledek identifikace má také vliv póza, výraz obličeje a vzdálenost zkoumaného subjektu. To vše může negativně ovlivnit výsledek identifikace. (1)

Při dvourozměrném rozpoznávání tváří je nutné zajistit dostatečně kvalitní snímek tváře. Nejčastěji se tento snímek pořizuje z předního pohledu – jedná se tedy o portrét. (1)

Mezi klady dvourozměrné technologie zpracování tváře patří: rychlost, jednoduchost, malá velikost šablony, cena a nenáročnost zpracování. (1)

Mezi zápory dvourozměrné technologie zpracování tváře patří: citlivost na světlo a stíny, citlivost na výraz, pózu a vzdálenost obličeje, citlivost na znečištění či přítomnost

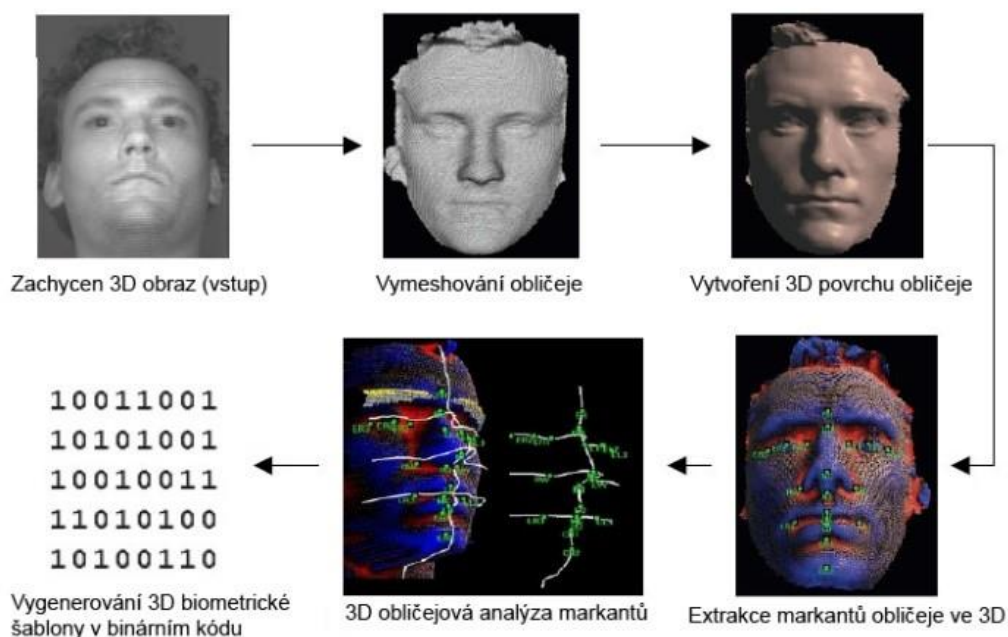
kosmetiky na obličej, 2D šablona obsahuje málo informací, některé technologie lze obelstít prostřednictvím vytištěného portréty. (1)

4.4.2. TROJROZMĚRNÝ PŘÍSTUP – 3D

Trojrozměrná data mají v dnešní době široké využití. Tento přístup zpracování tváří zpravidla obsahuje daleko více informací než klasické dvourozměrné zpracování. Tím se stává mnohem přesnější a představuje běžný přístup vnímání okolního světa. Je ale obecně považován za obtížnější a finančně náročnější. Proces zautomatizování biometrického zpracování bývá také zpravidla složitější. (1) (11)

Nejprve dochází k nasnímání biometrického vzorku tváře. Poté dochází k 3D vytvoření síťové podoby obličeje, takzvanému meshování. Po meshování dojde k vytvoření samotného povrchu obličeje a z tohoto povrchu se následně extrahují rysy obličeje ve 3D. Jako poslední krok se provádí analýza vyextrahovaných markantů. Na tomto základě je vytvořena 3D šablona obličeje. Obecný proces 3D zpracování tváří lze vidět na Obrázku 5. (1) (12)

Obrázek 5 Obecný proces 3D zpracování tváří



ZDROJ: <http://www.fingertec.com/whatsnew/face-recognition-white-paper-technology-2>

Metodiku zpracování třírozměrné geometrie obličeje využívají třírozměrné techniky biometrického zpracování obličejů. Tato technika zahrnuje zkoumání vzdáleností jednotlivých rysů, hloubky rysů obličeje, jednotlivých obrysů a kontur. Využívá se pokrivení zkoumajícího paprsku na základě geometrie obličeje. Využívají se výhradně techniky třírozměrného přístupu rozpoznávání tváří, které jsou nezávislé na okolním světle. Při zkoumání obličeje dochází k vytvoření třírozměrné sítě obličeje – 3D meshe, který představuje zkoumanou tvář. Tento mesh je následně využíván jako podklad k vytvoření šablony. (1)

Mezi klady 3D technologie zpracování tváří patří: odolnost vůči okolnímu světlu, necitlivost na poze či výrazu obličeje, méně závislé na znečištění obličeje a kosmetice, odolně vůči natočení až do 45°, lepší rozhodovací schopnost, 3D šablona poskytuje hodně informací. (1)

Mezi zápory 3D technologie zpracování tváří patří: větší finanční náklady, obtížnější proces zautomatizování, pomalejší identifikace, náročnější zpracování, větší velikost šablony – 3D. (1).

4.5. KLASIFIKACE BIOMETRICKÝCH CHYB

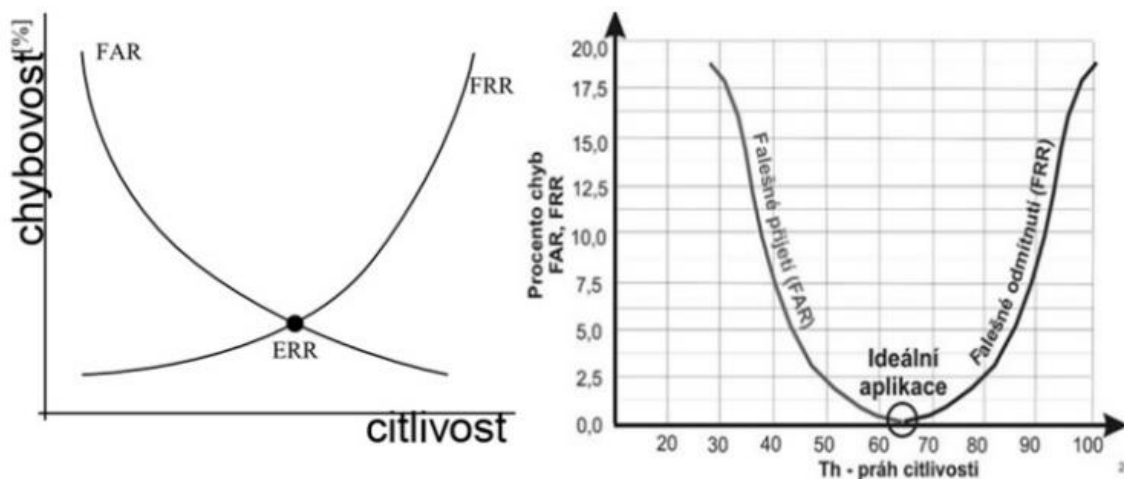
Zařízení či aplikace v ideálním případě nevykazuje žádnou chybovost nebo nespolehlivost. Takto ideální zařízení ale v praxi neexistuje, a tak existují dva základní druhy chyb: **chybné přijetí** a **chybné odmítnutí**. Oba tyto druhy chyb předpokládají, že je zkoumán určitý počet biometrických předloh. (1) (13)

Míru chybného přijetí (FAR) a míru chybného odmítnutí (FRR) není možné spočítat. Lze to ale zjistit pomocí exaktního měření systému, vyzkoušením a poté využitím statistických metod. (1)

Aby se vytvořil vhodný funkční kompromis pro danou problematiku, tak se musí upravit a nastavit hodnoty aplikace systému. Zmenšením hodnoty FAR se dosáhne zvětšení hodnoty FRR a zvětšení hodnoty FAR se naopak dosáhne zmenšení hodnoty FRR. V bodě, kde se obě tyto závislosti setkávají se vytváří EER, vzniká průsečík a tam se $FAR=FRR$. Ideálem by byla situace, kdy by platilo $FAR=FRR=0$. Pokud toto platí dojde k ověření všech uživatelů a nedojde

k neoprávněnému odmítnutí ani neoprávněnému akceptování uživatele. Obě tyto situace jsou zobrazeny na Obrázku 6. (1) (14)

Obrázek 6 Charakteristiky FAR, FRR, ERR a ideální ERR



ZDROJ: Roman Rak, Václav Matyáš, Zdeněk Říha a kolektiv. *Biometrie a identita člověka*

Míra chybného přijetí (FAR – false acceptance rate)

Požadavek je, aby systém neakceptoval neoprávněné osoby. (1)

$$FAR = \frac{N_{FA}}{N_{IIA}} = \frac{N_{FA}}{N_{IVA}}$$

N_{FA} = počet chybných přijetí

N_{IIA} = počet pokusů neoprávněných osob o identifikaci

N_{IVA} = počet pokusů neoprávněných osob o verifikaci

Jedná se o četnost přípuštění neautorizované osoby do systému a je to jedním z měřítek spolehlivosti. Toto měřítko spolehlivosti je dáno poměrem počtu biometrických předloh uživatelů, kteří nejsou registrovaní a je jim chybně umožněn vstup, k počtu vzorků, které byly zkoumány v daném testu. (13) (15)

Míra chybného odmítnutí (FRR – false rejection rate)

Požadavek je, aby systém korektně akceptoval oprávněné osoby. (1)

$$FRR = \frac{N_{FR}}{N_{EIA}} = \frac{N_{FR}}{N_{EVA}}$$

N_{FR} = počet chybných odmítnutí

N_{EIA} = počet pokusů oprávněných osob o identifikaci

N_{EVA} = počet pokusů oprávněných osob o verifikaci

Jedná se o četnost odmítnutí oprávněných uživatelů. Míra chybného odmítnutí neohrožuje přímo bezpečnost systému, ale způsobuje uživateli komplikace a je nutný proces identifikace opakovat nebo vygenerovat nový identifikační klíč. (16)

4.6. SPOLEHLIVOST A CHYBOVOST BIOMETRICKÝCH METOD

Důležitý aspekt biometrického systému bývá spolehlivost systému a zároveň jeho chybovost. Ta je velmi důležitá při procesu rozhodování, který typ nasazení zvolíme a jakou aplikaci systému. (1)

Mezi základní chybové parametry systému patří:

- **FAR** – False acceptance rate
- **FRR** – False rejection rate
- **EER** – Equal error rate
- **FTE** – Failure to enroll
- **FTA** – Failure to acquire
- **FM** – False Match
- **FNM** – Failure not match (1)

Prah citlivosti je dalším důležitým parametrem, který souvisí se spolehlivostí. Tento parametr má zkratku – Th (threshold). Jestliže neoprávněný či naopak oprávněný uživatel dosahuje míry ztotožnění větší, než-li práh citlivosti je uživatel akceptován a v opačném případě zamítnut. (1)

Z toho vyplývá, že mohou nastat 4 stavy:

1. je přijat oprávněný uživatel
2. je přijat neoprávněný uživatel
3. oprávněný uživatel není přijat
4. neoprávněný uživatel není přijat (1)

Vyhovující jsou pouze dva stavy. Odmítnutí neoprávněného uživatele a přijetí oprávněného uživatele. Snímání originálního biometrického vzorku a následné porovnání s referenční šablonou je při každém procesu autentizace nezbytné. Téměř nikdy však nedochází k absolutnímu ztotožnění, protože se naměření a následné ztotožnění šablon vždy trochu liší. Výsledné ztotožnění můžeme vyjádřit pomocí skóre nebo hodnotou míry ztotožnění. (1)

4.7. METODIKA ROZPOZNÁVÁNÍ TVÁŘE

Počítačová identifikace osob dle jejich tváří se dá rozdělit na dvě základní části: **detekce a lokalizace tváře** v dané scéně a **rozpoznání tváře**. Celý proces je náročný a jeho náročnost závisí především na typu scény. Vzhledem k tomu, že reálná scéna je pro detekci a lokalizaci obličeje velmi problematická, protože se zde vyskytují rušivé obrazce. Oproti tomu se za ideální dá považovat laboratorní nebo interiérové prostředí, kde jednoduché pozadí, stejnorodé a neměnné pro všechny jedince a má přesně vymezenou vzdálenost od snímací kamery. (1)

4.7.1. DETEKCE A LOKALIZACE TVÁŘE

Pro nalezení zvolené tváře v reálné scéně je základním předpokladem vytvoření počítačového modelu tváře a poté její následné srovnání s každým objektem na scéně, jehož podobnost je vypočítána. Model tváře může být například 2D, 3D, černobílý, barevný nebo infračervený. Díky tomuto srovnání lze konstatovat, zda objekt na scéně je lidská tvář nebo ne. Při tomto srovnání je zároveň i vypočítána pozice tváře na scéně. Detekci a lokalizaci tváře můžeme na základě matematického modelování rozdělit na dva základní typy, a to statisticky orientované metody a metody znalostní – viz Tabulka 2. (1)

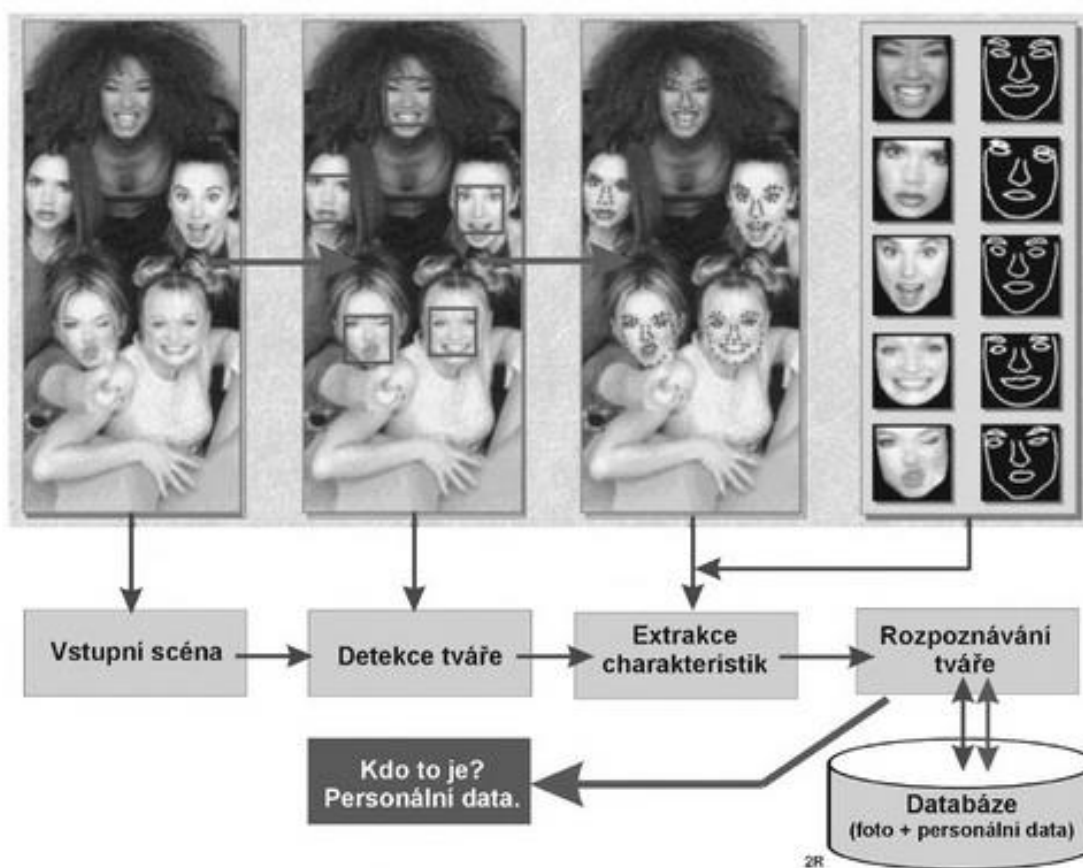
Tabulka 2 Typy metod detekce a lokalizace tváře

Statisticky orientované metody	Znalostní metody
metoda podprostoru	metody založené na rozložení odstínů šedi v obraze
metoda neuronových sítí	metody založené na rozpoznávání obličejových obrysů
	metody založené na informaci o barvách
	metody založené na symetrii
	metody založené na informaci o pohybu na scéně

ZDROJ: Roman Rak, Václav Matyáš, Zdeněk Říha a kolektiv. *Biometrie a identita člověka*

Na Obrázku 7, jsou pak vidět základní etapy, které probíhají při rozpoznávání tváře. (1)

Obrázek 7 Základní etapy rozpoznávání tváře



ZDROJ: Roman Rak, Václav Matyáš, Zdeněk Říha a kolektiv. *Biometrie a identita člověka*

4.7.1.1. METODA PODPROSTORU

Tato metoda má za cíl nalézt v obraze tváře obecné a zároveň markantní znaky typické pro lidskou tvář. To může být například nos, oči, ústa a podobně. Pokud jsou tyto charakteristiky v obraze nalezeny, můžeme říci, že tento obraz je obrazem tváře. (1)

Obraz tváře je považován za vícerozměrný vektor. Každý pixel neboli obrazový bod odpovídá určité obrazové komponentě. Pakliže všechny charakteristiky tváře leží v tom samém podprostoru vícerozměrného prostoru je tento podprostor dobrou reprezentací tváře. Dobrou reprezentací tváře je hlavně proto že obsahuje společné rysy tváře. Detekce tváře je tedy detekce podprostoru, ve které se tvář nachází. (1)

4.7.1.2. METODA NEURONOVÝCH SÍTÍ

Detekce tváře pomocí metody neuronových sítí se považuje za klasifikační problém o dvou třídách. A to sice:

První třída – obrazy tváře

Druhá třída – obrazy, které nejsou obrazy tváře (1)

Naučit aplikaci bezchybně rozpoznávat obrazy obou tříd je základním úkolem této metody. Připravují se pro tyto účely speciální vzorové knihy, které obsahují obrazy obou tříd. Rozpoznávat obrazy druhé tříd je pro neuronové sítě poměrně těžké, vzhledem k tomu, že obrazy, které nepředstavují tváře je hodně. Na kvalitě schopnosti rozpoznávat obrazy druhé třídy, závisí celá detekce tváře. Tato metoda má své slabší místa, a proto se vedou intenzivní výzkumné práce, jak dosáhnout toho, aby se tato metoda efektivně doplnila o další metody a tím eliminovala aktuální nedostatky. Na Obrázku 8 jsou vidět různé podoby jedné a téže tváře různými grafickými prostředky. (1) (17)

Obrázek 8 Zobrazení různé podoby jedné tváře různými grafickými prostředky



ZDROJ: Roman Rak, Václav Matyáš, Zdeněk Říha a kolektiv. Biometrie a identita člověka

4.7.1.3. METODY ZALOŽENÉ NA ROZLOŽENÍ ODSTÍNU ŠEDÍ V OBRAZE

Tato metoda je založena na pravidlech distribuce odstínů šedé barvy v obraze za normálních světelných podmínek. Například v oblasti očí je vždy tmavší odstín než na čele.

(1)

Jedná se o efektivní metodu, která je založena na základě těchto pravidel a je velmi často využívána v praxi. (1)

Mezi nejznámější metodu této skupiny patří metoda mozaiky. Jde o dostatečně efektivní metodu i za předpokladu, že oblast obličeje na snímku je malá anebo nevýrazná. Vychází se zde z přirozeného způsobu rozpoznávání tváře lidským mozkem. (1)

Metoda mozaiky rozděluje zpracovávanou oblast do obrazových bloků, které jsou umístěny do čtvercové sítě 4x4. Uvnitř těchto bloků se nachází oči, ústa, nos, líce a podobně. Pokud se ve zpracovávaném obraze nachází tvář, tak v některých obrazových blocích nachází identifikující markanty tváře, které vyhovují pravidlům distribuce odstínů šedé barvy. Postupně se pak vybírají jednotlivé obrazové bloky a zkoumá se, zda se v nich nachází markanty tváře, které hledáme. (1)

Pokud blok nesplňuje toto pravidlo a není v něm nalezen markant tváře, vyřazuje se z dalšího zpracování. Obrazové bloky, které zůstanou se dělí znovu stejným způsobem do sítě ještě více detailnějších obrazových bloků. Nyní do rozlišení čtvercové sítě 8x8. Pomocí metod detekce hran určíme definitivně pozici markantů, které nám identifikují tvář – oči, nos, ústa a tak dále. (1)

Zpracování obrazu metodou mozaiky je zdlouhavé, a tak se tato metoda kombinuje spolu s dalšími metodami. Je to hlavně z důvodů, aby výsledná kvalita byla co největší a doba zpracování co nejnižší. (1)

4.7.1.4. METODY ZALOŽENÉ NA ROZPOZNÁVÁNÍ OBLIČEJOVÝCH OBRYŠŮ

Za další důležitou charakteristiku tváře považujeme obrys-konturu. Pokud se nám podaří přesně definovat obrys tváře je pak další detekce tváře podstatně jednodušší. Současné algoritmy na detekci hran mají svá omezení, a tak si často nemůžeme být jistí, že jsme skutečně detekovali hrany tváře. I přes to ale lze tyto obrysy tváře efektivně využít v kombinaci s nějakou jinou metodou či přístupem. Detekci kontur, můžeme využít pro nalezení jednotlivých objektů v tváři jako jsou oči, nos, ústa a podobně. Tyto objekty v tváři jsou vstupními charakteristikami pro další metody, které jsou používány v procesu identifikace či verifikace. (1)

Pomocí takzvaného prahování, detekcí hran, segmentace narůstáním oblastí, segmentace srovnáním se vzorcem a podobně lze nalézt obrysy, kontury a hrany objektů. (1)

4.7.1.5. METODY ZALOŽENÉ NA INFORMACI O BARVÁCH

Základní myšlenkou této metody je to, že ačkoliv má každý lidský jedinec barvu kůže obličeje odlišnou, lze i přesto definovat určité zásady, které odlišují obličej od barevně diferencovaného prostředí. Rozložení barev v lidské tváři téže rasy je velmi podobné a lze tedy díky tomu najít obecné oblasti s určitou barvou. Například pro oblast očních důlku je typická barva stínů. Nos je jinak barevně výrazný a jinak ohraničený stíny. Díky varvám je tedy možné efektivně detekovat tvář, která se nachází na scéně. (1)

Za dobrých světelných podmínek je možné barvy dobře rozeznávat díky jednoduchým algoritmům. Problém u této metody vzniká při velice jasném nebo naopak při velmi temném osvětlení. Za těchto podmínek je pro algoritmus těžké rozlišit různé barvy, a to dokonce i když se barvy lidských tváří od sebe výrazně liší, například kvůli odlišným rasám. (1)

V některých případech identifikace či verifikace máme možnost pozadí nebo osvětlení ovlivňovat. (1)

4.7.1.6. METODY ZALOŽENÉ NA SYMETRII

Lidskou tvář můžeme do určité míry považovat za symetrickou. Tuto skutečnost využívá tato metoda. Lze to využít k detekci tváře na scéně. V tomto případě to znamená, že jde o nalezení symetrického obrazce odpovídajícího charakteristikám lidské tváře. (1)

4.7.1.7. METODY ZALOŽENÉ NA INFORMACI O POHYBU NA SCÉNĚ

Tato metoda využívá pro detekci a lokalizaci tváře na scéně časovou sekvenci. Pokud se osoby pohybují vzhledem k pozadí, jejich tváře mohou být rovněž poměrně jednoduše a efektivně detekovány na pozadí scény, a to především díky informaci o pohybu. V praxi se hojně využívá metoda optických toků, která se využívá nejen pro lokalizaci tváře ale i zároveň pro její rozpoznávání. Problémem u této detekce, která je založena na pohybu je především to, pokud je na scéně více osob, které se navíc ještě pohybují různými směry a různými rychlostmi. Tváře se dokonce mohou v takové situaci vzájemně překrývat nebo zakrývat jinými objekty – sloupy, stromy, zdi, jiné objekty a podobně. (1)

4.7.2. ROZPOZNÁVÁNÍ TVÁŘE

Rozpoznávání tváře může probíhat buď dvojrozměrně nebo trojrozměrně. Pokud jde o dvojrozměrnou identifikaci, tak se v obličejích hledají hlavní rysy, což jsou polohy očí, nosu a úst a až poté následuje detekce uší, obočí, rtů a podobně. Porovnání probíhá na základě vzdáleností mezi jednotlivými konkrétními body. Jsou využity toleranční limity. (1)

V dnešní době je jednou z nejvíce zkoumanou metodou právě verifikace obličejů, vzhledem k tomu že se jedná o velmi obsáhlou problematiku. Identifikace je založena na porovnání dvou obrazů, a to sice obrazu, který byl sejmuto kamerou s obrazem, který je již uložen v konkrétní centrální databázi. Pro jednoznačnou identifikaci je využit většinou tvar obličejů. Závisí také na poloze opticky významných míst na tváři osoby. Za opticky významná místa na tváři, lze považovat nos, oči, ústa a obočí. Obraz tváře, který se nachází v počítači může být uložený jako matice jasových úrovní. Bohužel tyto matice bývají často diskriminovány nějakou funkcí a ta snižuje spolehlivost dat. Neukládá se přesná poloha očí,

rtů, nosu a obočí, nýbrž vzdálenost očí od sebe, úhel mezi špičkou nosu a jedním okem či vzdálenost rtů od nosu. (1)

V současnosti už je několik technik rozpoznávání tváře známo. Mezi ty významnější, které se i hojně využívají patří metoda měření geometrických vlastností a metoda porovnání šablon. Do budoucna, až se tyto metody rozpoznání tváře zdokonalí je možné, že zaniknou jiné méně efektivní systémy. Je ale nutné si uvědomit, že nelze klást na systém přehnané nároky. Je velmi velký rozdíl v realizaci systému, který porovnává dva obrazy statické a systému, který ověřuje totožnost jednotlivce ve skupině lidí. (1)

Rozpoznávání tváře má za cíl nalézt rozdílnosti v každé tváři na dané scéně. Tyto rozdílnosti jsou využívány k verifikaci či identifikaci osoby. Aby mohlo dojít k rozpoznávání tváří, nejprve je nutné extrahovat identifikační charakteristiky. Poté dochází k jejich efektivnímu porovnání s charakteristikami známé osoby, které jsou uloženy v databázi. Pro rozpoznávání tváře můžeme využít tyto metody – viz Tabulka 3. (1)

Tabulka 3 Metody pro rozpoznávání tváře

Metody založené na rozložení odstínů šedi v obraze
Metody neuronových sítí
Metoda optických toků
Metody založené na geometrických tvarech a identifikačních markantech
Metoda „Eigenhead“
Metoda deformačních modelů

ZDROJ: vlastní zpracování autora

Mimo výše uvedené metody, samozřejmě ještě existuje velké množství algoritmů, které se dají pro jednotlivé metodologické postupy využít. Jako tři nejlépe prozkoumané algoritmy rozpoznání tváře lze uvést tyto tři, které jsou vedeny v tabulce 4. (1)

Tabulka 4 Algoritmy rozpoznání tváře

Analýza hlavních částí (PCA – Principal Components Analysis)

Lineární diskriminační analýza (LDA – Linear Discriminant Analysis)

Elastický srovnávací diagram (EBGM – Elastic bunch graph matching)

ZDROJ: vlastní zpracování autora

4.7.2.1. METODY ZALOŽENÉ NA ROZLOŽENÍ ODSŤÍNŮ ŠEDI V OBRAZE

Tato metoda využívá metodu mozaiky a je založena na rozložení odstínů šedi v obraze tváře. Využití této metody bylo již zmíněno v kapitole lokalizace tváře, kde se rovněž využívá. I v tomto případě jde o to, že se obraz neznámé osoby rozloží do jednotlivých geometrických bloků mozaiky. Rovněž se provede stejná operace s obrazovým záznamem tváře, uložené v databázi. Poté dochází k porovnání jednotlivých segmentů obrazů neznámé tváře se segmenty obrazu známé tváře. (1)

Zkoumá se také bezprostřední či vzdálenější okolí právě porovnávané dvojice segmentů. Pro porovnávání se využívá n-rozměrných vektorů. V závěrečné fázi se určuje, zda oba dva obrazy tváře, patří stejné osobě. Tímto způsobem se vyhodnocují všechny ostatní referenční obrazy, které jsou uloženy v databázi. Vyhodnocují se do té doby, než je osoba identifikována či verifikována. (1)

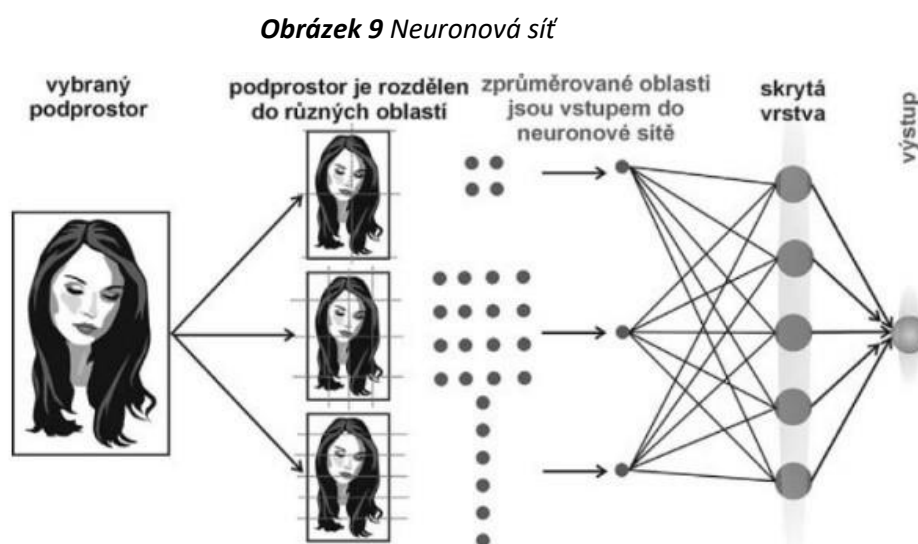
4.7.2.2. METODY NEURONOVÝCH SÍTÍ

Rozpoznávání obličejů prostřednictvím neuronových sítí je metoda, která je rozdělena do dvou skupin podle procesů, jaké vykonává. (1)

Do první skupiny patří neuronové sítě, které jsou využívány pouze ke konečnému rozpoznání tváře, což znamená k identifikaci nebo verifikaci. Předchozí proces, jako je zajištění identifikačních charakteristik – markantů, obstarávají jiné metody nebo algoritmy. (1)

Do druhé skupiny patří neuronové sítě, které jsou využívány kromě konečného rozpoznávání tváře, také k zajištění identifikačních charakteristik – markantů. (1)

Na Obrázku 9 je znázorněna neuronová síť, která je přizpůsobená k identifikaci či verifikaci. (1)



ZDROJ: Roman Rak, Václav Matyáš, Zdeněk Říha a kolektiv. Biometrie a identita člověka

Pro vstupní vzorek je využívána fotografie-snímek subjektu. Fotografie je následně rozdělena dle tří odlišných přístupů. (1)

V prvním případě dochází k rozdělení vstupu do 4 bloků, v druhém případě dochází k rozdělení vstupu do 16 bloků a v případě třetím dochází k rozdělení vstupu pouze v horizontálním směru do 6 bloků. Rozdělení se provádí odlišně z důvodu jiného zaměření hledaných prvků. V rozdělení do 4 bloků se hledají zejména větší charakteristiky, jako jsou oči nebo nos. V rozdělení do 16 bloků se hledají hlavně menší charakteristiky, jako jsou nějaké drobnější markanty – například bod špičky nosu. V rozdělení do 6 horizontálních bloků se hledají hlavně podlouhlé charakteristiky, jako jsou ústa, čelo nebo obočí. (1)

Ve všech případech dochází ke zprůměrování jednotlivých bloků. Tyto zprůměrované bloky slouží jako vstupní hodnoty pro neuronovou síť. Neuronová síť

následně hned porovnává každý jednotlivý vstup a na základě svého předchozího učení vyhodnocuje závěry v rozhodovacím procesu, zda došlo k nalezení shody nebo ne. (1)

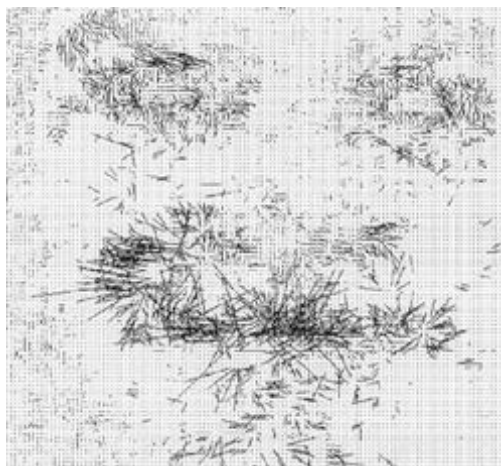
4.7.2.3. METODA OPTICKÝCH TOKŮ

Při metodě optických toků, dochází ke změnám v obrazu, vlivem pohybu. Pokud si představíme že máme určitou sekvenci snímků pohybu hlavy jedné osoby, tak při pozorné analýze zjistíme, že dochází k dynamickým změnám. Tyto dynamické změny jsou změny světelné intenzity mezi odpovídajícími body a obou snímcích a také dochází zároveň k prostorovému pohybu těchto bodů. To lze vyjádřit vektorově. Svůj směr pohybu má každý bod a za určitou časovou jednotku, urazí určitou dráhu. Body, které si odpovídají mají i svou rychlost. Obraz podléhá dvěma změnám, a to:

- **Texturálním – změny intenzity**
- **Strukturálním – prostorové změny (1)**

Mezi dvěma snímky pak lze definovat rozdíly, které jsou vyjádřeny pomocí optického toku. Tyto rozdíly pak můžeme dále využívat pro rozpoznávání pohybu a rovněž pro rozpoznávání tváře. Každou tvář charakterizuje její specifické rozmístění bodů. Optický tok tedy určuje jak charakter tváře, tak i výraz. Na Obrázku 10 jsou vidět optické toky, které vyjadřují úsměv. Je zde vidět markantní pohyb v oblasti očí a úst. (1)

Obrázek 10 Ukázka optických toků vyjadřující úsměv



ZDROJ: Roman Rak, Václav Matyáš, Zdeněk Říha a kolektiv. Biometrie a identita člověka

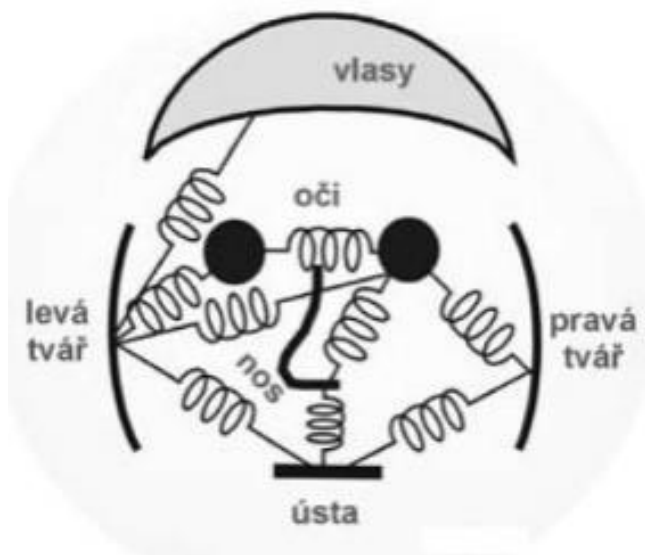
Typicky se tato metoda využívá v úlohách rozpoznávání emocí jejichž automatizované zpracování se intenzivně experimentálně nebo teoreticky ověřuje. Tuto metodu lze využít i lokálně, například ke sledování pohybů rtů při mluvení. (1)

4.7.2.4. METODA ZALOŽENÁ NA GEOMETRICKÝCH TVARECH A IDENTIFIKAČNÍCH MARKANTECH

Jedná se o jednu z nejstarších metod rozpoznávání obličejů, která je důkladně zautomatizován. Jde o metodu, která vychází z metody analyticko-statistické identifikace osoby a je založena na antropometrických poznacích. Tato metoda je doposud stále jednou z nepoužívanějších a nejrozšířenějších v dnešní době. (1) (3)

Metoda stojí na základních, charakteristických, markantních bodech. Jsou zde navíc ještě dopočítávány geometrické tvary jednotlivých markantů obličeje. Tyto tvary a markanty jsou názorně zobrazeny na Obrázku 11. (1)

Obrázek 11 Markantní znaky obličeje



ZDROJ: Roman Rak, Václav Matyáš, Zdeněk Říha a kolektiv. Biometrie a identita člověka

Vzdálenosti mezi jednotlivými markanty a geometrickými tvary představují pružiny, které reprezentují variabilní vzdálenosti mezi body, které patří odlišným obličejům. Obličej je rozčleněn do dílčích částí. Každý tato část – oči, ústa, nos atd., jsou

následně vyjádřeny deformační šablonou nebo případně parametrickým modelem. Z takového modelu se následně spočítá energetická funkce. Ta je ovlivněna nejen jednotlivými vzdálenostmi a obrysy zkoumaného objektu, ale také distribucí odstínu šedi v obraze. Nakonec se porovnává dosažená hodnota energetické funkce. (1) (3)

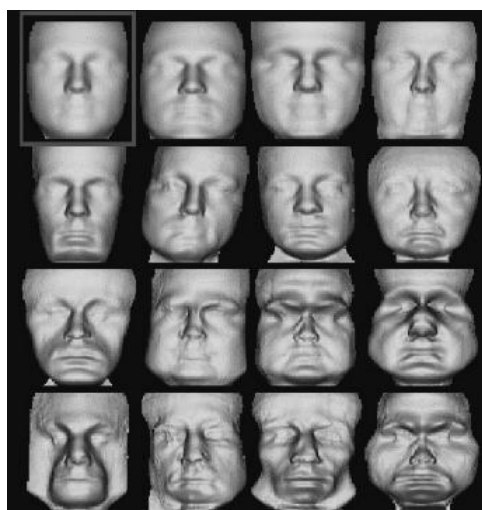
Některé algoritmy se zaměřují na detekci markantních bodů očí, úst a nosu, některé algoritmy se zase zaměřují pouze na oči. Jiné se zase zaměřují na obrys tváře a některé se zaměřují na šířku a délku nosu nebo také umístění úst či brady subjektu. (1)

Mezi největší nevýhodu této metody patří nutnost pořídít kvalitní vstupní snímek. Snímek musí mít dostatečně kvalitní rozlišení. To znamená, že testovaný subjekt musí být dobře nasvícený a musí být také dobře natočený a nasměrovaný, aby byly vidět markanty a nebyly nijak zakryté nebo zastíněné. (1)

4.7.2.5. METODA „EIGENHEAD“

Jde o metodu, která vychází přímo ze svého předchůdce, který se nazývá metoda Eigenface. Ta je využívána ve dvourozměrném prostředí. Metoda Eigenhead využívá tuto stejnou myšlenku k rozpoznávání obličejů, ale v prostředí trojrozměrném. Základní myšlenkou této metody je, že každou tvář je možné získat s pomocí kombinace jednotlivých normalizovaných, třírozměrných modelů tváří. Tyto 3D tváře jsou znázorněny na Obrázku 12. (1) (18)

Obrázek 12 Eigenhead



ZDROJ: Roman Rak, Václav Matyáš, Zdeněk Říha a kolektiv. Biometrie a identita člověka

Základním porovnávacím prvkem této metody je plastický povrch, který tvoří masku obličeje. Využívají se dva odlišné přístupy. (1)

První přístup využívá velké množství snímků, které byly pořízeny za jiných světelných podmínek a tím pádem i odlišným nasvícením tváře. (1)

Druhý přístup využívá pouze jeden snímek. Pro tento snímek se následně simulují a předpokládají stíny s jakými bychom se mohli setkat v praxi. (1)

Při metodě Eigenhead se i modelují jednotlivé svaly obličeje a je možné tak zpracovat velmi detailní a precizní třírozměrné modely obličejů. Využívá se několik různých přístupů k popisu, definici, charakterizaci jednotlivých obličejů. Jako nejčastější, deskriptivní způsoby se uvádí využívání cylindrického, souřadnicového systému. Obličeje jsou následně vyjádřeny prostřednictvím množin bodů v třírozměrném prostoru. Kombinace jednotlivých, normalizovaných hlav – Eigenheads, které odpovídají hlavě zkoumanému subjektu jsou poté vyjádřena kombinační rovnicí. (1)

V této rovnici jsou zaneseny také koeficienty shody dílčích hlav – například shoda z: 30 % Eigenhead 1., + 5 % Eigenhead 2., - 10 % Eigenhead 3. Ve finálním kroku dochází k vypočítání energetické rovnice hlavy. Do té jsou následně zaneseny parametry a ty charakterizují jak hlavu, tak i směr světelného zdroje. (1) (18)

Jedná se o velmi spolehlivou metodou, ale je poměrně nákladná, pomalá a výpočetně náročná. (1)

4.7.2.6. METODA DEFORMAČNÍCH MODELŮ

Tato metoda využívá prostorového modelu obličeje. Nejprve se vytvoří model tváře. Ten je tvořen sítí horizontálních a vertikálních čar a ty jsou na sebe kolmé. Výsledná tvář, mapa obličeje je tvořena rozdílnou hustotou, tedy počtem čar v jednotlivých oblastech obličeje, případně jejich zakřivením. (1)

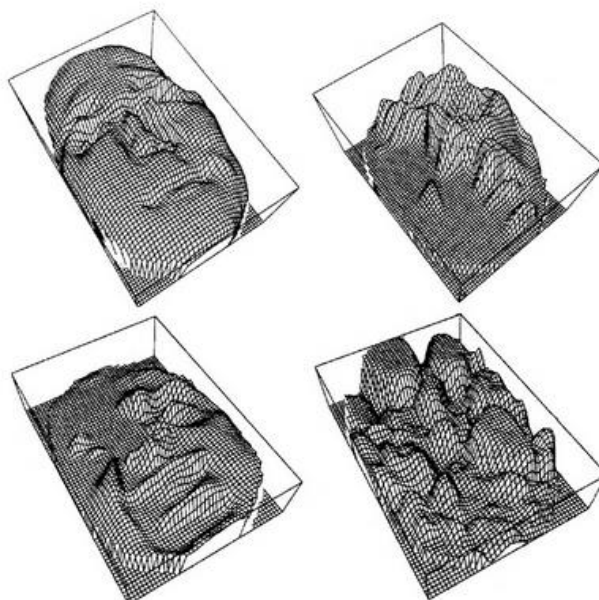
Podle hustoty a zakřivení čar vznikají jednotlivé kontury obličeje, obrysy a následně dochází k vytvoření celkového, prostorového modelu obličeje. Linie, jejich úhly a body jednotlivých částí, což jsou ústa, oči nos atak dále se mění se změnou výrazu či emocí subjektu. Poté, co se vytvoří normalizovaný model obličeje, dojde k jeho porovnávání

s ostatními 3D zakřivenými povrchy. Dochází tedy k elastickému srovnávání dvou zakřivených povrchů. (1)

Příklady korektního a nekorektního vyjádření 3D deformačního modelu obličejů jsou znázorněny na Obrázku 13. Obrázek nahoře vlevo představuje tvář za dobrých světelných podmínek, zatím co obrázek pod ním a napravo od něj představují špatné světelné podmínky. Obrázek vpravo dole pak nepředstavuje tvář ale obecnou texturu.

Každý jedinec má svou vlastní a originální 3D mapu obličeje. Tato metoda má vysokou spolehlivost, ale je výpočetně velmi náročná. (1)

Obrázek 13 Síťový graf definující povrch 3D obrazu



ZDROJ: Roman Rak, Václav Matyáš, Zdeněk Říha a kolektiv. Biometrie a identita člověka

ANALÝZA HLAVNÍ ČÁSTI (PCA)

Tato analýza využívá vektory tváře, které jsou odvozeny z kovarianční matice pravděpodobnostní distribuční funkce, aby vytvořili šablony vhodné pro srovnávání. Každou tvář je možné rozdělit na tak zvané eigenfaces, což v překladu znamená vzory tváří neboli matice jasových úrovní. Tyto eigenfaces, lze pak poté opět složit. Každá eigenface je zastoupena číslem, to znamená, že se místo obrázku ukládá pouze číslo. (1)

LINEÁRNÍ DISKRIMINAČNÍ ANALÝZA (LDA)

Jedná se o metodu, při které se pořízené obrazy třídí do kategorií. Cílem je maximalizace rozdílů mezi jednotlivými kategoriemi, a naopak minimalizovat rozdíly v rámci kategorie. Každý blok snímků pak představuje jednu kategorii. (1)

ELASTICKÝ SROVNÁVACÍ DIAGRAM (EBGM)

Tato metoda byla vyvinuta, protože předchozí metody nemohly brát v potaz nelineární charakteristiky jako je třeba osvětlení okolí, výraz tváře nebo pozice hlavy. Při této metodě se na obličejích definují uzlové body a ty se poté propojí. Tím se definují linie tváře v prostoru a vznikne souřadnicová síť obličeje. Rozpoznání tváře pak probíhá na základě toho, že systém pomocí filtru uzlových bodů, reaguje na jednotlivé snímané tváře. Ty poté může porovnat a vyhodnotit. Jako problém se ale jeví přesnost lokalizace orientačních bodů na tváři. To lze vyřešit kombinací s LDA nebo PCA. (1)

Identifikace na základě geometrie tváře je v současnosti velmi moderní a stále se rozrůstající princip. Velkému využití se jí dostává na letištích, nádražích, rušných ulicích a jiných frekventovaných místech, kde by se mohly pohybovat hledané a pohřešované osoby. (1)

4.8. IDENTIFIKACE OSOBY NA ZÁKLADĚ FOTOGRAFICKÉHO PORTRÉTU

Biometrické systémy, které rozpoznají osobu na základě obličeje byly vyvíjeny již od 60 let 20. století, zejména sovětské techniky byly ve své době velmi pokrokové. Celý proces vývoje se zabýval na počátku nejdříve tím, jak vlastně funguje takový proces rozpoznávání obličejů u lidí, jako takových, aby bylo možné tyto postupy následně uměle reprodukovat, případně zautomatizovat v elektronické digitální podobě. Vědci zjistili, že lidský mozek od sebe rozeznává jednotlivé obličeje na základě takzvaných markantních bodů neboli markantů. Ty jsou do jisté míry jedinečné pro každou osobu a jsou to charakteristické a významné znaky. (1)

Každý normálně vyvinutý a zdravý jedinec vlastní z určitého hlediska stejné identifikační prvky. To jsou například oči, nos, ústa, uši, lícní kosti atd. Z makro hlediska lze usoudit, že lidé jsou stejní – počet končetin, očí, prstů... Z mikro hlediska tomu tak ale není

a biometrie tak využívá drobných detailů, ve kterých se lidé odlišují. Každá osoba má odlišné tvary, velikosti, hloubku, zaoblení, či odstín jednotlivých identifikačních znaků - markantů. (1) (18)

Ty nejdůležitější rozeznávací markanty obličeje jsou znázorněny na Obrázku 14. Jsou nimi například vnitřní a vnější koutky oka, body očních víček, body obočí, vnější body rtů, body špičky nosu či bodu, kde nos přechází v čelo, body lícních kostí případně spodní body čelisti. (1) (19)

Obrázek 14 Významné markanty na obličeji



ZDROJ: <https://eforensicsmag.com/biometric-facial-recognition-database-systems/>

5. PRAKTICKÁ ČÁST PRÁCE

Praktická část práce pojednává o použitých zařízeních, postupu měření a vyhodnocení naměřených hodnot. Použitá zařízení jsou dvě biometrické čtečky a luxmetr. Je zde i podrobně popsán popis měření, kde a jak měření probíhalo a jak byly nasimulovány ztížené podmínky. V závěru praktické části je vyhodnocení a jsou zde i uvedeny výsledky FRR – míra chybného odmítnutí.

5.1. POUŽITÁ ZAŘÍZENÍ

V této kapitole se nachází zařízení, která byla v průběhu práce a procesu měření použita. Nachází se zde také jejich popis, a i případný způsob využití a také pracovní podmínky, které jsou již stanovené výrobcem biometrických čteček.

5.1.1. Aktion AFT-500 – ČTEČKA ČÍSLO 1

Biometrická čtečka Aktion AFT-500 je tvořena terminálem s vestavěným systémem rozpoznávání tváří, integrovaným snímačem karet a klávesnicí. Tento terminál je určen pro systémy časové evidence docházky a řízení přístupu osob. Jedná se o biometrickou čtečku obličejů, která podporuje identifikaci (1:N) a rovněž i verifikaci (1:1). Metoda verifikace je možná s kombinací RFID karty/čipu, případně PIN kódu. Procesor čtečky má frekvenci 600 Mhz. (20) (21)

Jak lze vidět na Obrázku 15, přední panel čtečky je zkosený a jsou na něm ovládací prvky, které umožňují snadnou obsluhu a ovládání. Zařízení je schopné pracovat samostatně nebo ve spojení s řídící jednotkou Aktion. Správa a administrace je také možná prostřednictvím počítače. (20) (21)

Obrázek 15 Terminál AFT-500



ZDROJ: <http://shop.efg.cz/z19476-aft-500>

Provozní podmínky použití jsou stanovené výrobcem od 0 do 40 °C, 0-8000 lx, výška montáže zařízení 110-120 cm a vzdálenost od čtečky 30-80 cm. (20) (21)

Jak lze vidět na Obrázku 16, čtečka obsahuje jednoduché menu, které je uživatelsky přívětivé a každý uživatel tak zvládne její obsluhu. Výhodou je mimo jiné i české menu. (20)

Obrázek 156 Menu čtečky Aktion



ZDROJ: https://www.aktion.cz/aktion_cs/download/katalogove-listy/AFT-500.pdf

Čtečka využívá kamery s vysokým rozlišením a také citlivostí na NIR, v horších světelných podmínkách využívá čtečka NIR přísvit. Biometrická čtečka nepodporuje identifikaci osob, které nosí dioptrické brýle. Při identifikaci/verifikaci je tedy nutné vždy brýle odložit po dobu rozpoznávání uživatele. Výrobce udává rychlost identifikace osoby do 1 sekundy, pokud je v čtečce uloženo maximálně 500 obličejových šablon. (21) (22)

Uživatel může být autentizován pomocí jednotlivých metod nebo jejich kombinacemi, které jsou uvedeny v tabulce 5.

Tabulka 5 Autentizační možnosti

Biometrie obličeje	RFID karty	PINu a biometrií obličeje	RFID karty a biometrií obličeje
--------------------	------------	---------------------------	---------------------------------

ZDROJ: vlastní zpracování autora

Zařízení je zkonstruováno s krytím IP54, které umožňuje použití i ve venkovních prostorech, kde lze očekávat vyšší možnost kontaktu s vodou. (21)

Stručná charakteristika (20)

- Dvojitý senzor rozpoznávání tváře,
- FAR <0,0001%
- Kapacita 500 osob
- Rychlost vyhodnocení do 1 sec.
- Rozpoznávací vzdálenost 30-80 cm
- Ethernet 10/100 Mbs
- Hmotnost 0,5 Kg
- Barevný TFT displej 3.5"
- Dotyková klávesnice s 16 tlačítky
- Max. proudový odběr 500 mA
- Typ snímače pouze pro čtení
- Optická a zvuková signalizace
- Provozní teploty od 0 do 40 °C
- Rozměry 200x95x115 mm
- Stupeň krytí IP54
- Paměť 4 GB až pro 70 000 obrázků
- Datové rozhraní Wiegand 26 bitů
- Dosah čtení max. 5 cm (karty formátu ISO)

5.1.2. Multibio 700 – ČTEČKA ČÍSLO 2

Čtečka MultiBio 700, kterou lze vidět na Obrázku 17, je nejmodernější multi-biometrický systém řízení přístupu. S elegantní, robustní a ergonomickým designem, kombinuje rozpoznávání obličeje, otisků prstů a PIN přidaná možnost integrovaného RFID modulu. Je vybavená nejnovější identifikačním algoritmem. Zachycuje relativní polohu, velikost a tvar uživatelských očí, nosu, lícních kostí a čelisti. Čtečka umožňuje funkci identifikace (1:N) i verifikace (1:1). (22) (23) (24) (25)

Obrázek 167 Čtečka MultiBio700



ZDROJ: http://www.zkteco.com/product/MultiBio700_241.html

Tyto šablony funkcí se používají pro porovnávání údajů o vlastnostech, když se uživatelé registrují na terminálu, konvertují zachycené funkce na hodnotu a porovnávají je s cílem eliminovat rozpory. Díky integraci s nejnovější a nejmodernější verzí algoritmu pro otisků prstů, ZK Finger 10.0, zajišťuje vysokou přesnost identifikace otisků prstů. (22)

Zařízení je vybaveno kamerou s vysokým rozlišením a podporou NIR (near infrared, blízké IR záření) a přísvitem v podobě IR LED, který se využívá v případě horších světelných podmínek. (22) (23)

Provozní podmínky použití jsou stanovené výrobcem od 0 do 45 °C, 0-800 lx, vlhkost od 20 do 80 %, výška montáže zařízení 120 cm a vzdálenost od čtečky 30-80 cm. (22) (23)

Terminál řízení přístupu může pracovat v samostatném režimu, ale také se dokonale slučuje společně s aplikacemi jiných výrobců jako elektrický zámek, alarm, zvonek a venkovní snímač. I právě díky tomu, že MultiBio 700 je jeden z nejlepších a nejkompaktnějších multi-biometrických terminálů pro řízení přístupu na současném trhu. Mimo jiné tato čtečka dokáže udržet v paměti až 3000 tváří a až 5000 šablon otisků prstů. (22) (23)

Stručná charakteristika (24)

- Provozní teploty od 0 do 45 °C
- Dotykový TFT displej 3.5"
- Kapacita až 3000 tváří
- Umožňuje komunikaci s PC přes Ethernet
- Uloží až 100 000 záznamů v protokolu bez stahování z počítače
- infračervený optický systém
- Rozměry 275x100x195 mm
- Hmotnost 0.87 Kg
- 50 časových pásem, 99 skupin a 10 kombinací odemknutí
- Standardní SDK
- Přísvit IR LED
- Identifikace i verifikace
- Elegantní ergonomický design

5.1.3. Luxmetr – CEM-DT 8809A

Pro zajištění správných podmínek pro měření spolehlivosti příslušných biometrických čteček pro rozpoznání tváře je nutné využít luxmetr.

Jde o měřicí přístroj, který měří intenzitu osvětlení. Intenzita osvětlení je fotometrická veličina. Tato veličina je definovaná jako světelný tok, který dopadá na jednotku plochy. Lze tedy říci, že je podílem světelného toku, který se udává v lumech a plochy, která se udává v metrech čtverečních. Intenzitu osvětlení značíme E a její jednotkou je lux (lx). (26)

Luxmetr se skládá z dvou základních částí – přijímače, který obsahuje fotočlánek a vyhodnocovacího systému. Dle stupně přesnosti můžeme luxmetry rozdělit na laboratorní,

provozní a luxmetry určené pro orientační měření, které jsou nejméně přesné. Laboratorní luxmetr se nejčastěji využívá pro měření světelně technických vlastností světelných zdrojů, svítidel v laboratořích a také pro posouzení osvětlení prostorů, které mají vysokou zrakovou náročnost práce například pro výzkumné experimenty. Provozní luxmetry jsou využívány pro měření světelně technických vlastností v terénu. Dále pak na ověření, zda jsou zajištěny osvětlovací soustavou předpokládané nebo požadované parametry. Jde, ale o méně přesné luxmetry než laboratorní, ale bývají odolnější. (27)

Pro tuto diplomovou práci byl zvolen Luxmetr-CEM-DT 8809A, který je vidět na obrázku 18. Jedná se o Profesionální Luxmetr s velkým LCD digitálním displejem. Rozsah jeho měření je 0,1 až 40000 luxů s přesností 5 %. Má možnost přepínání Lux / Fc a disponuje módy Min/Max/Rel/Data hold. Pro přenos dat je vybaven USB portem. (28)

Obrázek 17 Luxmetr-CEM-DT 8809A



ZDROJ: fotografie autora

5.2. POSTUP MĚŘENÍ

V této kapitole je podrobně popsán postup měření. Co bylo zapotřebí a jak bylo postupováno při měření. Bylo nutné zajistit laboratoř, příslušně biometrické čtečky, ztížené podmínky, získat dobrovolníky pro měření, nasimulovat ztížené podmínky a ty poté naměřit. Výstupem celého měření je vyhodnocení.

5.2.1. LABORATOŘ

Pro měření bylo třeba zajistit místnost, kde bude měření prováděno, aby nedocházelo k tomu, že bude měření probíhat na více místech a tím by docházelo k ovlivnění konstantních podmínek.

Byla zvolena laboratoř katedry, kde byly biometrické čtečky přítomny. Čtečky byly zabudovány na jednom společném panelu.

Obrázek 18 Laboratoř katedry

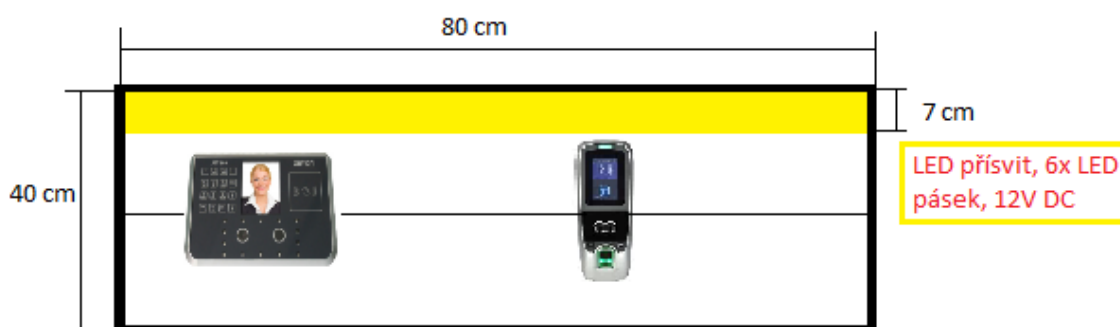


ZDROJ: fotografie autora

5.2.2. BIOMETRICKÉ ČTEČKY

K měření byly využity dvě biometrické čtečky obličeje, a to biometrická čtečka Aktion AFT-500 a biometrická čtečka Multibio 700. Pro obě byly nasimulovány stejné ztížené podmínky. Obě tyto čtečky jsou umístěny na panelu, jehož grafické znázornění lze vidět na obrázku 20.

Obrázek 19 Znázornění laboratorního panelu



ZDROJ: vlastní zpracování autora

Na obrázku 21 je pak vidět reálná fotografie panelu se čtečkami, který je umístěn v laboratoři. Mimo jiné je na fotografii i vidět LED pásek, který se skládá ze šesti metrových pásků a každý z nich má 30 vysoce svítících RGB LED – celkem má tedy tento LED pásek 180 svítících RGB LED.

Obrázek 20 Reálná fotografie laboratorního panelu



ZDROJ: fotografie autora

5.2.3. ZTÍŽENÉ PODMÍNKY

Ztížené podmínky jsou v tomto případě všechny možné faktory, které mohou ovlivnit spolehlivost systémů pro rozpoznání tváře. Pro svou práci jsem zvolila tyto ztížené podmínky: hnědá paruka kudrnatá, černá paruka rovná, sluneční brýle, dioptrické brýle, zimní čepici, kšiltovku, výrazný make-up, zašpinění obličeje uhlím, sken přes folii a dále pak budou vytvořeny umělé světelné podmínky. V jednom případě půjde o zajištění, co největší tmy a v druhém případě o zajištění, co nejvíce světla, což bude zajišťovat LED pásek. Pro tmou bude místnost laboratoře zatemněna. V následující tabulce 6 jsou sepsány a vyfoceny jednotlivé rekvizity, které budou využity pro měření.

Tabulka 6 Seznam ztížených podmínek a jejich fotografie

<p>Dioptrické brýle</p>	 A pair of black-rimmed dioptrické brýle (glasses) lying on a light-colored wooden surface.
<p>Sluneční brýle</p>	 A pair of red-rimmed sluneční brýle (sunglasses) lying on a light-colored wooden surface.

Černá paruka s ofinou



Tmavě hnědá kudrnatá paruka



Zimní čepice



Kšiltovka



<p>Folie</p>	
<p>Tma</p>	
<p>LED pásek</p>	
<p>Make up</p>	

Zašpinění uhlím



ZDROJ: vlastní zpracování autora

5.2.4. SIMULACE ZTÍŽENÝCH PODMÍNEK

Dioptrické brýle – Uživatel využije obyčejné dioptrické brýle s černými obroučky.

Sluneční brýle – Uživatel si nasadí na obličej sluneční brýle s červenými obroučky.

Černá paruka s ofinou – Uživatel si na hlavu nasadí černou rovnou paruku s ofinou, tak aby nebyly vidět jeho vlastní vlasy.

Tmavě hnědá kudrnatá paruka – Uživatel si na hlavu nasadí tmavě hnědou kudrnatou paruku bez ofiny, tak aby nebyly vidět jeho vlastní vlasy.

Zimní čepice – Uživatel si nasadí na hlavu zimní čepici

Kšiltovka – Uživatel si nasadí na hlavu kšiltovku

Folie – Pro sken skrz folii je využita folie, která se využívá pro zakládání dokumentů do šanonů takzvané euro desky.

Tma – Tato ztížená podmínka byla nasimulována pomocí tmavé deky. Okna laboratoře jsou utěsněna pomocí krabice a tmavé deky. Mimo jiné je pro absolutní tmu (0 lx) zakryt i dobrovolník spolu se čtečkou.

LED Pásek – Led pásek je umístěn nad panelem, kde jsou umístěny biometrické čtečky. Skládá se ze 6 pásků a každý pásek obsahuje 30 vysoce svítících RGB LED. Led pásek se ovládá pomocí dálkového ovladače. Při osvětlení LED páskem je průměrná hodnota osvitu tváře 850 lx.

Make up – Uživatel má na rtech sytě červenou rtěnku, na tváře je nanesena vrstva tvářenky, oční víčka jsou pokryta tmavě modrými stíny. Toto nalíčení bylo stejné pro ženy i muže bez výjimek.

Zašpinění uhlím – Obličej uživatele je zašpiněn uhlím. Uhlím je vytvořena vrstva špíny na tváři.

5.2.5. UŽIVATELÉ

Pro zjišťování spolehlivost systémů pro rozpoznání tváře bylo kromě nasimulování ztížených podmínek potřeba i několik málo dobrovolníků. Celkem se měření zúčastnilo 10 osob a to sice: 6 mužů a 4 ženy. Dobrovolníci byli ve věku od 23 do 27 let. Nikdo z nich nebyl do měření nucen a všichni měření podstoupili zcela dobrovolně.

Dobrovolníci absolvovali měření na dvou biometrických čtečkách značky Aktion AFT-500 a Multibio 700. Obě čtečky měly za úkol identifikovat osobu za stejných ztížených podmínek.

5.2.6. POSTUP MĚŘENÍ

Samotné měření představovalo si co nejefektivněji zorganizovat jednotlivé ztížené podmínky za sebou, aby se zbytečně neprodlužoval celý proces měření.

Jako první bylo nutné každého dobrovolníka nahrát jako uživatele do čtečky a pořídit jeho referenční snímek. Referenční snímek se pořizoval bez brýlí za běžného denního světla.

Od kvality referenčního snímku se poté odvíjel celý čas měření, neboť, kdo neměl kvalitní referenční snímek představoval pro čtečku problém s ověřením.

Celkově bylo nasimulováno celkem **11** ztížených podmínek za kterých se provádělo měření. Jako první se měřil čas snímání při nasazení brýlí. K dispozici byly jak brýle dioptrické, tak brýle sluneční. Jako další následovalo měření s pokrývkou hlavy, jako byla zimní čepice a kšiltovka. Mezi pokrývkou hlavy lze zařadit i paruky. Ty byly použity také dvě – černá rovná s ofinou a tmavě hnědá kudrnatá bez ofiny. Poté následoval sken skrz folii, pro toto měření byly zvoleny průhledné euro desky. Dále se simulovala situace, kdy byla tma. To bylo zajištěno utěsněním oken laboratoře, aby se do laboratoře nedostalo světlo. Naopak pro větší množství světla v místnosti byl použit přísvit v podobě LED pásku, který lze ovládat dálkovým ovladačem

a různě nastavit jeho intenzitu. Na závěr došlo k použití výrazného make-upu, jak u žen, tak u mužů. Byla použita sytě červená rtěnka, výrazná tvářenka a tmavě modré oční stíny. Jako poslední se měřila doba snímání při zašpinění obličeje uhlím.

U všech těchto ztížených podmínek, byl sledován čas ověření či neověření uživatele u obou čteček. Čas pro stanovení nepřijetí byl určen na 10 vteřin. Pokud osoba nebyla identifikována do 10 vteřin byla identifikace považována za neúspěšnou a do tabulky měření bylo toto měření označeno **X**.

Veškeré měření bylo zaznamenáno do příslušných tabulek a všechny jsou v přílohách této diplomové práce.

Do tabulek byly vždy zaznamenány časy jednotlivých měření konkrétní ztížené podmínky. Ztížených podmínek bylo nasimulováno celkem 11, každá ztížená podmínka se měřila 10x a měření probíhalo na 2 biometrických čtečkách. Celkově tedy šlo o 220 měření každého dobrovolníka, jak vyplývá z tabulky 7 a 8.

Tabulka 7 Měření na čtečce Aktion AFT-500

identifikační číslo 2222		V. Smetanová								
Aktion AFT-500										
Měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sluneční brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Dioptrické brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kšiltovka	2,2	3,2	2,4	2,6	4,5	2,1	1,9	1,7	1,5	3
Zimní čepice	4	1,5	1,7	1,3	1,4	2	2,1	2	2,4	1,9
Kudrnatá paruka	3	1,7	1,6	4	x	3,4	3,4	3	3,1	2,9
Rovná paruka s ofinou	2,2	2,3	1,9	2,6	2,4	1,6	2,1	3,2	4,1	1,9
Folie	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
LED pásek	1,1	1,3	1,1	0,9	1,6	1,5	1,1	0,9	1	1,1
Tma	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Zašpinění uhlím	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Make up	2	1,9	1,7	1,4	1,3	1,3	1,1	1,5	1,2	1,3

ZDROJ: vlastní zpracování autora

Tabulka 8 Měření na čtečce Multibio 700

Multibio 700										
Měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sluneční brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Dioptrické brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kšiltovka	x	x	x	6,1	2,5	3,7	x	5	3,9	3,2
Zimní čepice	4,3	3	3,2	4	3,8	3,6	2,2	3,8	4	3,8
Kudrnatá paruka	3,2	3,3	2,5	2,9	2,6	3,1	2,5	2,5	3	3,4
Rovná paruka s ofinou	22	1,9	1,4	1,6	2,1	2,2	2,5	1,9	1,7	2
Folie	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
LED pásek	1,1	1,2	1,3	1,1	1	0,8	1,3	1,1	1,2	1,4
Tma	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Zašpinění uhlím	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Make up	7,2	4,8	x	x	x	x	8,1	x	x	x

ZDROJ: vlastní zpracování autora

Pro vyhodnocení výsledků měření bylo zapotřebí nejdříve zprůměrovat všechny časy měření, které proběhly. To je znázorněno v tabulce 9.

Tabulka 9 Průměrné časy přijetí při měření

Průměry	Aktion AFT-500	Multibio 700
Sluneční brýle	x	x
Dioptrické brýle	x	x
Kšiltovka	1,72	2,2
Zimní čepice	2,13	1,07
Kudrnatá paruka	2,18	2,31
Rovná paruka s ofinou	1,93	1,95
Folie	x	x
LED pásek	1,29	1,52
Tma	x	x
Zašpinění uhlím	1,51	2,07
Make up	1,49	2,38

ZDROJ: vlastní zpracování autora

Pro získání údajů o spolehlivosti bylo zapotřebí využít vzorec, který určí míru chybného přijetí. Tento vzorec je součástí jedné ze dvou základních druhů biometrických chyb a zní takto:

$$FRR = \frac{N_{FR}}{N_{EIA}} = \frac{N_{FR}}{N_{EVA}} \quad \%$$

FRR – míry chybného odmítnutí

N_{FR} – počet chybných odmítnutí

N_{EIA} – počet pokusů oprávněných osob o identifikaci

V tabulce 10 jsou uvedeny počty pokusů oprávněných osob o identifikaci (**N_{EIA}**) a počty chybných odmítnutí **N_{FR}** čtečky Aktion AFT-500 a čtečky Multibio 700.

Míra chybného odmítnutí je pak vyjádřena ve třetím sloupci pomocí příslušného vzorce.

Tabulka 10 Míra chybného odmítnutí čtečky Aktion AFT-500 a Multibio 700

	Aktion AFT-500			
	Počet pokusů oprávněných osob o identifikaci (N_{EIA})	Počet chybných odmítnutí (N_{FR})	Míra chybného odmítnutí (FRR)	FRR v %
Sluneční brýle	100	100	1,00	100
Dioptrické brýle	100	100	1,00	100
Kšiltovka	100	12	0,12	12
Zimní čepice	100	35	0,35	35
Kudrnatá paruka	100	51	0,51	51
Rovná paruka s ofinou	100	22	0,22	22
Folie	100	100	1,00	100
LED pásek	100	0	0,00	0
Tma	100	100	1,00	100
Zašpinění uhlím	100	3	0,03	3
Make up	100	33	0,33	33

	Multibio 700			
	Počet pokusů oprávněných osob o identifikaci (NEIA)	Počet chybných odmítnutí (NFR)	Míra chybného odmítnutí (FRR)	FRR v %
Sluneční brýle	100	100	1,00	100
Dioptrické brýle	100	100	1,00	100
Kšiltovka	100	33	0,33	33
Zimní čepice	100	44	0,44	44
Kudrnatá paruka	100	51	0,51	51
Rovná paruka s ofinou	100	51	0,51	51
Folie	100	100	1,00	100
LED pásek	100	0	0,00	0
Tma	100	100	1,00	100
Zašpinění uhlím	100	28	0,28	28
Make up	100	25	0,25	25

ZDROJ: vlastní zpracování autora

5.3. VYHODNOCENÍ

K vyhodnocení celého měření je nutno říct, že celé měření záviselo na několika faktorech, které měření dost ovlivňovaly. Jako první lze uvést lidský faktor. Lidský faktor je běžnou chybou při měření. Nikdo není vždy natolik přesný, aby stopky zmáčknul přesně ve správný moment. Proto je nutné počítat s určitou odchylkou, která je způsobena lidským faktorem.

Jako další ovlivňující faktor lze považovat samotné uživatele. Každý uživatel se před čtečku postaví jinak, každý také nahraje jiný referenční snímek a záleží také na jeho mimice při snímání. Mimo jiné se také při měření ukázalo, že velmi záleží na tom, jak si daný subjekt nasadí například čepici na hlavu.

5.3.1. Dioptrické a sluneční brýle

U brýlí, jak dioptrických, tak slunečních nedošlo ani jednou k ověření uživatele, jak u čtečky Aktion AFT-500, tak u čtečky Multibio 700. Vzhledem k tomu, že pro nahrání

referenčního snímku uživatele, obě dvě čtečky vyžadovaly, aby uživatel neměl nasazené dioptrické brýle, dalo se očekávat, že při snímání s nimi poté nebude ověřen. Míra chybného odmítnutí byla u obou čteček při měření, jak s dioptrickými, tak i se slunečními brýlemi vždy 100 %. Čtečky uživatele s brýlemi, zkrátka vůbec neověřily.

5.3.2. Kšiltovka a zimní čepice

Při měření se **zimní čepicí**, hrál velkou roli samotný uživatel. Každý k tomu přistupoval jinak a umístil si čepici na hlavu, tak jak je zvyklý nebo jak mu to bylo pohodlné. Došla jsem tedy k závěru, že při měření subjektů v zimní čepici záleželo na tom, jak moc si ji na hlavu nasadili. Subjekty, kteří si čepici dali na hlavu až k úrovni očí a měli zakryté uši, čtečka neověřila. Naopak subjekty, které čtečka ověřila, měly zimní čepici nasazenou jen na začátek čela a zakryté uši, čtečka víceméně bez problému poznala. Rozdíl v nasazení je vidět na obrázku 22, kde jeden z uživatelů demonstruje tento problém.

Obrázek 21 Nasazení zimní čepice



ZDROJ: fotografie autora

Pokud bylo čelo více vidět jako je tomu na obrázku vlevo, byl uživatel téměř vždy ověřen. Jestliže si však uživatel nasadil čepici více na hlavu čtečky přestaly uživatele rozpoznávat a docházelo k jejich neověření.

Ten samý problém byl zaznamenán s **kšiltovkou**. Její nasazení záleželo na uživateli a poté také na tom, jak se ke čtečce postavil. Kšilt totiž ubíral množství světla, které dopadalo na tvář uživatele, a tak docházelo ke ztížení identifikace. Měření se provádělo pouze s kšiltem dopředu a velmi záleželo, jak moc měl uživatel kšilt nastavený.

Pokud byl kšilt spíše nakloněný nahoru, dopadalo na tvář uživatele více světla, a tak čtečky dokázaly uživatele ověřit. Pakliže uživatel měl kšilt více sklopen dolů, docházelo často k neověření uživatele.

Míra chybného odmítnutí u kšiltovky u čtečky Aktion AFT – 500 byla 12 % a u čtečky Multibio 700 činila 33 %.

U zimní čepice čtečka Aktion AFT – 500 měla míru chybného odmítnutí 35 % a u čtečky Multibio 700 celých 44 %.

5.3.3. Černá paruka s ofinou a hnědá kudrnatá paruka

U paruk bylo zaznamenáno hned několik ovlivňujících faktorů. Jeden z nich byl ten, že záleželo, zda žena nahraje referenční snímek s rozpuštěnými vlasy či s vlasy v culíku. Dále hrála roli přírodní barva vlasů a také zda se jednalo o ženu či muže vzhledem k referenčnímu snímku a délce vlasů.

Černá rovná paruka s ofinou lépe přijímala uživatele, kteří měli své přírodní vlasy alespoň trochu v obličeji – ofina, patka... na referenčním snímku. Hnědá kudrnatá paruka nezakrývala uživateli čelo, ale vytvářela pro změnu větší objem.

Mimo jiné také u paruk velmi záleželo, zda vlasy paruky vstupovaly do obličeje při snímání nebo ne. Pokud byly vlasy zachyceny o ramena, tak pro čtečku nepředstavovaly příliš velký problém. Pokud ale vlasy byly volně a při snímání překážely v obličeji, čtečka často uživatele neověřila. A opět zde hráli roli uživatelé a to, jak si paruku na hlavu nasadili.

Problém s neověřením kvůli vlasům v tváři byl celkem běžný i bez paruky. Na následujících fotografiích jsou vidět rozdíly v nasazení paruky uživateli.

Obrázek 22 Fotografie uživatelů s černou parukou



ZDROJ: fotografie autora

Na fotografii vlevo je vidět, že uživatel si nasadil paruku spíše s patkou než ofinou oproti fotografii vpravo, kdy je vidět ofina.

Míra chybného odmítnutí činila u čtečky Aktion AFT- 500 22 % a u čtečky Multibio 700 to bylo 51 %.

Obrázek 23 Fotografie uživatelů s kudrnatou parukou



ZDROJ: fotografie autora

Na fotografii vlevo je vidět, že paruka jaksi usekla uživateli čelo a má tam ostrou linii, zatímco uživatel vpravo má čelo vidět.

Míra chybného odmítnutí byla u čtečky Aktion AFT – 500 i u čtečky Multibio 700 stejná, tedy 51 %.

5.3.4. Folie

Sken skrz folii nebyl úspěšný. Zřejmě záleží, jak moc je folie průhledná a také, jak blízko je umístěna u obličeje uživatele. Za celé měření se podařilo pouze jednou ověřit uživatele skrz folii. Jednalo se však o zcela průhlednou folii nikoli euro desky, které byly zvoleny pro toto měření. Skrz folii eurodesek je uživatel přes folii sice vidět, ale nejsou vidět jeho hlavní obličejové linie, a tudíž tedy ani nemůže dojít k ověření uživatele.

Pokud by pro měření byla zvolena jiná, více průhledná folie, kde by byly více vidět obličejové linie, lze předpokládat, že by došlo, alespoň v několika případech k ověření uživatele.

Míra chybného odmítnutí byla u této ztížené podmínky 100 % u čtečky Aktion AFT – 500 i u čtečky Multibio 700. Čtečka uživatele skrz folii tedy nedokáže ověřit.

5.3.5. LED pásek

Při měření s **LED páskem** nedocházelo k žádným problémům s ověřením uživatele. Světelný přísvit, který LED pásek poskytoval, byl naopak velmi vítaný a přispíval ke kratší době identifikace uživatele.

Míra chybného odmítnutí byla u obou čteček 0 % a vždy došlo při použití LED pásku k ověření uživatele.

5.3.6. Tma

Při měření **za tmy (0 lx)**, nikdy nedošlo k ověření uživatele. Lze tedy říci, že ani jedna ze dvou čteček si neporadí s identifikací za naprosté tmy a je tedy nutné pro čtečku využít přísvit nebo ji umístit někam, kde budou světelné podmínky přijatelné a dojde k ověření uživatele.

Míra chybného odmítnutí jak u čtečky Aktion AFT – 500, tak i u čtečky Multibio 700, činila 100 %.

5.3.7. Make-up

Měření s **výrazným make upem** nejevilo žádné problémy s ověřením. Lze se domnívat, že barvy v obličejí nemají na čtečku významný vliv. Vliv měl výrazný make-up pouze na prodloužení doby, než došlo k ověření. Toto prodloužení doby bylo většinou o něco delší u mužů, neboť jejich referenční snímky nebyly pořízeny s make upem, jako tomu bylo u žen.

Míra chybného odmítnutí u čtečky Aktion AFT – 500 byla 33 %, zatímco u čtečky Multibio byla tato hodnota nižší a činila 25 %.

5.3.8. Zašpinění uhlím

Ušpiněný obličej uhlím oproti výraznému make upu jevil větší problémy. Některé subjekty vůbec nepřijal a jiné zase bez problému. Velmi záleželo na pořízeném referenčním snímku a na tom, jak se uživatel ke čtečce postavil. Zašpinění uhlím je ukázáno na obrázku 27.

Obrázek 24 Fotografie uživatelů s obličejem zašpiněným uhlím



ZDROJ: fotografie autora

Míra chybného odmítnutí v případě ztížené podmínky - zašpiněný obličej uhlím, byla u čtečky Aktion AFT – 500 vypočítána 3 % a u čtečky Multibio 700 byla 28 %.

5.4. FINANČNÍ ZHODNOCENÍ

Ceny biometrických čteček se odvíjejí od toho, kolik funkcí poskytují. V poslední době dochází ke snižování jejich cen, a to díky rozvoji a vývoji technologie. Stávají se tedy čím dál více dostupné pro širokou veřejnost, a tak už se s biometrií nesetkáváme jen v letištních halách nebo armádě.

Díky vysoké bezpečnosti, kterou biometrické čtečky poskytují se dnes hojně využívají pro vstupy do komerčních objektů. Kromě identifikace slouží tyto čtečky i jako docházkové systémy.

Biometrická identifikace na základě rozpoznávání obličeje je druhá nejpoužívanější biometrická identifikace hned po biometrii otisku prstu. V této diplomové práci byly použity dvě biometrické čtečky. Čtečka Aktion AFT – 500, jejíž pořizovací cena byla 25 500,- Kč. Oproti tomu druhá čtečka - čtečka Multibio 700 byla pořízena za 18 300,- Kč. Jejich stručné porovnání je pro představu znázorněno v tabulce 11.

Tabulka 11 Zhodnocení čteček

Název čtečky	Cena	Míra chybného odmítnutí
Aktion AFT – 500	25 500,- Kč.	51 %
Multibio 700	18 300,- Kč	57 %

ZDROJ: vlastní zpracování autora

Z finančního hlediska je tedy jasně patrné, že levnější variantou je čtečka Multibio 700. Vzhledem k tomu, že jsem osobně měla možnost čtečky testovat, raději bych si připlatila, neboť čtečka Aktion AFT – 500 byla daleko více uživatelsky přívětivá a celkově s ní spolupráce byla daleko lepší.

5.5. DISKUZE

Biometrie je oblast, kde neustále dochází k rozvoji a vývoji nové technologie. V poslední době se jedná o způsob zabezpečení, který zajišťuje vysokou bezpečnost, a proto je právě tento způsob zabezpečení vyhledáván a stává se čím dál více využívaný.

Podle článku na webových stránkách www.businessit.cz, který nese název Biometrické prvky v roce 2018: Pro stále dokonalejší zabezpečení lze dle předpovědi Technavio očekávat růst trhu mobilních zařízení s biometrickými prvky o více než 79 procent do roku 2021. Tento nárůst má za následek hlavně to, že se technologie na základě biometrické identifikace stává cenově dostupná. (29)

Biometrická bezpečnost se neustále vyvíjí. Od roku 2013 se staly senzory otisků prstů velmi populárním řešením u smartphonů. Nyní vstupují do hry i další prvky, jako je rozpoznávání hlasu, anebo právě obličej. V této oblasti je vzhledem k riziku výdajů v případě zneužití dat průkopníkem právě bankovní sektor.

Společnost NEC Display Solutions, která má vedoucí pozici na trhu s displeji uveřejnila na svých webových stránkách článek o tom, jak hraje lidská tvář důležitou roli v naší společenské interakci a identitě lidí. Používání lidské tváře jako klíče k bezpečnosti biometrické technologie rozpoznávání obličejů získalo v posledních několika letech značnou pozornost kvůli svému potenciálu pro širokou škálu aplikací. Ve srovnání s jinými biometrickými systémy, které používají otisk prstů nebo otisk dlaně, má rozpoznání tváře zřetelné výhody kvůli jeho bezkontaktnímu procesu. Což například snižuje zdravotní riziko, jelikož nedojde ke kontaktu. (30)

Obličejové snímky mohou být zachyceny z dálky bez dotyku osoby, která je identifikována, a identifikace nevyžaduje interakci s osobou. Rozpoznávání tváří navíc slouží k odvrácení trestného činu, protože snímky obličej, které byly zaznamenány a archivovány, mohou později pomoci identifikovat osobu.

Společnost Toshiba vyvinula software pro rozpoznávání obličej, vzhledem k tomu, že technologie rozpoznávání tváří se používá v nejrůznějších aplikacích, včetně identifikace jednotlivců v systémech kamerového sledování používaných ve veřejných prostorech, kontrola totožnosti na letištích a finančních institucích, jakož i marketingových aktivit zaměřených na identifikaci osobních atributů, jako je věk, pohlaví nebo výraz.

Společnost Toshiba má již více než 20 let zkušeností v technologii rozpoznávání obličejů a dosahuje vynikajících výsledků při rozpoznávání tváří. Mimo jiné má vysokou rychlost zpracování a také získali vynikající zpětnou. V květnu 2014 společnost NIST (Národní institut pro normy a technologie, USA) zveřejnila na svých webových stránkách výsledky FRVT (Testování dodavatele rozpoznávání tváře) 2013 Třídy C a ve shrnutí byla společnost Toshiba vybrána jako jeden z předních komerčních dodavatelů, právě softwaru pro rozpoznávání obličeje. (31) (32)

Technologie společnosti Toshiba má v reálných situacích vynikající schopnost rozpoznávání, například při ověření videa. Tato technologie je vhodná pro rozsáhlé sledování videa a může být použita v bezpečnostních aplikacích na přeplněných místech včetně letišť, stadionů, nákupních center i parkovišť. Vysokorychlostní identifikační funkce s vysokou přesností umožňuje bezpečnou a rychlou identifikaci během aktuálního problému s migrací a přistěhovalectvím, při vydávání ID (zabránění duplicitě a podvodu), při bankovních aplikacích, zábavních zařízeních a dalších. Jejich produkt je také vybaven různými funkcemi detekce atributů, včetně věku a pohlaví, směru obličeje, úrovně pokrytí obličeje a úrovně úsměvu. Může být použita pro marketingové aplikace, jako je digitální značení a analýza zákazníků. Tyto funkce, tak mohou ulehčit a zrychlit identifikaci a nebude zde vznikat žádný problém při ztížených podmínkách. (31)

6. ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývala Spolehlivost systémů pro rozpoznání tváře za ztížených podmínek. V rámci teoretické části se diplomová práce věnovala vytvoření přehledu řešené problematiky a věnovala se biometrickým vlastnostem a jejich spolehlivosti, biometrické autentizaci. Dále byly vysvětleny rozdíly mezi pojmy identita, identifikace a verifikace, aby nedocházelo dále k jejich možné záměně.

V první části diplomové práce byly uvedeny 2D a 3D biometrické přístupy pro rozpoznávání tváří. V kapitole klasifikace biometrických chyb byly popsány dva základní druhy chyb, ke kterým může dojít, a to sice chybné přijetí a chybné odmítnutí. Dále se první část diplomové práce zabývala spolehlivostí a chybovostí biometrických metod. V závěru první části byla podrobně popsána metodika rozpoznávání tváře. Ta byla rozdělena na dvě části. První část pojednávala o detekci a lokalizaci tváře a druhá část o rozpoznávání tváře.

V praktické části se práce zabývala použitými zařízeními, které byly potřebné pro měření, které bylo stěžejní pro tuto diplomovou práci. Zařízení byla podrobně popsána v následujících kapitolách byl popsán postup měření a celkové vyhodnocení měření.

K samotnému měření bylo zapotřebí získat několik uživatelů na kterých mohla být spolehlivost čteček testována. Celkem se měření zúčastnilo 10 studentů České zemědělské univerzity – 4 ženy a 6 mužů, ve věku 23 – 27 let. Měření probíhalo za nasimulování ztížených podmínek. Ztížené podmínky byly: dioptrické brýle, sluneční brýle, kšiltovka, zimní čepice, černá paruka s ofinou, tmavě hnědá kudrnatá paruka, folie, LED pásek, tma, zašpiněný obličej uhlím a výrazný make-up.

Všichni uživatelé se zalogovali do paměti čtečky a poté následovalo měření. Měření každé ztížené podmínky proběhlo 10x na obou dvou čtečkách. Celkem tedy došlo u každého uživatele k 220 měřením.

Výsledkem měření byl výpočet míry chybného odmítnutí (FRR) pro jednotlivé ztížené podmínky. Výsledky FRR u čtečky Aktion AFT – 500 jsou následující: dioptrické brýle 100 %, sluneční brýle 100 %, kšiltovka 12 %, zimní čepice 35 %, černá paruka s ofinou 22 %, tmavě hnědá kudrnatá paruka 51 %, folie 100 %, LED pásek 0 %, tma 100 %, zašpiněný obličej uhlím 3 % a výrazný make-up 33 %.

Výsledky u čtečky Multibio 700 jsou takové: dioptrické brýle 100 %, sluneční brýle 100 %, kšiltovka 33 %, zimní čepice 44 %, černá paruka s ofinou 51 %, tmavě hnědá kudrnatá paruka 51 %, folie 100 %, LED pásek 0 %, tma 100 %, zašpiněný obličej uhlím 28 % a výrazný make-up 25 %.

V tabulce 12 je vidět celková míra chybného odmítnutí pro každou čtečku.

Tabulka 12 Celková míra chybného odmítnutí

	Aktion AFT - 500	Multibio 700
N_{EIA}	1100	1100
N_{FR}	556	632
FRR	51 %	57 %

ZDROJ: vlastní zpracování autora

Dle tabulky 11 je vidět, že čtečka Aktion AFT – 500 má hodnotu FRR 51 %, zatímco čtečka Multibio 700, má hodnotu FRR 57 %.

Nejenom díky hodnotě FRR, ale i pro lepší uživatelskou přívětivost shledávám biometrickou čtečku Aktion AFT – 500, jako daleko lepší čtečku, než je čtečka Multibio 700. Při měření spolehlivosti za ztížených podmínek, byla čtečka Multibio 700 daleko citlivější na jakékoli změny. Jako další nevýhodu jsem zaznamenala, že čtečka Multibio 700 vůbec nesignalizuje stav, kdy začíná snímat. U čtečky Aktion AFT – 500 je vidět, že snímá, protože na displeji se okolo obličeje, který zaměří vidět čtverec. Čtečka Multibio 700 neukazuje vůbec nic a jen zobrazuje kvalitu snímaného obrazu - pokud není kvalita obrazu vyšší než 5, vůbec nedochází k ověření uživatele. Jako další nevýhodu lze uvést její velmi malý dotykový displej, na kterém je poměrně náročné pracovat.

Z uživatelského hlediska jsem dospěla k závěru, že čtečka Aktion AFT – 500 je lepší než čtečka Multibio 700 a pro čtečku Multibio 700 mám doporučení opatřit ji nějakým signálem ať už zvukovým nebo světelným, že snímá.

7. CITOVANÁ LITERATURA

1. **Roman Rak, Václav Matyáš, Zdeněk Říha a kolektiv.** *Biometrie a identita člověka*. místo neznámé : GRADA, 2008. ISBN 8024723654.
2. **EYSENCK, Michael W. a KEANE, Mark T.** *Cognitive Psychology: A Student's Handbook, 6th Edition*. místo neznámé : 6th Edition, 2010. 1841695408.
3. **DRAHANSKÝ, Martin, Michal DOLEŽEL a Filip ORSÁG.** *Biometrie*. Brno : Computer Press, 2011. 978-80-254-8979-6.
4. **The Rise of Biometric Security.** www.fastlane-turnstiles.com. [Online] 5. květen 2016. [Citace: 23. leden 2018.] <http://www.fastlane-turnstiles.com/press-releases/biometric-security/>.
5. **biometrické-čtečky.cz.** [Online] **ABBAS, a.s., 2011.** [Citace: 20. Leden 2018.] <http://www.biometricke-ctecky.cz/biometriky/>.
6. **Biometrická bezpečnost.** <http://www.abbas.cz>. [Online] 30. červen 2016. [Citace: 25. únor 2018.] <http://www.abbas.cz/clanky/recenze-technika/biometricka-bezpecnost/>.
7. **Pražák, Daniel.** www.letemsvetemapple.com. [Online] 20. Duben 2017. [Citace: 2018. Leden 2018.] <https://www.letemsvetemapple.com/2017/04/20/mastercard-karta-se-cteckou-otisku-prstu/>.
8. **www.mastercard.us.** [Online] **20. Duben 2017.** [Citace: 20. Leden 2018.] <https://www.mastercard.us/en-us/merchants/safety-security/biometric-card.html>.
9. **Jung, Carl Gustav.** **Identifikace.** <http://jung.sneznik.cz>. [Online] [Citace: 1. březen 2018.] http://jung.sneznik.cz/soubor_slovník/slovník_identifikace.htm.
10. **Biometrie obličejů.** <http://www.biometricke-ctecky.cz>. [Online] [Citace: 1. březen 2018.] <http://www.biometricke-ctecky.cz/biometriky/oblicej/>.
11. **Gruber, Ivan.** <https://otik.uk.zcu.cz>. **Vliv polohy na nalezení 3D modelu lidské tváře.** [Online] 2014. [Citace: 1. březen 2018.] <https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/11025/21244/1/Gruber.pdf>.
12. **Haar, F. a Velkamp, R.** *3D Model Fitting for recognition*. 2008.
13. **Klasifikace biometrických chyb.** www.biometricke-ctecky.cz. [Online] [Citace: 24. únor 2018.] <http://www.biometricke-ctecky.cz/biometriky/>.
14. **Beneš, R.** **Autentizační metody založené na biometrických informacích.** <http://access.feld.cvut.cz>. [Online] 18. Listopad 2010. [Citace: 20. leden 2018.] <http://access.feld.cvut.cz/rservice.php?akce=tisk&cislocianku=2010110002>.
15. **RNDr. Petr Říha, ing. Luboš Klačka.** **FAR, false acceptance rate.** www.svetsiti.cz. [Online] [Citace: 24. únor 2018.] <http://www.svetsiti.cz/slovník.asp?hid=FAR-false-acceptance-rate>.
16. —. **FRR, false rejection rate.** www.svetsiti.cz. [Online] [Citace: 24. únor 2018.] <http://www.svetsiti.cz/slovník.asp?hid=FRR-false-rejection-rate>.
17. **CS231n Convolutional Neural Networks for Visual Recognition.** [Online] [Citace: 23. únor 2018.] <http://cs231n.github.io/neural-networks-1/>.
18. **YU, ZHUJIE a Y.L.** <http://ieeexplore.ieee.org>. **Face recognition with eigenfaces.** [Online] [Citace: 1. březen 2018.] <http://ieeexplore.ieee.org/document/467155/>.

19. MAJUMDER, BHABATOSH CHANDA AND DWIJESH DUTTA. *Digital image processing and analysis*. New Delhi Prentice-Hall of India, 2011. ISBN 81-203-1618-5.
20. **PORTRÉTNÍ IDENTIFIKACE**. [Online] 2016. [Citace: 3. leden 2018.] <http://docplayer.cz/7010372-Portretni-identifikace.html>.
21. INNES, Brian. *Vědci proti zločinu: svět moderní forenzní vědy*. Praha, 2010.
22. **AFT-500**. <http://shop.efg.cz>. [Online] [Citace: 28. prosinec 2017.] <http://shop.efg.cz/z19476-aft-500>.
23. **Biometrické řešení pro zabezpečení objektů a evidence osob**. <https://www.aktion.cz>. [Online] [Citace: 28. prosinec 2017.] https://www.aktion.cz/aktion_cs/download/katalogove-listy/AFT-500.pdf.
24. <http://www.zkteco.com>. **zkteco**. [Online] 2014. [Citace: 22. listopad 2017.] http://www.zkteco.com/product/MultiBio700_241.html.
25. **Multibio700**. **zkaccess**. [Online] [Citace: 22. listopad 2017.] <http://www.zkaccess.com/wp-content/uploads/2016/01/Multibio700.pdf>.
26. **zksoftwar**. [Online] [Citace: 22. listopad 2017.] <http://zksoftware.rs/download/Multi-Bio700-User-Manual.pdf>.
27. <http://www.masterbc.co.rs>. **www.masterbc.co.rs**. [Online] [Citace: 22. listopad 2017.] http://www.masterbc.co.rs/dokumenta/2731_2.pdf.
28. <http://fyzmatik.pise.cz>. **fyzmatik.pise.cz**. [Online] 27. září 2009. [Citace: 23. únor 2018.] <http://fyzmatik.pise.cz/45-jednotka-svitivosti-kandela.html>.
29. Ing. Henrietta PŘIBÁŇOVÁ, MUDr. Ariana LAJČÍKOVÁ, CSc. **elektro.tzb-info.cz**. [Online] 3. leden 2003. [Citace: 23. únor 2018.] <http://elektro.tzb-info.cz/osvetleni/1303-umele-osvetleni-vnitriho-prostredi>.
30. **Digitální luxmetr CEM DT-8809A**. **gme.cz**. [Online] [Citace: 23. Únor 2018.] <https://www.gme.cz/digitalni-luxmetr-cem-dt-8809#product-detail>.
31. redakce2. <http://www.businessit.cz>. **Biometrické prvky v roce 2018: Pro stále dokonalejší zabezpečení**. [Online] 29. prosinec 2017. [Citace: 1. březen 2018.] <http://www.businessit.cz/cz/biometricke-prvky-v-roce-2018-pro-stale-dokonalejsi-zabezpeceni.php>.
32. **Putting More Than Just a Name to a Face**. <http://www.nec.com>. [Online] [Citace: 1. březen 2018.] http://www.nec.com/en/global/solutions/safety/face_recognition/index.html.
33. **Toshiba Face recognition Software**. <https://www.toshiba.co.jp>. [Online] [Citace: 1. březen 2018.] <https://www.toshiba.co.jp/sis/en/scd/face/face.htm>.
34. P. Grother, M. Ngan. **Face Recognition Vendor Test (FRVT)**. <http://ws680.nist.gov>. [Online] 29. květen 2014. [Citace: 1. březen 2018.] http://ws680.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=915761.

8. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Podíly využití na trhu biometrických vlastností	6
Obrázek 2 Proces Identifikace	9
Obrázek 3 Proces verifikace	9
Obrázek 4 Obecný přístup zpracování tváří 2D technikou	10
Obrázek 5 Obecný proces 3D zpracování tváří	11
Obrázek 6 Charakteristiky FAR, FRR, ERR a ideální ERR	13
Obrázek 7 Základní etapy rozpoznávání tváře	16
Obrázek 8 Zobrazení různé podoby jedné tváře různými grafickými prostředky	18
Obrázek 9 Neuronová síť	23
Obrázek 10 Ukázka optických toků vyjadřující úsměv	24
Obrázek 11 Markantní znaky obličeje	25
Obrázek 12 Eigenhead	26
Obrázek 13 Síťový graf definující povrch 3D obrazu	28
Obrázek 14 Významné markanty na obličeji	30
Obrázek 16 Menu čtečky Aktion	32
Obrázek 17 Čtečka MultiBio700	34
Obrázek 18 Luxmetr-CEM-DT 8809A	36
Obrázek 19 Laboratoř katedry	37
Obrázek 20 Znázornění laboratorního panelu	38
Obrázek 21 Reálná fotografie laboratorního panelu	38
Obrázek 22 Nasazení zimní čepice	48
Obrázek 23 Fotografie uživatelů s černou parukou	50
Obrázek 24 Fotografie uživatelů s kudrnatou parukou	51
Obrázek 27 Fotografie uživatelů s obličejem zašpiněným uhlím	53

9. SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Výhody biometrické autentizace	7
Tabulka 2 Typy metod detekce a lokalizace tváře	16
Tabulka 3 Metody pro rozpoznávání tváře	21
Tabulka 4 Algoritmy rozpoznání tváře	22
Tabulka 5 Autentizační možnosti	33
Tabulka 6 Seznam ztížených podmínek a jejich fotografie	39
Tabulka 7 Měření na čtečce Aktion AFT-500	44
Tabulka 8 Měření na čtečce Multbio 700	45
Tabulka 9 Průměrné časy přijetí při měření	45
Tabulka 10 Míra chybného odmítnutí čtečky Aktion AFT-500 a Multibio 700	46
Tabulka 11 Zhodnocení čteček	54
Tabulka 12 Celková míra chybného odmítnutí	58

10. PŘÍLOHY

identifikační číslo 2222		Veronika Smetanová								
Aktion AFT-500										
Měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sluneční brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Dioptrické brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kšiltovka	2,2	3,2	2,4	2,6	4,5	2,1	1,9	1,7	1,5	3
Zimní čepice	4	1,5	1,7	1,3	1,4	2	2,1	2	2,4	1,9
Kudrnatá paruka	3	1,7	1,6	4	x	3,4	3,4	3	3,1	2,9
Rovná paruka s ofinou	2,2	2,3	1,9	2,6	2,4	1,6	2,1	3,2	4,1	1,9
Folie	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
LED pásek	1,1	1,3	1,1	0,9	1,6	1,5	1,1	0,9	1	1,1
Tma	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Zašpinění uhlím	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Make up	2	1,9	1,7	1,4	1,3	1,3	1,1	1,5	1,2	1,3

Multibio 700										
Měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sluneční brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Dioptrické brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kšiltovka	x	x	x	6,1	2,5	3,7	x	5	3,9	3,2
Zimní čepice	4,3	3	3,2	4	3,8	3,6	2,2	3,8	4	3,8
Kudrnatá paruka	3,2	3,3	2,5	2,9	2,6	3,1	2,5	2,5	3	3,4
Rovná paruka s ofinou	22	1,9	1,4	1,6	2,1	2,2	2,5	1,9	1,7	2
Folie	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
LED pásek	1,1	1,2	1,3	1,1	1	0,8	1,3	1,1	1,2	1,4
Tma	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Zašpinění uhlím	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Make up	7,2	4,8	x	x	x	x	8,1	x	x	x

identifikační číslo 6666

Karel Starý

Aktion AFT-500

Měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sluneční brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Dioptrické brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kšiltovka	2,5	2,2	2,1	1,6	2	2,3	2,4	2,7	1,6	1,8
Zimní čepice	x	x	x	x	x	x	x	5	x	x
Kudrnatá paruka	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Rovná paruka s ofinou	1	1,1	1	1	1,1	1,2	1	1	1,1	1
Folie	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
LED pásek	1,2	1,1	1	0,9	1,3	1,2	1,5	1,2	1,3	1,1
Tma	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Zašpinění uhlím	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Make up	1	1,1	1	0,9	1,1	1,3	1	1,1	1,2	1,4

Multibio 700

Měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sluneční brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Dioptrické brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kšiltovka	2	2,3	2,4	2,3	2	1,9	2,1	2,2	2	2,1
Zimní čepice	1	1,1	1,1	1,2	1,1	1,2	x	x	1,3	1,4
Kudrnatá paruka	1	1,6	2	2	1,1	2,1	2,4	1,5	1,2	1,2
Rovná paruka s ofinou	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Folie	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
LED pásek	1,6	2	1,6	1,3	1	1,4	1,6	1,5	1,3	2
Tma	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Zašpinění uhlím	1,2	1,5	2,1	2	2,1	2,2	1,6	1,8	1,5	1,45
Make up	1,3	1,3	1,5	1,1	1,2	1,3	1,2	1,1	1,3	1,1

Aktion AFT-500

Měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sluneční brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Dioptrické brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kšiltovka	2	1,9	1,5	1,6	1,6	1,2	1,5	1,3	1,2	1,5
Zimní čepice	x	x	2,1	x	x	2	x	2,6	x	x
Kudrnatá paruka	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Rovná paruka s ofinou	4	3,2	4,5	2	1,6	1	1,2	1,3	2,5	1,8
Folie	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
LED pásek	1,2	1,1	1	1	1,2	1	1,2	1,1	1,2	1,3
Tma	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Zašpinění uhlím	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Make up	1,2	1,4	1	1,3	1,1	0,9	1,2	1,1	1,3	1,5

Multibio 700

Měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sluneční brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Dioptrické brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kšiltovka	1,9	1,6	1,7	1,8	1,7	1,6	1,4	1,6	1,9	1,5
Zimní čepice	2	1,7	1,8	1,6	1,2	1,3	1,1	x	x	2,1
Kudrnatá paruka	1	1,6	2	2	1,1	2,1	2,4	1,5	1,2	1,2
Rovná paruka s ofinou	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Folie	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
LED pásek	1,6	1,3	1	1,4	1,3	1,6	1,4	1,6	1,3	1,2
Tma	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Zašpinění uhlím	1,4	1,6	1,4	1,1	1,3	1,1	1,2	1,25	1,5	1,4
Make up	1,2	1,2	1,3	1,5	1,1	1,1	1,3	1,6	1,4	1,2

Aktion AFT-500

Měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sluneční brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Dioptrické brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kšiltovka	1,1	x	x	4,8	5,4	1,3	0,8	1,4	0,8	1,3
Zimní čepice	0,6	0,7	0,8	1	0,8	0,7	0,7	1,2	2,6	2,2
Kudrnatá paruka	x	2,8	1,6	1,8	1,5	1,5	2,8	4,6	3,3	x
Rovná paruka s ofinou	1,2	2,2	1,2	2	1,5	1,5	2,8	1,5	1,6	1,5
Folie	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
LED pásek	1,3	1,5	1,6	1,3	1,2	1,5	1,1	1,3	1,3	2
Tma	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Zašpinění uhlím	1,2	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	1	1,1	1,2	1,3
Make up	1,1	1	1	1,2	1,4	1,1	1,2	1,1	1	1,5

Multibio 700

Měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sluneční brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Dioptrické brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kšiltovka	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Zimní čepice	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kudrnatá paruka	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Rovná paruka s ofinou	1,1	2	1,5	2	2,1	1,6	2	2	1,7	1,5
Folie	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
LED pásek	2	1,4	1,3	1,4	1,2	1,1	1,6	1,4	1,2	1
Tma	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Zašpinění uhlím	1,1	1	1,2	1,6	1,2	1,3	1,3	1	0,9	1,5
Make up	0,9	1	1	1,2	1,25	1,2	1,3	1,9	1,8	1,1

Aktion AFT-500

Měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sluneční brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Dioptrické brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kšiltovka	x	x	x	x	x	1,3	x	1,2	x	x
Zimní čepice	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kudrnatá paruka	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Rovná paruka s ofinou	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Folie	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
LED pásek	1	1,3	1,6	1,2	1,4	1,3	1,1	1,2	1,4	1,5
Tma	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Zašpinění uhlím	1,3	1,3	1,2	1,2	1,4	1,5	1,4	1,45	1,5	1,2
Make up	1,2	1,1	1,2	1,3	1,2	1,1	1,2	1,25	1,6	1,4

Multibio 700

Měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sluneční brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Dioptrické brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kšiltovka	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Zimní čepice	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kudrnatá paruka	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Rovná paruka s ofinou	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Folie	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
LED pásek	3,1	2,6	2,4	2,1	1,4	1,9	1,7	1,5	1,4	1,5
Tma	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Zašpinění uhlím	1,5	1,2	1,1	1,1	1,3	1,4	1,25	1,3	1,25	1,3
Make up	1,2	1,6	1,1	1,3	1,35	1,2	2	1,1	1,8	1,6

Aktion AFT-500

Měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sluneční brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Dioptrické brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kšiltovka	x	3,1	2,1	4,6	2,1	1,1	5	2,8	3,2	3,1
Zimní čepice	3,8	2	1	x	x	x	x	2,5	1,8	1,4
Kudrnatá paruka	x	x	1	x	x	x	2,5	x	x	x
Rovná paruka s ofinou	x	1,6	2	2	3,9	x	x	1,4	2,5	4
Folie	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
LED pásek	1,3	1,4	1,3	1,4	1,6	1,2	1,6	1,4	1,6	1,4
Tma	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Zašpinění uhlím	1,5	1,4	2	2,3	2,2	2,2	2	2	3,4	1,6
Make up	1,4	1,4	1,5	1,5	1,7	1,1	1,25	1,2	1,3	1,1

Multibio 700

Měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sluneční brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Dioptrické brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kšiltovka	3	x	3,5	4,2	x	1,5	x	2,5	x	2,6
Zimní čepice	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kudrnatá paruka	x	x	2,5	3,1	x	5,2	x	x	4,6	2,6
Rovná paruka s ofinou	3,6	2,6	x	x	x	4,2	3,9	4	x	6,4
Folie	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
LED pásek	1,2	1,6	1,2	1,1	1,3	1,5	1,2	1,1	1,3	1,1
Tma	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Zašpinění uhlím	3,1	2,2	2,6	2,4	2,6	2,7	2	2,3	2,4	2,6
Make up	2,9	2,9	3,6	2,8	x	3	x	2,8	2,9	3,5

Aktion AFT-500

Měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sluneční brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Dioptrické brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kšiltovka	1,2	1	0,5	1,4	1,2	0,8	1,1	1,1	1,1	1,2
Zimní čepice	1	0,7	1,6	1,2	1,1	1,1	1,3	1,1	1	1,1
Kudrnatá paruka	x	x	x	2	0,8	1,2	2	2,2	x	1,6
Rovná paruka s ofinou	1,5	1,2	1,4	0,9	0,8	1,2	2,1	0,8	0,8	1,4
Folie	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
LED pásek	1,5	1,6	1,3	1,9	1,6	1,5	1,4	1,4	1,6	1,2
Tma	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Zašpinění uhlím	1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,1	1,1	1	0,9	1,3
Make up	1,3	1,3	1,2	1,3	1,4	1,4	1,6	1,4	1	1,1

Multibio 700

Měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sluneční brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Dioptrické brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kšiltovka	2,2	1,9	2,6	2,4	1,9	1,8	1,2	2	2,1	2,3
Zimní čepice	1,3	1,4	1,6	1,5	1,3	1,2	1,4	1,6	1,4	1,3
Kudrnatá paruka	x	x	x	x	6,5	5,1	x	7,2	x	x
Rovná paruka s ofinou	2,5	2,6	2,4	2,4	2,9	3	3	2,4	x	1,9
Folie	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
LED pásek	1,2	0,9	1,1	1	1	1,3	1,2	1,1	1	1
Tma	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Zašpinění uhlím	2,1	1,6	1,7	1,8	1,9	1,5	1,7	1,3	1,5	1,6
Make up	1,9	1,8	2,4	2,2	2	2	2,3	2,1	2,6	2

Aktion AFT-500

Měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sluneční brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Dioptrické brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kšiltovka	1,2	1,2	1,1	1,2	1,2	2,6	1,1	1,2	1,3	1,5
Zimní čepice	1	1	2,4	1,7	x	x	1	1,2	16	1
Kudrnatá paruka	2,1	2	1,6	x	x	1,4	3,2	2,1	1,2	1,3
Rovná paruka s ofinou	x	x	2	x	x	1,5	2	x	1,6	1,5
Folie	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
LED pásek	1	0,9	1,1	1,2	1	0,9	1,3	1,1	1,1	1
Tma	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Zašpinění uhlím	1,4	1,2	4	0,7	0,6	6	0,7	x	x	0,8
Make up	1,1	3,1	1,9	18	1,2	0,9	1,3	1,8	2	1,6

Multibio 700

Měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sluneční brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Dioptrické brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kšiltovka	2	2,2	2,3	1	x	x	2,1	x	2,4	2,6
Zimní čepice	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kudrnatá paruka	x	x	x	4,1	x	3	2,9	x	x	x
Rovná paruka s ofinou	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Folie	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
LED pásek	1,4	1,5	1,3	1,4	1,5	1,1	1,1	1,6	1,1	1
Tma	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Zašpinění uhlím	2,5	2,8	x	x	x	3,1	3	x	x	4,2
Make up	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Aktion AFT-500

Měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sluneční brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Dioptrické brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kšiltovka	1	1,1	0,9	1,1	1,1	1,4	2,1	1,4	0,7	1,2
Zimní čepice	x	0,9	x	0,7	1,1	0,6	1,2	1,1	1,2	x
Kudrnatá paruka	5,2	x	x	2,6	x	1	x	1,1	2,7	4,5
Rovná paruka s ofinou	x	3,2	3,3	4,1	1,9	2,2	x	x	3	x
Folie	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
LED pásek	2	1,5	1,1	1,1	1,5	1,2	1,2	1,4	1,6	1,1
Tma	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Zašpinění uhlím	1,5	1,6	1,4	1,4	2	x	1,9	1,2	1,1	1
Make up	1,1	1,5	1	1,1	1,4	1,1	1,2	2	1,6	1,2

Multibio 700

Měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sluneční brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Dioptrické brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kšiltovka	5	6,5	x	6,9	x	1,7	2,3	2,5	2,6	2,1
Zimní čepice	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kudrnatá paruka	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Rovná paruka s ofinou	x	x	5,5	2,9	4,9	x	5,1	5,2	x	x
Folie	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
LED pásek	2	2,5	2,1	2	1,5	1,7	1,8	1,9	2	2,1
Tma	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Zašpinění uhlím	3	3,2	4,5	x	x	x	x	5,6	x	2,1
Make up	x	x	x	x	x	6,7	4,2	x	3,9	4

Aktion AFT-500

Měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sluneční brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Dioptrické brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kšiltovka	1,3	1,1	0,9	1,2	x	2,5	2,1	1,3	1,2	1,9
Zimní čepice	1,6	1,1	1,9	0,9	1,3	1,7	1,6	1,3	1,6	1,4
Kudrnatá paruka	2,2	2,6	2,4	2,1	2,3	2	2,1	1,6	1,6	1,9
Rovná paruka s ofinou	1,6	1,8	1,6	1,4	1,5	1,3	1	2	1,6	1,6
Folie	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
LED pásek	2	1,5	1,1	1,1	1,5	1,2	1,2	1,4	1,6	1,1
Tma	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Zašpinění uhlím	1,5	1,6	1,4	1,4	2	x	1,9	1,2	1,1	1
Make up	1,1	1,5	1	1,1	1,4	1,1	1,2	2	1,6	1,2

Multibio 700

Měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sluneční brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Dioptrické brýle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kšiltovka	4,2	6,6	4,8	6,9	x	1,7	2,3	2,5	2,6	2,3
Zimní čepice	6,3	4,5	2,6	2,3	2,2	2,3	1,9	2,5	3	2,2
Kudrnatá paruka	4,2	3,6	x	x	4	3,6	3,5	3,7	3,6	4
Rovná paruka s ofinou	3,9	2,6	4	1,6	2,6	2	2,6	2,4	x	1,9
Folie	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
LED pásek	2	2,5	2,2	2,3	2,1	2,5	2,1	2,4	2	2,2
Tma	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Zašpinění uhlím	x	x	x	x	x	x	2,7	5,6	x	x
Make up	1,9	2,5	2,6	2,9	1,9	6,7	4,2	3,6	3,9	5,1