



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

BIOMETRIE KREVNÍHO ŘEČIŠTĚ PRSTU

FINGER VEIN BIOMETRICS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

STANISLAV BĚLEHRÁDEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MARTIN MÉZL

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav biomedicínského inženýrství

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Biomedicínská technika a bioinformatika

Student: Stanislav Bělehrádek

ID: 155563

Ročník: 3

Akademický rok: 2014/2015

NÁZEV TÉMATU:

Biometrie krevního řečiště prstu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Seznamte se základy biometrie a proveďte rešerši základních biometrických metod. 2) Prostudujte problematiku zobrazení krevního řečiště prstu pomocí optických metod. 3) Navrhněte přípravek pro snímání krevního řečiště prstu a proveďte základní realizaci pro ověření principu metody. 4) Proveďte realizaci přípravku a jeho testování. 5) Seznamte se s metodami zpracování obrazu a navrhněte vhodné metody pro předzpracování obrazových dat. 6) Proveďte snímání databáze snímků krevního řečiště prstů alespoň deseti osob. 7) Proveďte diskusi získaných snímků z hlediska využitelnosti pro identifikaci osob.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] DRAHANSKÝ, Martin a Filip ORSÁG. Biometrie. Brno: Computer Press, 2011, 294 s. ISBN 978-80-254-8979-6.

[2] Lee, E.C.; Jung, H.; Kim, D. New Finger Biometric Method Using Near Infrared Imaging. Sensors 2011, 11, 2319-2333.

Termín zadání: 9.2.2015

Termín odevzdání: 29.5.2015

Vedoucí práce: Ing. Martin Mézl

Konzultanti bakalářské práce:

prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

V této práci jsou uvedeny základní pojmy z oboru biometrie se zaměřením na biometrii krevního řečiště prstu optickými metodami. Práce obsahuje i doplňující informace mimo jiné i z fyziky a anatomie, které jsou důležité pro pochopení problematiky. Součástí práce je návrh přípravku pro biometrii krevního řečiště prstu a návrh vhodného způsobu předzpracování snímků žilního větvení. Praktickou částí je realizace navrženého přípravku a vytvoření programu v MATLABu pro biometrické zpracování získaných obrazů. Vytvořený biometrický systém je otestován na skupině dobrovolníků. Dosažené výsledky jsou zhodnoceny z hlediska možnosti praktického použití a srovnány s podobným zařízením.

KLÍČOVÁ SLOVA

Biometrie, biometrický systém, krevní řečiště, prst, žíly, předzpracování obrazů, FAR, FRR, EER, ROC křivka

ABSTRACT

This thesis presents basic concepts in the field of biometrics, with a focus on optical methods of finger vein biometrics. The paper also contains additional information including physics and anatomy terms, which are important for understanding presented problems. Part of the thesis is draft of the device used for finger vein biometry and proposal of effective image preprocessing process for biometric purpose. Main part of the thesis contains creation and testing of such device. User interface is created in MATLAB and allows identification and verification of people with record in database. Biometric system is tested on group of 16 individuals. Achieved results are discussed and compared with results of similar devices.

KEYWORDS

Biometrics, biometric system, blood vessels, veins, image preprocessing, FAR, FRR, EER, ROC curve

BĚLEHRÁDEK, S. *Biometrie krevního řečiště prstu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015. 50 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Mézl.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Biometrie krevního řečiště prstu jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Mézlovi za odbornou pomoc, konzultace a cenné rady při vypracovávání mé bakalářské práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

Úvod	1
1 Biometrické systémy	2
1.1. Historie biometrie	2
1.2. Základy biometrie	3
1.3. Základní biometrický systém	4
1.4. Nejpoužívanější biometrické metody v bankovníctví	5
1.4.1. Otisky prstů	5
1.4.2. Geometrie ruky	6
1.4.3. Žíly prstu	6
1.4.4. Rozpoznávání řeči	7
1.4.5. Dynamika podpisu	7
1.5. Bezpečnost biometrických systémů	8
1.6. Hodnocení kvality biometrických systémů	9
2 Optické zobrazení krevního řečiště prstu	11
2.1. Popis metody	11
2.2. Vlastnosti infračerveného záření	13
2.3. Cévní zásobení dlaně a prstů	13
2.4. Použití snímačů CCD/CMOS a filtrace IR záření	15
2.5. Komerční přístroje pro optické snímání krevního řečiště prstu	16
3 Návrh konstrukce přípravku	17
3.1. Návrh přípravku	17
3.2. Ověření principu metody	18
3.2.1. Použité zapojení	18
3.2.2. Srovnání metod snímání žil prstu	19
4 Realizace a testování přípravku	20
5 Předzpracování obrazových dat	22
5.1. Navržené metody předzpracování obrazu	22
5.2. Testování vhodných filtrů pro zvýraznění žil	25
5.3. Implementace navržených metod do programu	28

6	Hodnocení kvality vytvořeného biometrického systému	31
6.1.	Snímání databáze snímků	31
6.2.	Zhodnocení výsledků	32
7	Závěr.....	36
	Seznam použité literatury	37
	Seznam použitých zkratk a symbolů	40
	Seznam příloh.....	41
	Přílohy na CD	41
	Manuál k vytvořenému uživatelskému prostředí.....	42

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 - Schéma biometrického systému.....	4
Obr. 2 - Zastoupení biometrických metod v bankovníctví, převzato z [5], upraveno.....	5
Obr. 3 - ROC křivky.....	10
Obr. 4 - Zobrazení metodou reflexní (a) a transmisní (b) [3], FIR snímek ruky (c) [11]..	12
Obr. 5 - Absorpční spektrum HbO ₂ a Hb [18].....	14
Obr. 6 - Citlivost CMOS senzoru na viditelné a NIR spektrum, převzato z [19].....	15
Obr. 7 - Komerční přístroje: Morphosmart TM finger VP [20] a Hitachi Vein ID [21].....	16
Obr. 8 - Náskres podoby přípravku.....	17
Obr. 9 - Schéma zapojení spínání IR LED.....	18
Obr. 10 - Různé filtry a LED s různými vlnovými délkami.....	19
Obr. 11 - Testování metod snímání a test LED s různými λ	19
Obr. 12 - Deska plošných spojů přípravku s osazenými součástkami.....	20
Obr. 13 - Realizované zařízení pro snímání větvení žil prstu.....	20
Obr. 14 - Různé typy osvětlení a získaná větvení žil.....	21
Obr. 15 - Závislost viditelnosti žil na teplotě.....	21
Obr. 16 - Proces předzpracování obrazu.....	22
Obr. 17 - Zobrazení výstupů jednotlivých kroků předzpracování.....	24
Obr. 18 - Zobrazení konvoluční masky Gaborova filtru.....	25
Obr. 19 - Konvoluční maska Gaussova filtru.....	26
Obr. 20 - Konvoluční maska vlastního filtru.....	26
Obr. 21 - Zdrojový obraz (a), Gaborův filtr (b, c), Gaussův (d) a vlastní filtr (e).....	27
Obr. 22 - Grafické rozhraní v režimu identifikace.....	28
Obr. 23 - Vybrané snímky prstů a odpovídající vzory větvení cév.....	31
Obr. 24 - Závislost FAR a FFR na nastavení prahu, zobrazení EER.....	32
Obr. 25 - Detail protnutí průběhů FAR a FRR.....	33
Obr. 26 - ROC křivka vypočtená ze získané databáze.....	33
Obr. 27 - Detail ROC křivky.....	34
Obr. 28 - Příklad chybné shody.....	34

ÚVOD

Biometrie je vědní obor zabývající se porovnáváním charakteristik částí lidského těla za účelem zjišťování identity osob. Je již velmi starou ale neustále se rozvíjející oblastí. Biometrie má mnoho podob – od historického, ale zároveň nejčastěji používaného snímání otisků prstů, až po moderní analýzu DNA. V mnoha oblastech všedního života má dnes již nezastupitelnou roli – v kriminalistice, zabezpečení objektů, docházkových systémech, ale třeba i při biometrickém přihlašování na notebookách nebo telefonech.

Základní podmínkou biometrie je jedinečnost zkoumaných vlastností, díky které je možné identifikovat nebo verifikovat správnou osobu. Touto unikátní a v průběhu života neměnnou vlastností, kterou se zabývá biometrie krevního řečiště, je větvení žil na spodní straně prstu. Cílem této práce je seznámení s touto metodou a vytvoření přípravku, kterým by bylo možné tyto žíly zaznamenat. Podstatnou částí každého biometrického systému je však algoritmus zpracování získaných obrazů. Je proto vytvořen program, který snímky žilních větvení vhodně upraví a vyhodnotí.

Praktickou část práce tvoří realizace a testování vytvořeného zařízení, a to za různého osvětlení i měnící se teploty. Míra chyb rozhodovacího algoritmu je zjištěna snímáním větvení žil na prstech skupiny dobrovolníků a je popsána běžně používanými parametry. Výsledky testů jsou nakonec zhodnoceny z hlediska praktického využití a srovnány s jinými dostupnými řešeními.

1 BIOMETRICKÉ SYSTÉMY

1.1. Historie biometrie

Biometrické metody, tedy metody používané k identifikaci lidí, existují již velmi dlouho. Mezi nejstarší „identifikátory“ patří otisky rukou, které se dochovaly v jeskyních z dob pravěku. Tyto otisky lze dnes přirovnat k biometrickým systémům, které vyhodnocují geometrii rukou. Lze se však jen dohadovat, zdali pravěcí lidé považovali tyto otisky za podpisy ke svým kresbám nebo za součást umění. Skutečné využití biometrických znaků pro identifikaci osob je ale potvrzeno až o mnoho set tisíc let později, viz dále [1].

První dochované záznamy o použití otisků prstů za účelem identifikace jsou z Číny ze 14. století. Španělský dobrodruh a spisovatel Joao de Barros popsal, že místní obchodníci používali otisky prstů místo podpisu na stvrzení obchodu.

Výzkum možnosti použití otisků prstů jako jedinečného identifikátoru započal v Indii roku 1858 William James Herschel, který použil otisky dělníků jako podpisy při přebírání výplaty.

Roku 1879 zavádí Alphonse Bertillon do praxe antropometrii, tedy porovnávání lidských proporcí. Prováděl deset měření, mezi nimiž byly např. šířka čelisti a velikost ucha.

V roce 1892 vydává Francis Galton dílo Fingerprints, v němž je popis markantů, podle kterých se otisky porovnávají [2]. V roce 1900 provedl statistickou analýzu, podle které je 64 miliard možných uspořádání papilárních linií na jednom prstu, a pomohl tak zavedení daktyloskopie jako vyšetřovací metody do kriminalistiky.

První systém porovnávající geometrii rukou se začíná běžně používat v roce 1974 a v roce 1996 je tato metoda použita na Olympijských hrách.

V roce 2000 vyšel první odborný článek pojednávající o možnosti použití struktury krevního řečiště v biometrii a v roce 2006 je představena technologie umožňující autentizaci pomocí rozpoznání žil prstu [3].

1.2. Základy biometrie

Úkolem biometrického systému může být buď identifikace, nebo verifikace uživatele. Při identifikaci se sejmý biometrický znak a porovnává se s N uloženými položkami z celé databáze. Je to tedy srovnávání 1:N, nebo taky zjišťování odpovědi na otázku: „Kdo jsem?“. Při verifikaci je identita uživatele známa. Systém pouze porovnává sejmutý znak s konkrétní položkou databáze. Jde tedy o srovnávání 1:1, při kterém je výstup systému odpovědí na otázku: „Jsem ten, za koho se vydávám?“. Takovou odpovědí může být např. povolení nebo zakázání přístupu. Tento proces rozhodování se nazývá autentizace a jeho výstupem je buď autorizace, nebo odmítnutí uživatele. Autorizovaný uživatel má povolený vstup a může tedy vstoupit do chráněných prostor, počítačového systému apod.

Každý biometrický systém lze obecně definovat několika základními charakteristikami, které většinou rozhodují o konkrétním, praktickém využití [2]:

- Rozšíření snímané biometrické vlastnosti
- Jedinečnost (variabilita) snímané vlastnosti mezi lidmi
- Časová neměnnost
- Získatelnost a náročnost snímání biometrické vlastnosti
- Odolnost proti falšování
- Finanční nákladnost pořízení biometrického systému i jednotlivých snímání

Ideálním biometrickým systémem je levný přístroj snímající neměnnou, jedinečnou vlastnost, která je snadno získatelná. Významným kritériem je i rychlost vyhodnocení, která se pohybuje od zlomků sekund (např. čtečky otisků prstů) až po jednotky hodin u analýzy DNA.

Biometrické systémy snímají vlastnosti, které lze obecně rozdělit na anatomické (statické) a behaviorální (dynamické) [2]. Statické vlastnosti jsou vždy přítomny a patří mezi ně např. otisky prstů, geometrie ruky, větvení krevního řečiště, DNA a mnoho dalších. Dynamické vlastnosti jsou průběhy úkonů prováděných uživatelem. Řadíme mezi ně např. rozpoznání mluvího, dynamiku stisku kláves, dynamiku psaného textu, dynamiku chůze.

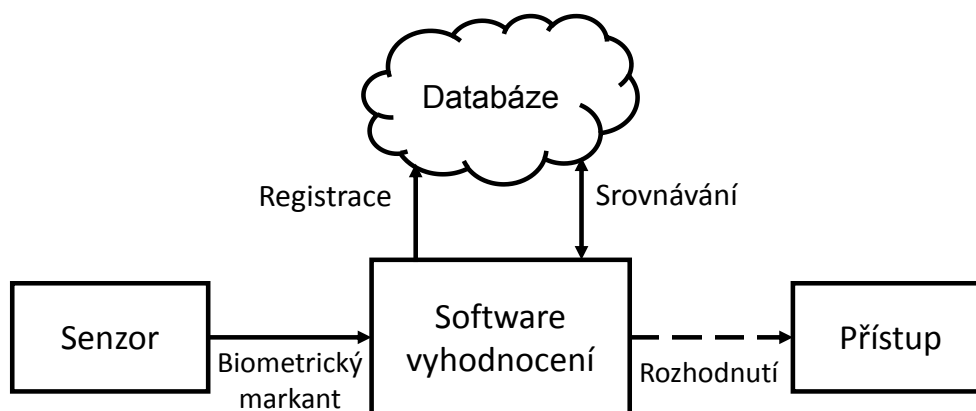
1.3. Základní biometrický systém

Vstupní částí každého biometrického systému je senzor. Podle snímané vlastnosti se může jednat o optický, tepelný, kapacitní, tlakový, ultrazvukový nebo případně i jiný typ senzoru. Obecně lze však snímání rozdělit na kontaktní a bezkontaktní, přičemž bezkontaktní snímání je považováno za uživatelsky přívětivější (pohodlnější na používání). Kontaktní metody mají však výhodu v možnosti měřit živost tkáně při dotyku a nabízejí tak vyšší zabezpečení. S nástupem optického měření živosti [4] lze tuto funkci jednoduše implementovat i do bezkontaktních systémů a rozdíly v bezpečnosti obou metod se tak ztrácejí.

Důležitou součástí systému je databáze uložených vzorů. Porovnáním nasnímaných dat s daty v této databázi je uživateli povolen nebo zamítnut přístup. Z hlediska bezpečnosti je vhodné šifrování uložených dat a uložení databáze mimo samotné biometrické zařízení. Je ale nutné zajistit bezpečnou komunikaci mezi snímací jednotkou a databází.

Vlastní zpracování biometrického markantu, porovnání s databází a následné vyhodnocení provádí software. Při registraci vzoru do systému se do databáze provádí zápis biometrického vzoru spolu s informacemi o identitě osoby a jejích přístupových právech. Při požadavku o autentizaci se vyhodnocuje podobnost aktuálně sejmutého znaku s dříve registrovanými vzory. Výstupem je pravděpodobnost, s jakou tyto dva údaje patří stejné, autorizované osobě. Podle nastavení bezpečnosti se pak tato pravděpodobnost srovná s nastaveným prahem a určí se důvěryhodnost osoby.

Na obrázku (Obr. 1) je zobrazeno zjednodušené schéma biometrického systému. Znázorněné jsou probíhající datové komunikace mezi jednotlivými funkčními bloky.



Obr. 1 - Schéma biometrického systému

1.4. Nejpoužívanější biometrické metody v bankovníctví

Biometrie má mnoho oblastí použití – biometrické pasy, kriminalistika, docházkové systémy atd. Tato kapitola je zaměřena na metody používané v bankovníctví, protože se v této oblasti z důvodu vysokých nároků na bezpečnost biometrie velmi rychle rozšiřuje. Zastoupení jednotlivých biometrických metod je znázorněno na Obr. 2.

1.4.1. Otisky prstů

Popis metody

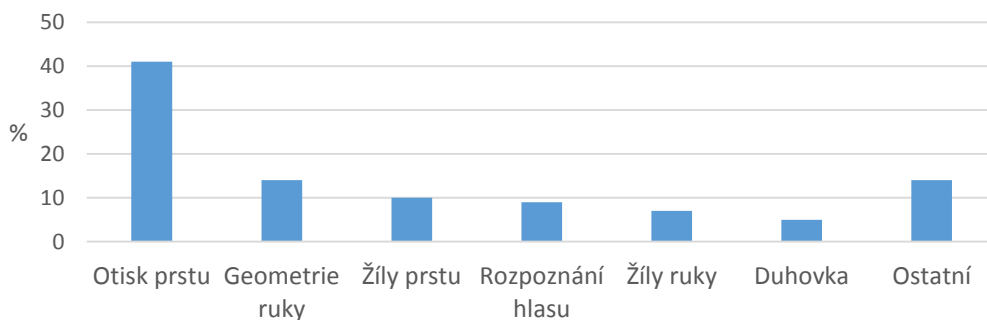
Snímání otisků prstů patří k nejstarším používaným biometrickým metodám. Využití nachází v zabezpečovacích systémech ale i v kriminalistice. Daktyloskopie se zabývá studiem papilárních linií prstů, které tvoří u každého člověka jedinečné otisky. Na sejmutých otiscích se vyhledávají definované markanty, díky kterým lze otisky jednoduše srovnávat.

Typy senzorů

Otisky prstů lze snímat mnoha různými snímači. Optickými snímači se vytváří prostá fotografie prstu, kapacitní senzory snímají změnu kapacity v závislosti na přítomnosti papilární linie. Další používané technologie jsou tlakové a termické. Ultrazvukové snímání se nejčastěji používá v kriminalistice a umožňuje odhalit falešné prsty [2].

Výhody a nevýhody

Jednou z výhod snímání otisků prstů je malá velikost snímačů, které lze implementovat i do mobilních zařízení. Další výhodou je nízká pořizovací cena. Mezi největší nevýhody patří velice snadná výroba falešného prstu. Z tohoto důvodu není pro zabezpečovací účely samostatné snímání otisku prstu bez měření živosti doporučeno.



Obr. 2 - Zastoupení biometrických metod v bankovníctví, převzato z [5], upraveno

1.4.2. Geometrie ruky

Popis metody

Principem metody je snímání geometrických vlastností ruky. Konkrétně se zjišťují délky, šířky a výšky prstů a lokální zakřivení. Snímané plochy jsou často vybaveny distančními kolíky, které umožňují vždy stejné umístění ruky a následně jednodušší a přesnější výpočty. Nově se objevují biometrické systémy zaznamenávající 3D model ruky, čímž je zvýšen počet snímaných vlastností a tím i rozsah použití této metody [2].

Typy senzorů

Geometrie ruky se snímá kamerou, tedy snímačem typu CCD (Charge-Coupled Device) nebo CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor).

Výhody a nevýhody

Výhodou je jednoduché použití a vysoká akceptovatelnost. Nevýhodou je omezení použití systému na maximálně stovky lidí, z důvodu nízké biometrické entropie snímaných vlastností [2].

1.4.3. Žíly prstu

Popis metody

Při osvětlení ruky blízkým infračerveným zářením vznikají kontrastní rozdíly mezi cévami a okolní tkání. Jelikož je u každého člověka větvení žil jiné, je možné jej využít pro biometrické účely. Více informací o této metodě je v kapitole 2 .

Typy senzorů

Používají se obrazové senzory typu CCD nebo CMOS.

Výhody a nevýhody

Výhodou je obtížné falšování a možnost bezkontaktního snímání. Nevýhodou může být nízký akviziční kontrast při snímání reflexní metodou.

1.4.4. Rozpoznávání řeči

Popis metody

Biometrické systémy rozpoznávající lidskou řeč se používají např. v telefonickém bankovníctví. Klient, žádající o autorizaci za účelem provedení transakce, vysloví předem domluvené heslo a systém takto získanou zvukovou stopu porovná s uloženým vzorem. Tuto metodu lze využít i pro identifikaci mluvčího, avšak oproti verifikaci s výrazně horšími výsledky [2][6].

Typy senzorů

Pro záznam řeči se používají mikrofony, přičemž platí, že čím citlivější je použitý mikrofon, tím kvalitnější je záznam a přesnější identifikace mluvčího.

Výhody a nevýhody

Výhodou je použití mikrofonu jako senzoru. Tím je umožněna verifikace na dálku, např. za použití mobilního telefonu. Nevýhodou je nízká spolehlivost, výsledek může ovlivnit např. nemoc uživatele.

1.4.5. Dynamika podpisu

Popis metody

Oproti statické formě, což je obyčejná fotografie podpisu, záleží při sledování dynamiky na rychlosti a přítlaku v různých částech psaní [2]. Pokud by například podpis napsaný různými lidmi vypadal stejně, statickou metodou by nebylo možné odlišit autora. V dynamice psaní by však byl určitý rozdíl, který tato metoda rozpozná.

Typy senzorů

Pro zaznamenání podpisu se používají tzv. elektronické podložky, což jsou plošné senzory zaznamenávající změny přítlaku. Je však možné použít i mobilní zařízení (tablety a mobilní telefony), která jsou vybavena dotykovou obrazovkou a umožňují záznam a vyhodnocení dynamiky podpisu.

Výhody a nevýhody

Výhodou je jednoduchost používání a možnost verifikace na dálku. Nevýhodou může být možné okopírování pohybů ruky při velmi jednoduchém podpisu.

1.5. Bezpečnost biometrických systémů

Zabezpečení pomocí hesla nebo číselného kódu má tu nevýhodu, že neoprávněné osobě stačí znalost tohoto hesla a systém povolí vstup, neboť požadavky jsou splněny (heslo je správné). V případě počítačových systémů ani nemusí být heslo předem známé – při použití tzv. útoku hrubou silou se generují všechny možné kombinace hesel, mezi nimiž je i heslo potřebné k proniknutí do systému. V takovém případě stačí jen dostatek času a výpočetního výkonu k prolomení takového zabezpečení. Jediným řešením je pak omezení přihlašovacích pokusů.

Biometrické systémy již z principu vyžadují přítomnost osoby. Jednou z charakteristik a předpokladů biometrie je jedinečnost snímaných znaků. Nemělo by se tedy stát, že by dva lidé měli tyto vlastnosti identické. Neoprávněná osoba, pokoušející se o autentizaci v biometricky zabezpečeném systému, by tedy musela disponovat kopií např. otisku prstu nebo tvaru ruky autorizované osoby, aby jí systém povolil přístup.

Možností, jak zamezit přístupu za použití falzifikátů, je měření živosti. Při takovém měření se hodnotí dynamické jevy a zjišťuje se, zda např. otisk prstu nepochází z uměle vyrobené napodobeniny prstu. Detekce živosti může probíhat více způsoby [7] v závislosti na použité biometrické metodě:

- Rozpoznávání obličeje – spontánní pohyby hlavy, změna výrazu tváře
- Duhovka oka – změna průsvitu zornice, sakády
- Otisk prstu – teplota, elektrická vodivost, puls, optické změny při změně tlaku [4]
- Rozpoznávání hlasu – synchronizace pohybu rtů s vyslovovanými slovy

Zabezpečení lze také zvýšit použitím multimodálního systému, který snímá dva a více biometrických znaků (např. otisk prstu a rozpoznání obličeje), případně kombinaci anatomické a behaviorální vlastnosti (např. dynamická a statická forma psaného textu). Multimodální systémy s funkcí měření živosti nabízejí oproti systémům unimodálním vyšší specifitu a nižší pravděpodobnost autorizace neoprávněné osoby. Jejich pořizovací náklady jsou však vyšší.

1.6. Hodnocení kvality biometrických systémů

Aby bylo možné objektivně hodnotit různé biometrické systémy mezi sebou, musí se vždy testovat odpovídající vlastnosti systémů. Způsoby testování jsou normovány dle ČSN ISO/IEC 19795.

Biometrické systémy pracují na principu srovnávání sejmutých vlastností s uloženým vzorem. Výsledkem je pravděpodobnost shody, porovnávána s prahem.

- Když je tato pravděpodobnost nižší než nastavený práh, systém uživateli neudělí přístup. Pokud jde o neoprávněnou osobu, systém rozhodl správně. Pokud je ale osoba ve skutečnosti ke vstupu oprávněna, jedná se o tzv. chybu I. druhu (chybné odmítnutí – angl. False Reject) [8].
- V případě, že je pravděpodobnost shody vyšší než nastavený práh, systém uživatele autorizuje ke vstupu. Pokud se jedná o oprávněnou osobu, je vše v pořádku. Pokud však systém autorizuje osobu bez povoleného vstupu, je to tzv. chyba II. druhu (chybné přijetí – angl. False Accept) [8].

Chyba II. druhu je z hlediska bezpečnosti závažnější než chyba I. druhu, kterou lze považovat pouze za snížení komfortu uživatele, který je nucen opakovaně provádět pokus o autentizaci [9].

Při testování kvality biometrického systému se nejčastěji vyjadřují následující míry a vlastnosti [2]:

- **FAR**
False Acceptance Rate – míra chybného přijetí. Určuje pravděpodobnost uskutečnění chyby II. druhu, které se systém dopustí, když autorizuje neoprávněnou osobu. Vypočítá se jako podíl počtu nesprávných autorizací a počtu všech provedených porovnání, přičemž se srovnávají vždy jen rozdílné vzory různých osob.
- **FRR**
False Rejection Rate – míra chybného odmítnutí. Vyjadřuje pravděpodobnost výskytu chyby I. druhu. Vypočítá se jako podíl počtu nesprávných odmítnutí k počtu všech provedených pokusů stejné osoby.

- **FNMR**

False Non-Match Rate – míra chybné neshody. Výpočet je stejný jako pro FRR, jen mezi počet všech provedených pokusů nejsou zahrnuty pokusy, při kterých nebyl obraz správně zaznamenán nebo zpracován (z důvodu šumu v obrazu, pohybového rozostření apod. nebyl rozpoznán biometrický vzor) [9].

- **FMR**

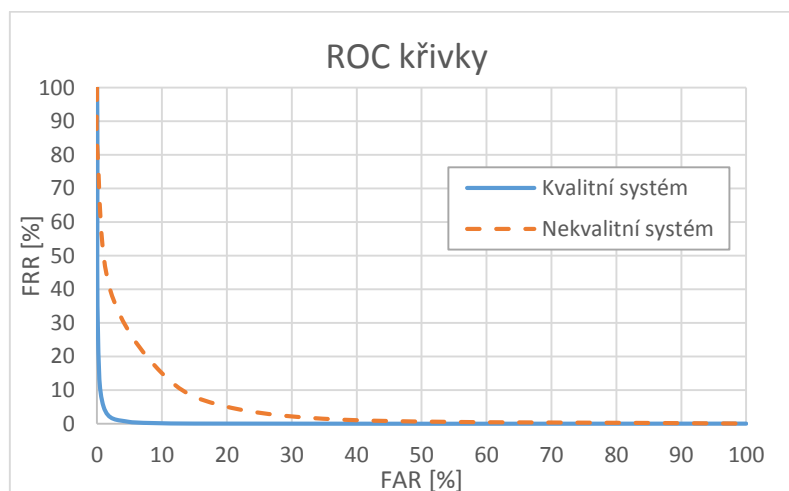
False Match Rate – míra chybné shody. Určuje pravděpodobnost přijetí neoprávněné osoby. Výpočet FMR je podobný jako pro FAR. Mezi počet všech provedených porovnání však nejsou zahrnuty pokusy bez rozpoznání vzoru.

- **EER**

Equal Error Rate – míra vyrovnání chyb. Určuje, při jaké hodnotě prahu jsou hodnoty FNMR a FMR stejné – systém při takovém nastavení nesprávně odmítne a chybně autorizuje stejný počet osob. Hodnota EER ideálního biometrického systému je 0 – křivky FAR a FRR se neprotínají a nedochází k chybám.

- **ROC křivka**

Receiver Operating Characteristics – křivka vyjadřující robustnost systému. Většinou se vytváří z hodnot FNMR a FMR, případně z FRR a FAR. Tyto hodnoty jsou ovlivněny nastavením prahu rozhodování systému. Práh lze adaptivně upravovat pro minimalizování FRR nebo FAR [10]. Kvalitní systémy s vysokou bezpečnostní silou mají velmi nízkou hodnotu FAR ($<10^{-6}$) [2] při nízké hodnotě FRR. Na obrázku (Obr. 3) je příklad ROC křivek pro dva různě kvalitní systémy. Obrázek je pouze ilustrativní, se smyšlenými hodnotami.



Obr. 3 - ROC křivky

2 OPTICKÉ ZOBRAZENÍ KREVNÍHO ŘEČIŠTĚ PRSTU

2.1. Popis metody

Biometrie krevního řečiště je poměrně novou, ale rychle se rozvíjející metodou. Oproti jiným metodám, jako je např. snímání otisků prstů nebo rozpoznávání obličeje, využívá pouhýma očima neviditelných vlastností – větvení cévního řečiště ukrytého pod kůží. Je tedy značně odolná před falzifikací. Pro biometrické účely se používají cévy v prstech ruky nebo v celé dlani.

Cévní strom není možné snímat ve viditelném světle z důvodu vysokého rozptylu světla ve tkáni. Využívá se proto optických vlastností v erythrocytech obsaženého hemoglobinu, který částečně pohlcuje blízké infračervené záření. Tím je získána změna jasu a je možné odlišit žíly od okolní tkáně. Snímání obrazu je řešeno kamerou, která musí být schopna zaznamenat NIR záření s vlnovou délkou kolem 850 nm [11].

Podle umístění zdroje infračerveného záření můžeme rozlišovat metody [3]:

- **Transmisní**

Prst se pokládá mezi obrazový senzor a zdroj IR osvětlení. Prosvícením prstu se v cévách absorbuje část infračerveného záření, což se projeví tmavými místy na pořízeném snímku. Tato metoda poskytuje relativně vysoký kontrast zobrazení žilních struktur (Obr. 4), ale přístroj je z důvodu umístění osvětlení naproti snímači prostorově rozměrnější.

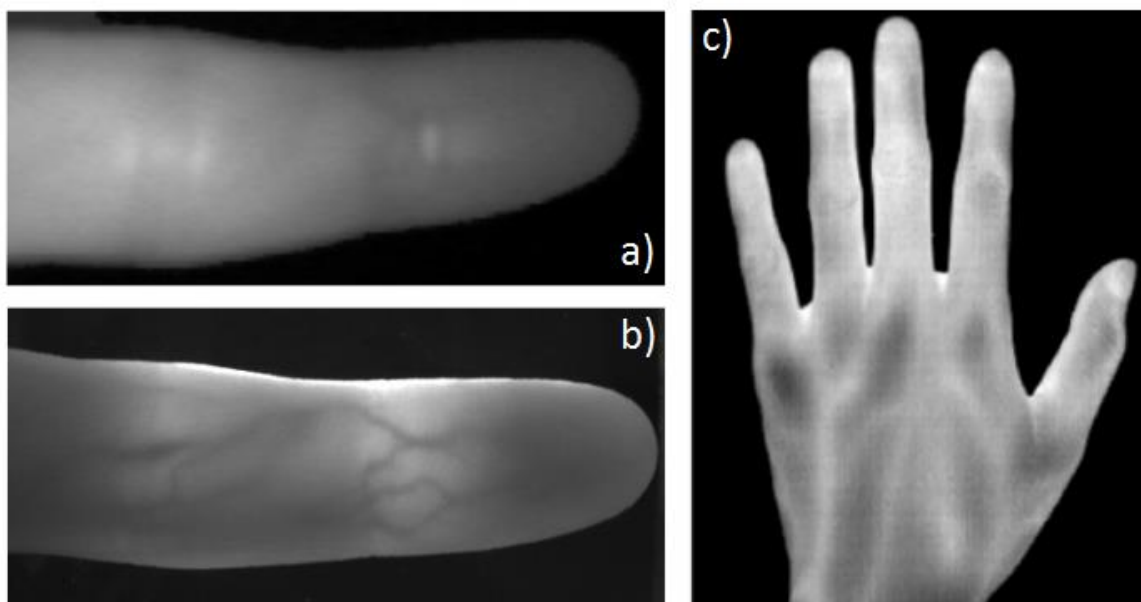
- **Reflexní**

Prst je nad snímačem, vedle kterého jsou rozmístěny IR LED. Prst je osvětlen a je snímáno odražené záření, které má nižší intenzitu v místech přítomnosti cév. Jelikož záření je z větší části odraženo od kůže a neprostoupí hlouběji do tkáně, je kontrast snímku pořízeného touto metodou nízký (Obr. 4). Oproti transmisní metodě však umístění osvětlovacích LED v rovině se snímačem umožňuje vyrobit přístroj menších rozměrů.

- **S bočním osvětlením**

Tato metoda, představená firmou Hitachi, je kompromisem mezi oběma předcházejícími metodami. IR LED jsou umístěny vedle prstu. Při nasvícení je záření uvnitř prstu rozptýleno a následně zachyceno obrazovým senzorem. Podle autorů je výstupem této metody kontrastní snímek a zároveň je zachována kompaktnost zařízení [3].

Při snímání krevního řečiště je kromě blízkého infračerveného záření možné využít i vzdálenou (FIR) část spektra. Využívá se skutečnosti, že krev v žilách je teplejší než okolní tkáň. Vyzařované teplo se zachycuje speciální FIR kamerou. Snímky však mají nízký kontrast (Obr. 4), což komplikuje extrakci vzoru žil. Tato metoda je z důvodu nízkého obsahu informací ve snímcích vhodná jen jako součást multimodálních systémů, případně pro ověření živosti [11].



Obr. 4 - Zobrazení metodou reflexní (a) a transmisní (b) [3],
FIR snímek ruky (c) [11]

2.2. Vlastnosti infračerveného záření

Infračervené (angl. InfraRed – IR) záření je neionizující elektromagnetické vlnění s vlnovou délkou λ v rozmezí od 760 nm do 1 mm. Pro porovnání, viditelné světlo má λ od 400 do 760 nm. Z důvodu měnících se vlastností v různých částech spektra se IR obecně dělí na pásma IR-A, IR-B a IR-C. Část spektra IR-A, blíže k vlnovým délkám viditelného světla, se často označuje jako blízké infračervené záření (angl. Near IR – NIR) [12].

V biometrii se můžeme setkat s použitím IR-A a IR-C částí spektra:

- IR-A s vlnovou délkou mezi 760 nm a 1400 nm se používá jako nasvícení při zobrazení větvení žil a při biometrii duhovky [2][13]. Při nasvícení očí IR-A záření neoslňuje, protože na něj oko není citlivé.
- Záření IR-C ($\lambda > 3 \mu\text{m}$), někdy označované jako vzdálené (angl. Far IR – FIR), se snímá při pořizování termického snímku obličeje za účelem rozpoznání obličeje [2] a někdy i při biometrii krevního řečiště ruky [11]. V tomto případě není potřeba přídatné osvětlení, protože se jedná o tepelné záření z povrchu těla.

2.3. Cévní zásobení dlaně a prstů

Cévy se u člověka utváří v průběhu prvních 8 týdnů těhotenství. Jejich růst je ovlivněn přítomností růstových faktorů a vlastnostmi prostředí dělohy. Větvení je u každého jedince unikátní a na každém prstu jiné [14] a vlivem dalšího růstu člověka ani s přibývajícím věkem se již nemění. Dochází pouze k angiogenezi (vytváření kapilár), podle potřeby zásobování tkáně živinami a kyslíkem.

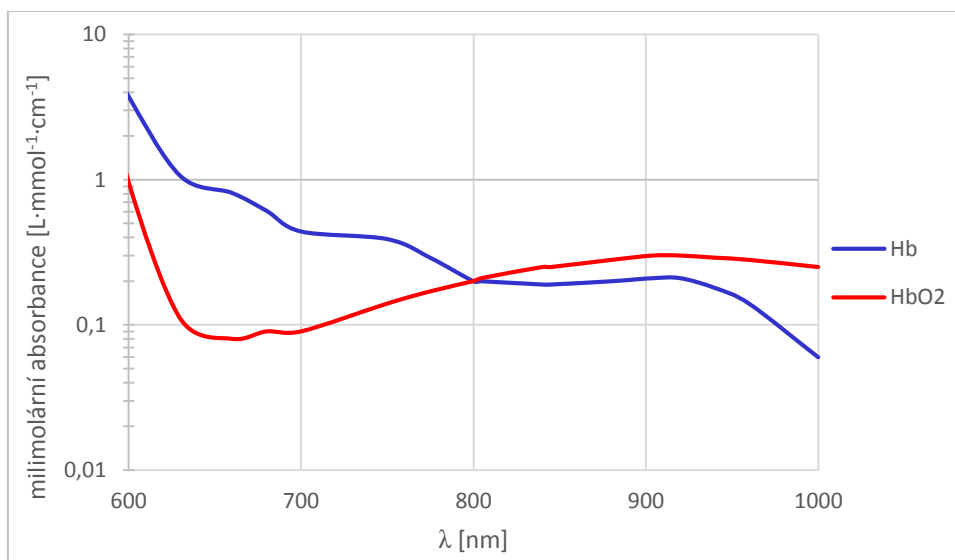
Jednou z mnoha funkcí krevního řečiště je dopravovat kyslík z plic do tkání. K tomu slouží erytrocyty, konkrétně hemoglobin v nich obsažený. V plicích je saturován kyslíkem a nazývá se oxyhemoglobin. V kapilárách se část kyslíku uvolní do tkání a dochází k redukci na deoxyhemoglobin, který je žilami přepravován zpátky do plic.

Anatomicky lze žilní systém ruky rozdělit na hluboké a povrchové žíly. Hlubokými žilami jsou v prstech vv. digitales a v dlaní na ně navazující vv. digitales palmares a vv. metacarpeae palmares, vstupující do žilního oblouku. Povrchové (podkožní) žíly vychází z prstů do arcus venosus digiti a spolu s cévami z dlaně a hřbetu ruky se napojují na cefalickou a bazilární žílu [15].

Průsvit cév je závislý na teplotě – v chladném prostředí dochází k jejich vazokonstrikci (zúžení). V žilách distálních částí těla je tak menší objem krve a při prosvícení NIR zářením dochází k menší absorpci. Kontrast obrazu zaznamenaného pro biometrické účely je tedy nižší, což může negativně ovlivnit proces rozhodování. Naopak v teplém prostředí dochází k vazodilataci (rozšíření), v žilách je více krve, absorpce záření je větší a tedy i kontrast je vyšší. Vzhledem k těmto skutečnostem není vhodné používat biometrické systémy snímající krevní řečiště vně budov, protože měnící se teploty v průběhu roku mohou způsobit neschopnost systému cévní strom zaregistrovat [16].

Tkáň a v ní obsažená voda výrazně rozptylují světlo ve viditelné oblasti spektra. Se zvyšující se vlnovou délkou rozptyl exponenciálně klesá [17], ale není zanedbatelný. Z tohoto důvodu jsou na zachyceném snímku vidět jen podkožní žíly blíže ke snímači. Zaznamenané větvení cév je tedy při snímání shora a zespodu prstu rozdílné. Hluběji uložené cévy není možné kvůli rozptýlenému světlu odlišit od okolní tkáně a nelze je tedy pro biometrii krevního řečiště využít.

Pro potlačení rozptylu není vhodné pouze zvýšit vlnovou délku použitého IR záření, protože absorpce deoxyhemoglobinu (Hb) i oxyhemoglobinu (HbO₂) by se tím snížila (Obr. 5), čímž by se zároveň snížil i kontrast žil oproti okolní tkáni. Při vyšších vlnových délkách se začíná projevovat i nižší citlivost použitého obrazového snímače, viz dále.

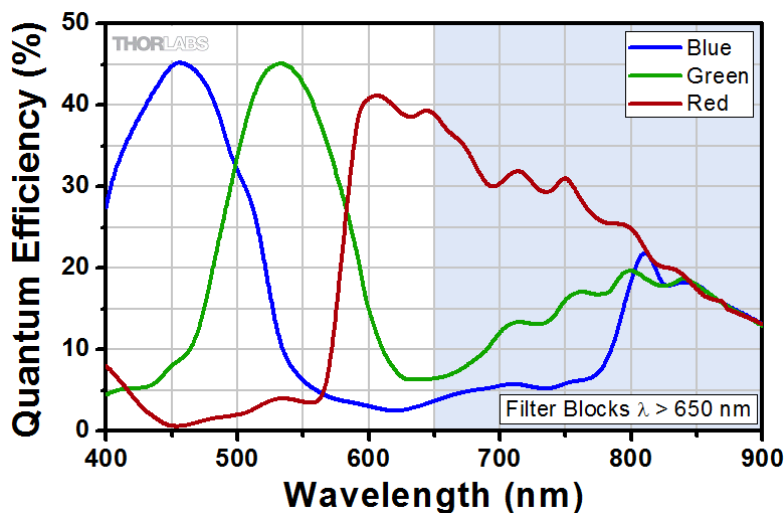


Obr. 5 - Absorpční spektrum HbO₂ a Hb [18]

2.4. Použití snímačů CCD/CMOS a filtrace IR záření

Přestože se pro snímání krevního řečiště využívá okem neviditelného infračerveného záření, je možné použít senzory z běžně dostupných kamer a fotoaparátů – CCD a CMOS. Je to umožněno jejich dostatečnou citlivostí na NIR spektrum (Obr. 6) a odpadá tak nutnost použití specializovaných a drahých IR snímačů. Tato citlivost je ovšem pro klasický barevný RGB (Red, Green, Blue) záznam nežádoucí, protože infračervené záření zkresluje zaznamenané barvy – např. zelené listy rostlin jsou v IR spektru bílé. Používá se proto filtr, který k senzoru propustí pouze okem viditelné záření (Obr. 6). Biometrie krevního řečiště však pro zobrazení žil blízké infračervené záření vyžaduje. Je tedy nutné takový filtr nahradit jiným, viditelné světlo blokujícím a NIR propouštějícím filtrem. Takový filtr se okem jeví jako černý, neprůhledný.

Na Obr. 6 je příklad citlivosti komerčního [19] CMOS senzoru na různé vlnové délky. Barevně je odlišena citlivost bodů snímače překrytých RGB maskou. Použitý IR filtr blokuje λ větší než 650 nm – v této oblasti se začíná ztrácet rozdíl mezi jednotlivými barvami a nad 850 nm lze již rozeznat pouze změnu intenzity záření bez závislosti na vlnové délce.



Obr. 6 - Citlivost CMOS senzoru na viditelné a NIR spektrum, převzato z [19]

2.5. Komerční přístroje pro optické snímání krevního řečiště prstu

Z důvodu vzrůstající oblíbenosti biometrické metody snímání krevního řečiště prstu i snižující se pořizovací ceny se na trhu objevují mnohá, snadno dostupná zařízení. Z použití v bankách se tyto systémy rozšiřují do firem a domácností. Je tedy možné si touto technologií zabezpečit osobní počítač, nebo třeba i celý dům.

Zde popsaná zařízení jsou uvedena pouze jako příklad. Na trhu se vyskytuje mnoho jiných společností nabízejících různé výrobky zaměřené na biometrii.

Zařízení firmy Morpho (Obr. 7) je multimodální – kombinuje snímání otisku prstu a větvení cév. Dle výrobce díky této kombinaci dosahuje hodnoty FAR až 10^{-8} a FRR o řád menší, než při použití pouze jedné z modalit [20]. Použitím prosvícení prstu z boku má zařízení kompaktní rozměry. Jedná se pouze o senzor – pro správné fungování je nutné připojení k počítači se speciálním programem.

Na obrázku (Obr. 7) vpravo je zařízení od firmy Hitachi, používající transmisní metodu snímání krevního řečiště. V horní části jsou umístěny IR diody, dole je umístěn snímač. Z důvodu tohoto rozmístění komponent je přístroj vyšší, ale odolnější proti vnějšímu osvětlení. Dle výrobce dosahuje hodnot FAR 10^{-6} a FRR 10^{-4} [21]. Stejně jako u předchozího zařízení se jedná pouze o snímač, poskytující data biometrickému programu v počítači.



Obr. 7 - Komerční přístroje: Morphosmart™ finger VP [20] a Hitachi Vein ID [21]

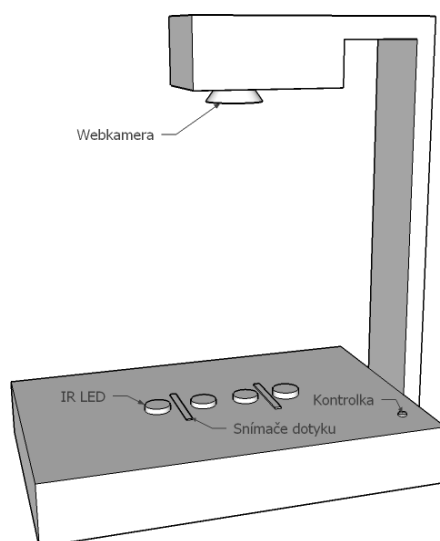
3 NÁVRH KONSTRUKCE PŘÍPRAVKU

3.1. Návrh přípravku

Přípravek použitelný pro biometrické snímání krevního řečiště musí obsahovat obrazový snímač a LED s vlnovou délkou v NIR oblasti spektra. Pro blokování spektra viditelného světla by měl být mezi prstem a snímačem umístěn NIR filtr. Po konstrukční stránce by měl být přípravek uživatelsky přívětivý a odolný pro běžné používání. Výstupní obraz musí být dostatečně kvalitní pro následné softwarové zpracování.

Z pořízených snímků (Obr. 11) je patrné, že nejvyššího kontrastu žil bylo dosaženo při použití LED s $\lambda = 880$ nm a snímání transmisní metodou, pro kterou bude přizpůsobena konstrukce přípravku. Ostatní metody poskytují příliš nízký kontrast a nejsou tedy vhodné.

Jako snímač obrazu je použita webkamera Genius FaceCam 1005 s odstraněným IR filtrem. Optika této kamery má poměrně malý zorný úhel a musí být tedy umístěna minimálně 7 centimetrů od prstu, aby záznam obsahoval celý prst. Konvenční konstrukce transmisní metody má osvětlení umístěno nahoře a širokoúhlou optiku snímače dole – pod prstem. Aby však přípravek neměl nadměrně rozměrnou základnu, bude webkamera umístěna na rameno nad snímanou plochu a infračervené LED budou spolu s další elektronikou umístěny do základny (Obr. 8).

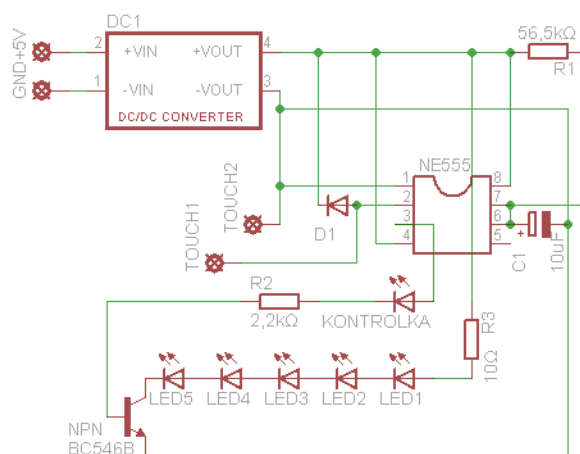


Obr. 8 - Nákres podoby přípravku

3.2. Ověření principu metody

3.2.1. Použité zapojení

Protože není nutné, aby infračervené LED neustále svítily, byl navržen jednoduchý obvod (Obr. 9), umožňující jejich zapínání dotykem. Aby byla homogenně prosvícena celá délka prstu, je použito 5 IR LED, které jsou v obvodu zapojeny do série. Dle výrobce [22] je maximální dovolený proud diodami 100 mA při napětí 1,5 V. Požadavkem je sice dosáhnout co největšího světelného výkonu, nesmí ale dojít k poškození LED. Proto byl proud použitím rezistoru R3 s hodnotou 10 Ω omezen na 95 mA.

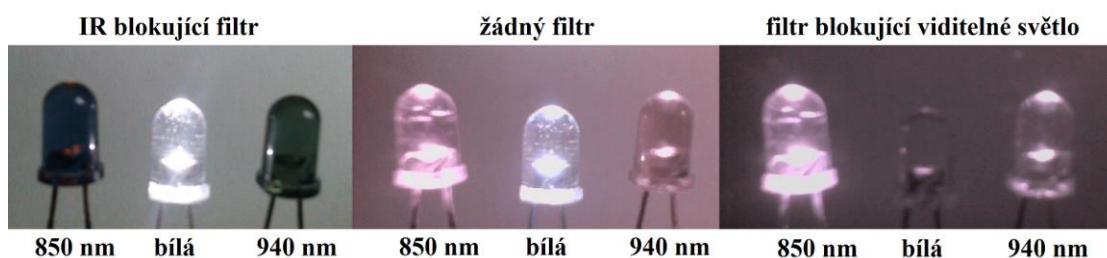


Obr. 9 - Schéma zapojení spínání IR LED

Sériové zapojení LED vyžaduje vyšší napájecí napětí, než má použité USB rozhraní, bylo tedy nutné použít měnič z 5 V na 9 V. Spínání diod je řešeno tranzistorem BC546B typu NPN, který je řízen výstupem časovače NE555. Tento je zapojen jako monostabilní klopný obvod – položením prstu na dotykovou plochu poklesne napětí na pinu 2 pod 1/3 napájecího napětí a přes výstupní pin 3 začne protékat konstantní proud, který způsobí rozsvícení kontrolky a otevření tranzistoru ovládajícího prosvětlovací LED. Neměnnost tohoto proudu je důležitá pro zajištění vždy stejné intenzity infračerveného záření, bez závislosti na kvalitě dotyku prstu s kontakty. Bezpečnost uživatele je zajištěna vnitřní proudovou ochranou použitého měniče napětí a napájením přes USB rozhraní s omezeným napětím. Vstupní napájení tohoto obvodu je paralelně připojeno na napájecí vodiče USB kabelu webkamery.

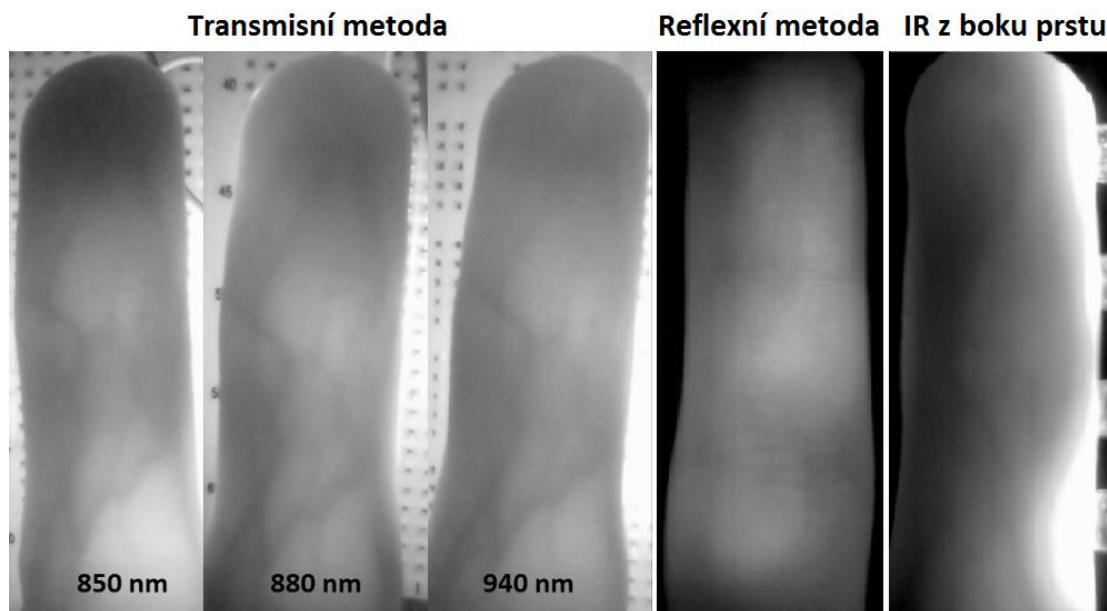
3.2.2. Srovnání metod snímání žil prstu

Na Obr. 10 je srovnání fotografií různých LED za různých podmínek – s původním IR blokujícím filtrem, bez žádného filtru a s filtrem propouštějícím NIR záření ale blokujícím viditelné světlo – pokusně bylo zjištěno, že je k tomuto účelu možné použít i polarizační folie vzájemně otočené o 90°. Světlo z bílé LED není při použití dvou polarizačních folií téměř vidět – není tedy nutné využívat speciální IR filtry.



Obr. 10 - Různé filtry a LED s různými vlnovými délkami

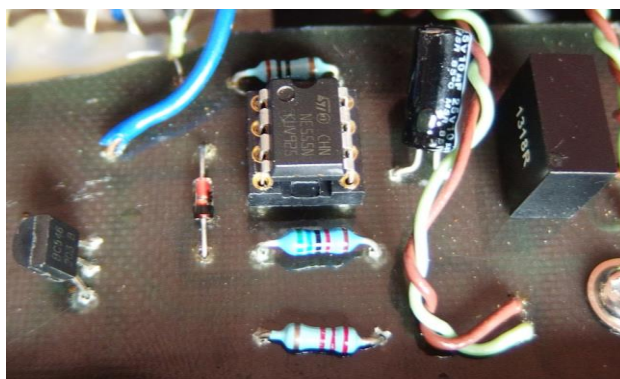
Na Obr. 11 jsou testované metody snímání krevního řečiště prstu a srovnání kontrastu žil při použití transmisní metody v kombinaci s různými vlnovými délkami IR LED. Reflexní metodou ani osvětlením z boku prstu nebylo možné žíly zaznamenat.



Obr. 11 - Testování metod snímání a test LED s různými λ

4 REALIZACE A TESTOVÁNÍ PŘÍPRAVKU

Konstrukce přípravku vychází z nákresu (Obr. 8). Uvnitř základny je umístěna deska plošných spojů (Obr. 12) s obvodem (Obr. 9) pro spínání diod přiložením prstu na kontaktní plochy. Tyto jsou tvořeny dvěma odizolovanými měděnými vodiči ohnutými do potřebného tvaru. Pět použitých infračervených LED s vlnovou délkou 880 nm má z důvodu vyšší homogenity záření zbroušené pouzdro (Obr. 13). Tímto je zároveň dosaženo i vyššího uživatelského komfortu při přikládání prstu. Na kovovém rameni je připevněna webkamera s vyčnívající čočkou, kterou je možné v případě potřeby obraz manuálně zaostřit. Před čočkou jsou umístěny polarizační filtry blokující většinu viditelného světla. Přípravek se k PC připojuje pomocí USB konektoru, který slouží k přenosu obrazových dat i k napájení.

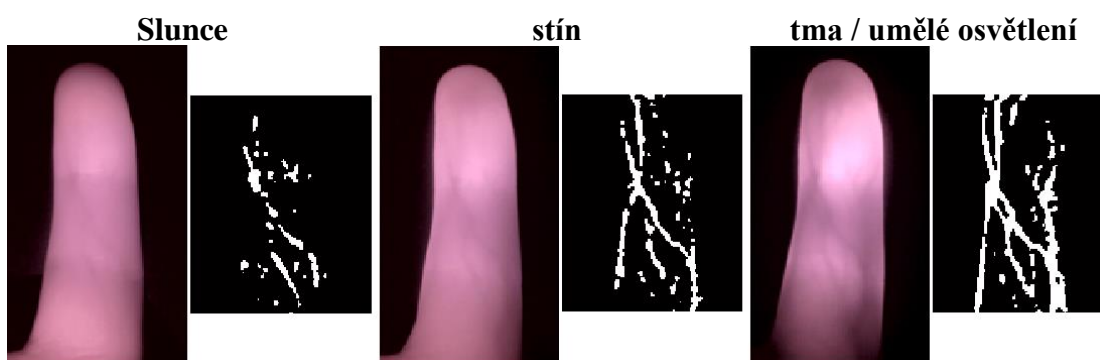


Obr. 12 - Deska plošných spojů přípravku s osazenými součástkami



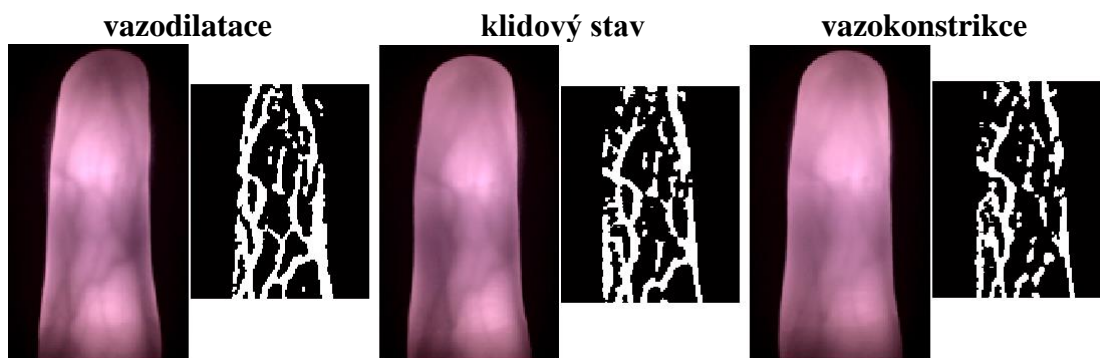
Obr. 13 - Realizované zařízení pro snímání větvení žil prstu

Testování zařízení probíhalo za různých světelných podmínek – na přímém slunečním světle, za denního světla ve stínu, za umělého osvětlení a ve tmě. Nejhorších výsledků bylo dosaženo v místnosti se zdroji intenzivního infračerveného záření (Slunce, wolframové žárovky). V tomto případě se odráží od povrchu prstu více záření, než jím prostupuje, což se projeví nižším kontrastem žil na pořízeném snímku (Obr. 14). Ve stínu je kontrast také nízký, ale dostatečný pro extrakci většiny cévního větvení. Zářivky a LED svítidla mají v IR části spektra malý světelný výkon a přípravek je tedy možné v jejich blízkosti používat. Ve tmě a za umělého osvětlení je snímek identický, s nejméně výrazným zobrazením žil z testovaných prostředí.



Obr. 14 - Různé typy osvětlení a získaná větvení žil

Dále byla testována závislost viditelnosti žil na teplotě, popsána v kapitole 2.3. Při nízkých teplotách dochází k vazokonstrikci, která by se měla na snímku projevit nižším kontrastem žil. Při působení tepla naopak dochází k vazodilataci a kontrast by měl být větší. Prst byl snímán po zahřátí a fyzické aktivitě, v klidu a nakonec po krátkém zchlazení v ledové tříšti. Z výsledků na Obr. 15 je patrná výrazná změna kontrastu při změně teploty, projevující se různou kvalitou filtrovaného vzoru. Kvůli nízké viditelnosti cév tedy není vhodné tuto biometrickou metodu při nízkých teplotách používat.

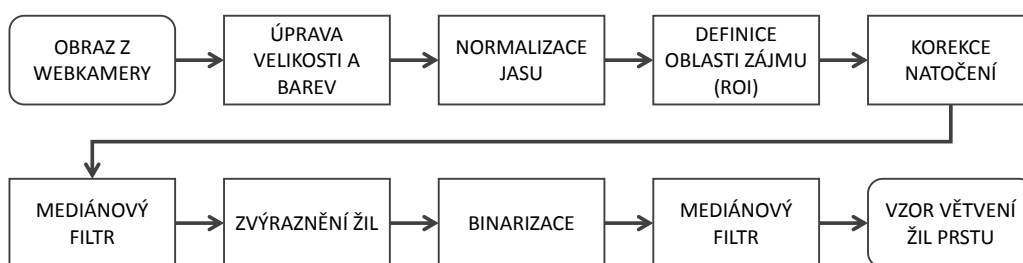


Obr. 15 - Závislost viditelnosti žil na teplotě

5 PŘEDZPRACOVÁNÍ OBRAZOVÝCH DAT

5.1. Navržené metody předzpracování obrazu

Fotografie prstu prosvíceného NIR zářením obsahuje velké množství informací o geometrii, intenzitě jasu, kontrastu apod. Nedílnou složkou bývá i šum způsobený samotným obrazovým senzorem. Aby bylo možné obraz biometricky zpracovat, je nutné pořízenou fotografii pomocí různých postupů a filtrací upravit a získat z ní požadované informace – strukturu větvení žil. Na Obr. 16 je znázorněn navržený proces předzpracování snímků získaných z webkamery přípravku. Dále jsou popsány jednotlivé kroky tohoto procesu.



Obr. 16 - Proces předzpracování obrazu

Změna rozlišení a převod na šedotónový obraz

Obraz nasnímaný z webkamery je barevný, s prostorovým rozlišením 1280×720 obrazových bodů (pixelů). Z důvodů snížení nároků na paměť a výpočetní výkon je vhodné snímek zmenšit a převést do škály šedé. Tento převod je možné provést např. výběrem jediné barvy z matice RGB nebo sumací jednotlivých vrstev. Nejlepších výsledků bylo dosaženo při změně rozlišení na 15 % původní velikosti (192×108 pixelů) a součtu všech barevných složek výchozího obrazu.

Normalizace jasu

Pro další práci s obrazem je nutné jej normalizovat, tedy převést do relativního měřítka. Tento proces může být lineární nebo nelineární [9]. Byla zvolena lineární normalizace na hodnoty v intervalu 0 až 1, přičemž hodnotám 0 odpovídají černé plochy a 1 mají plochy bílé (s nejvyšší intenzitou jasu). Vzorec pro výpočet normalizace n z obrazu m je

$$n(x, y) = \frac{m(x, y) - \min(m)}{\max(m) - \min(m)}. \quad (1)$$

Definování oblasti zájmu (ROI)

Důležitým krokem je definování oblasti zájmu – ROI (Region Of Interest). Při snímání se do obrazu zaznamenává i plocha kolem prstu, obsažená v zorném poli webkamery. Před samotnou extrakcí vzoru žil je tedy nutné odlišit prst od okolí, jež je možné odstranit. Tímto postupem lze mimo jiné snížit paměťové nároky, protože obraz obsahuje méně informací. Navíc je možné ze získané plochy provádět i biometrické porovnávání geometrie prstu [6], které je však nutné z důvodu nízké variability tvaru kombinovat s jinými metodami.

Určení ROI je možné obecně provádět manuálně interaktivním vyznačením oblasti zájmu nebo automaticky, např. pomocí dynamického prahování obrazu [23]. Pro definování plochy prstu byla použita metoda prahování s pevně nastaveným prahem [24]. Výstupem je matice binárních hodnot, ve které je v místech intenzity jasu vyšší než práh hodnota 1 a naopak místa s intenzitou nižší než práh mají hodnotu 0 (Obr. 17). Takto vytvořená maska je v následujícím kroku použita ke zjištění úhlu natočení prstu.

Korekce natočení prstu

Aby bylo možné srovnávat vzájemnou podobnost dvou snímků, je nutné zajistit jejich identickou orientaci. Ne vždy je prst na přípravek položen pod stejným úhlem, proto je nutné orientaci získaných snímků normalizovat. K tomuto účelu byl navržen postup využívající masku ROI z předchozího kroku. Ze souřadnic dvou bodů na detekované hraně prstu je vypočten směrový vektor $u = [x_2 - x_1, y_2 - y_1]$. Z něj a ze směrového vektoru osy y $v = [0, 1]$ je následně pomocí vzorce pro výpočet odchylky dvou přímek (2) vypočítán kosinus úhlu natočení. Obraz je pak použitím funkce `imrotate` otočen zpět o přepočtený úhel, čímž je zajištěna vždy stejná orientace prstů na srovnávaných snímcích. Vzorec pro výpočet kosinu odchylky směrových vektorů u a v má tvar

$$\cos \alpha = \frac{|u \cdot v|}{|u| \cdot |v|}. \quad (2)$$

Mediánový filtr

Mediánový filtr patří mezi nelineární filtry a slouží k odstranění šumu, především typu „sůl a pepř“, tedy bodové impulsy bílé a černé barvy typické pro obrazové snímače typu CCD a CMOS. Oproti např. průměrovacím filtrům má tu výhodu, že zachovává hrany v obraze. Pracuje na principu hledání mediánu z masky definované velikosti, např. 3×3 . Tato maska se posouvá nad obrazem a hodnoty jasu pod ní jsou seřazeny podle velikosti. Prostřední z těchto hodnot (medián), je dosazena na místo středu masky do nově vytvářeného, filtrovaného obrazu.

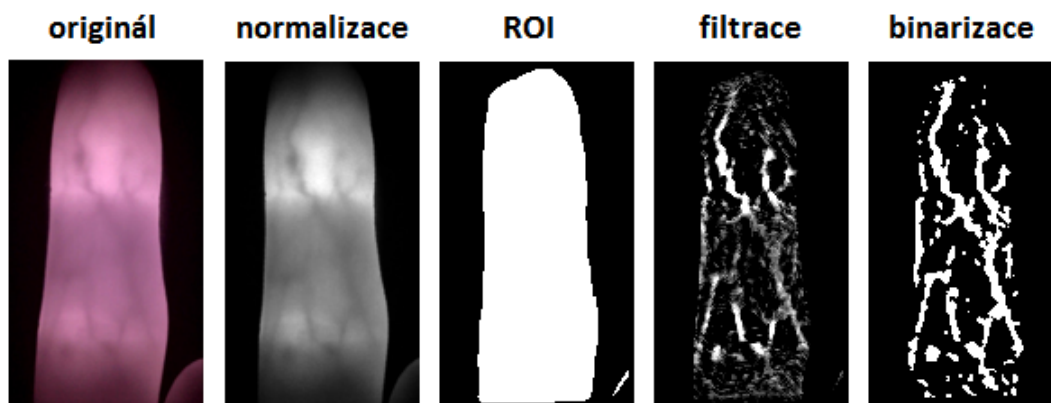
Filtr pro zvýraznění žil

I při použití transmisní metody snímání mají žíly oproti okolní tkáni nízký kontrast, který neumožňuje jejich přímou grafickou extrakci. Je tedy nutné použít filtr ostríicí hrany v obraze a tímto cévní řečiště zvýraznit [6]. Pro objektivní výběr nejvhodnější metody filtrace byly některé typy filtrů otestovány na sérii snímků prstů s cílem dosáhnout co nejnižší chyby EER. Popis vybraných filtrů a dosažené výsledky jsou obsahem následující kapitoly 5.2.

Binarizace obrazu

Výstupem předchozího kroku je šedotónový snímek obsahující nejen zvýrazněné žíly ale i šum. Pro extrakci žilního větvení a odstranění méně kontrastních částí obrazu je proto nutné obraz binarizovat, tzn. převést na binární hodnoty 0 a 1. Tento proces je stejný jako u extrakce ROI – je použito prosté prahování. Práh je nastaven na konstantní, empiricky zvolenou hodnotu 20 % z maximální hodnoty intenzity jasu přítomné ve snímku.

Alternativními metodami k jednoduchému prahování jsou například LBP (Local Binary Patterns) a LDP (Local Directional Patterns), také používané pro binarizaci snímků určených pro biometrii krevního řečiště prstu [6]. Tyto metody využívají pro zvýšení přesnosti i blízké okolí binarizovaného bodu, jsou však výpočetně náročnější.



Obr. 17 - Zobrazení výstupů jednotlivých kroků předzpracování

5.2. Testování vhodných filtrů pro zvýraznění žil

Filtrů umožňujících ostření obrazů existuje velmi mnoho. Pro testování byly zvoleny metody filtrace již osvědčené [6][25] v biometrickém zpracování obrazů – Gaborův a Gaussův filtr. Pro účely testování byl vytvořen i jednoduchý filtr typu horní propust, zvýrazňující hrany ve snímku – tedy změnu intenzity jasu mezi tmavší cévou a světleji zobrazenou okolní tkání. Pro další zpracování pomocí binarizace je vhodné zajistit tento rozdíl intenzit (kontrast) co největší. Vytvořené konvoluční masky testovaných filtrů byly použity pro filtraci zkušebních snímků prstů pomocí funkce `conv2` v programu Matlab.

Gaborův filtr

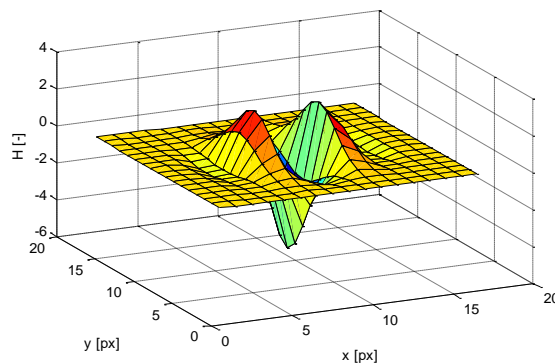
Tento filtr byl navržen s ohledem na to, jak lidské oko vnímá kontrast na rozhraní světlé a tmavé plochy. Umožňuje provádět filtraci v nastaveném směru a pro určitou velikost hran díky konvoluční masce, která má tvar směrově orientované vlnky (Obr. 18). Z pohledu zpracování obrazů ve frekvenční oblasti se jedná o pásmovou propust. Obecná rovnice symetrického Gaborova filtru [25] má podobu

$$H(x, y, \Phi, f) = \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{x_{\Phi}^2}{\delta_x^2} + \frac{y_{\Phi}^2}{\delta_y^2} \right] \right\} \cos 2\pi f x_{\Phi}, \quad (3)$$

kde $x_{\Phi} = x \cos \Phi + y \sin \Phi$,

$y_{\Phi} = -x \sin \Phi + y \cos \Phi$, Φ je orientace filtru v radiánech, δ je prostorová konstanta a f je frekvence vlnky.

Pro testování byla zvolena orientace filtru od $\frac{1}{4} \pi$ do $\frac{3}{4} \pi$ po kroku $\frac{\pi}{8}$, velikost masky 17×17 bodů a velikost konstanty $\delta = 2,2$. Šířka vlnky je 5 pixelů, což je přibližná velikost žil odečtená ze snímku. Filtrované obrazy pro různé směry byly nakonec sečteny a normalizovány. Výsledek filtrace pro součet směrů i pro jediný směr vlnky je na Obr. 21.



Obr. 18 - Zobrazení konvoluční masky Gaborova filtru

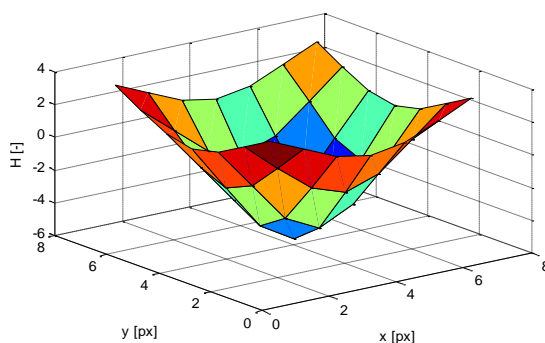
Gaussův filtr

Jedná se o všesměrový, středově symetrický filtr, jehož konvoluční maska má tvar Gaussovy funkce. Modifikovaný filtr (4), který je možné jako horní propust využít pro zvýraznění žil prstu ze snímku [6] má tvar

$$H(x, y) = a \left(1 - e^{-\frac{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}{2\sigma^2}} \right) + b, \quad (4)$$

kde x a y jsou vzdálenosti od středu (x_0, y_0) konvoluční matice, a zajišťuje zesílení, b odstraňuje offset tak, aby součet všech hodnot byl blízký nule a σ je směrodatná odchylka.

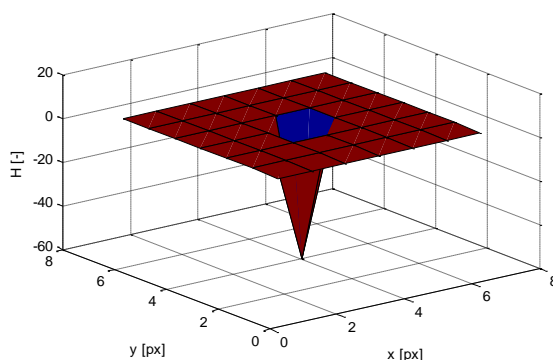
Po přizpůsobení parametrů filtru velikosti obrazu bylo nejlepších výsledků (Obr. 21) dosaženo při velikosti masky 7×7 bodů a nastavení konstant na hodnoty $a = 10$ a $b = -5,63$. Prostorové znázornění vypočtené konvoluční masky je na Obr. 19.



Obr. 19 - Konvoluční maska Gaussova filtru

Vlastní filtr typu horní propust

Jako poslední testovaný filtr byla vytvořena jednoduchá horní propust s velikostí masky 7×7 bodů a středovým zvýrazněním. Navržený filtr je všesměrový a produkuje podobné výsledky (Obr. 21) jako testovaný Gaussův filtr.



Obr. 20 - Konvoluční maska vlastního filtru

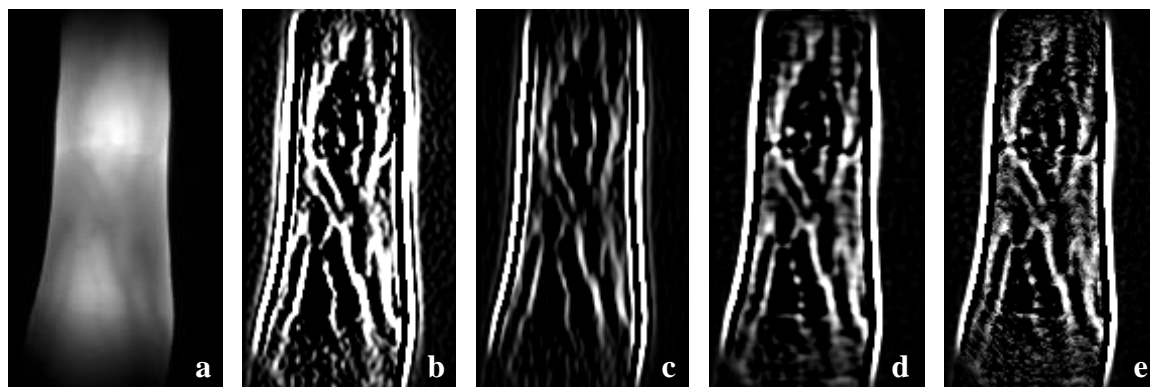
Postup vytvoření použité konvoluční masky (Obr. 20) je v programu Matlab následující:

```
H = 1.25.*ones(7,7);  
H(4,4) = -60;
```

Uprostřed matice je hodnota -60 a v okolí 7×7 jsou hodnoty 1,25. Tímto je zajištěn nulový součet koeficientů filtru pro potlačení stejnosměrné složky obrazu.

Srovnání popsaných filtrů

Na obrázku srovnávajícím filtrační metody je patrné zkreslení okraje prstu při použití Gaborovy filtrace pro všechny směry (Obr. 21b). Je to způsobeno součtem více obrazů, čímž se sčítá a zvýrazňuje i šum. Při filtraci v jediném směru je kontrast žil srovnatelný s ostatními použitými filtry (Obr. 21c), cévy se však v prstu větví ve všech směrech a část se jich tedy po filtraci nezobrazí. Gaussův a vlastní filtr typu horní propust mají velmi podobné výsledky.



Obr. 21 - Zdrojový obraz (a), Gaborův filtr (b, c), Gaussův (d) a vlastní filtr (e)

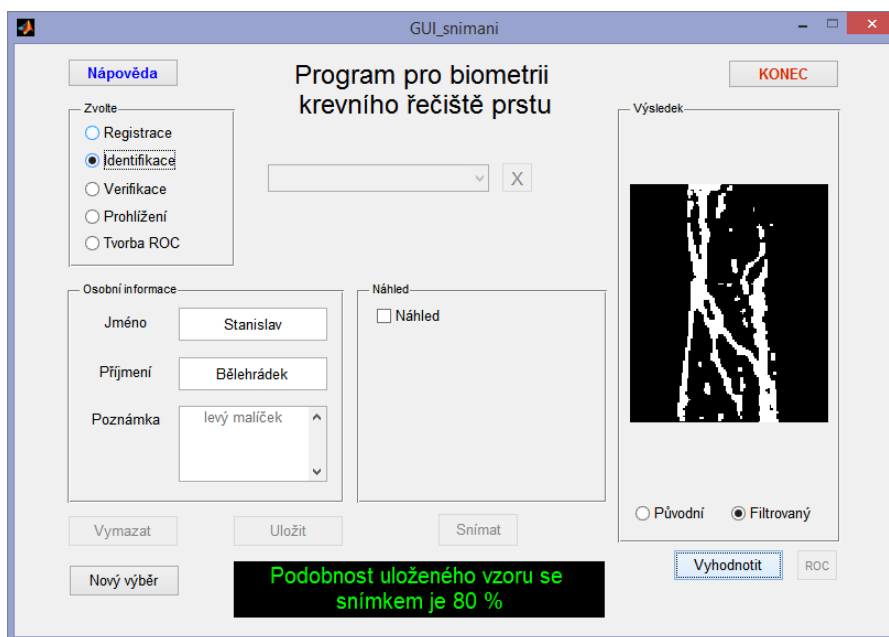
Testování všech popsaných filtrů bylo prováděno na sérii 60 snímků dvanácti prstů – pět pro každý prst. Jako kritérium hodnocení byla zvolena míra vyrovnaní chyb EER, která by měla být u kvalitního biometrického systému co nejnižší.

Při použití Gaborova filtru byla velikost EER = 0,83 % pro součet všech směrů hran a EER = 1,67 % pro jediný směr. Gaussův filtr umožnil dosažení EER = 0,06 % a vlastní navržený filtr hodnoty EER = 0,00 %. I přes to, že Gaborův filtr zvýrazňuje vizuálně lépe, všesměrové filtry mají nižší EER. Pravděpodobně z důvodu menšího zkreslení okrajů prstu.

Pro zvýraznění větvení žil byl nakonec zvolen vlastní filtr typu horní propust, při jehož použití se testovací algoritmus rozhodoval bezchybně. Velikost EER odpovídá vyrovnaní chyb FAR a FRR, jejichž výpočet je uveden v následující kapitole 5.3.

5.3. Implementace navržených metod do programu

Program pro biometrické zpracování snímků prstu z webkamery přípravku je součástí grafického rozhraní (Obr. 22), vytvořeného v prostředí GUIDE MATLABu. Uživatel má možnost volby mezi registrací (ukládání uživatelských dat spolu se získaným biometrickým vzorem do databáze), prohlížení uložené databáze, identifikací nebo verifikací osoby. Poslední funkcí je tvorba ROC křivky s výpočtem chyby EER pro hodnocení kvality systému. V této kapitole jsou popsány významné části vytvořeného programu.



Obr. 22 - Grafické rozhraní v režimu identifikace

Databáze

Při spuštění programu je ze souboru *databaze.mat* načtena databáze obsahující uživatelská data. Pokud tento soubor neexistuje, je nově vytvořen, aby bylo možné provést novou registraci. Soubor obsahuje proměnnou `osoba` datového typu `struktura`, obsahující zaznamenané informace – jméno, příjmení, poznámku (snímaný prst), vzor cévního větvení a originální, ale zmenšený snímek. V režimu prohlížení je možné tyto údaje procházet a případně i mazat. Z důvodu nemožnosti obnovy smazaných údajů je uživatel nucen každé vymazání potvrdit. V režimu verifikace je nasnímané větvení porovnáváno pouze s konkrétním, uloženým vzorem. Při identifikaci je procházena celá databáze a vybírána maximální shoda. Při tvorbě ROC není soubor s databází využíván – získaná větvení krevního řečiště prstu jsou ukládána a zpracovávána anonymně. Jelikož je databáze při spuštění programu nahrána do paměti, přístup k ní je okamžitý – např. verifikace trvá pouze 0,7 sekundy a čas potřebný k identifikaci osoby z databáze 16 záznamů je 1,6 sekund.

Předzpracování obrazu

K předzpracování obrazu byl použit postup navržený dříve (Obr. 16). Nejprve je nutné definovat rozhraní a rozlišení webkamery. Webkamera použitá v přípravku má integrovanou automatickou korekci barev, která by způsobovala rozdílné výsledky při vícenásobném snímání. Proto jsou parametry snímání obrazu webkamerou pevně nastaveny následujícími příkazy z Image Acquisition toolboxu:

```
video=videoinput('winvideo', 1, 'MJPG_1280x720');  
src = getselectedsource(video);  
set(src, 'BacklightCompensation', 'off')  
set(src, 'Contrast', 20, 'Sharpness', 0, 'Brightness', 0, 'Gamma', 100)  
set(src, 'WhiteBalanceMode', 'manual', 'WhiteBalance', 6500)
```

Samotné snímání je realizováno funkcí `getsnapshot(video)`, která uloží aktuální snímek do proměnné pro další zpracování.

Ke zvýraznění větvení žil je použita funkce `conv2(F, H, 'same')`, která provádí filtraci obrazu uloženého v proměnné `F` použitím konvoluční masky `H`. Parametr `'same'` zajišťuje, aby měl výsledný obraz stejnou velikost jako vstupní. Odstranění okolí prstu je vyřešeno vynásobením filtrovaného obrazu s binární maskou ROI.

Pro snížení výpočetních nároků je snímek před dalším zpracováním oříznut následujícím způsobem. Z ROI je nalezena špička prstu, k jejíž poloze je přičtena vzdálenost 20 obrazových bodů směrem do středu obrazu. Odtud je vybrána plocha s empiricky zvoleným rozlišením 130×108 pixelů (oproti zmenšenému obrazu s rozlišením 192×108 bodů), která již neobsahuje distální a proximální části prstu. V těchto oblastech je jen minimum cévních větvení a po filtraci zde přítomný šum pouze zhoršuje výsledky následného zpracování.

Biometrické zpracování obrazu

Nejdůležitější částí programu je algoritmus pro srovnávání získaného větvení žil s uloženým vzorem, což je samotný princip biometrie krevního řečiště prstu. Výpočet podoby dvou snímků je realizován jejich vzájemnou korelací použitím funkce pro konvoluci `conv2(vzor1, vzor2)`, přičemž první vzor je otočen o 180° . Použitá funkce posouvá masku `vzor2` po celé ploše prvního vzoru a vytváří výstupní matici, která obsahuje součet násobků hodnot obou překrývajících se obrazů. Jelikož jsou zpracovávány binární obrazy, obsahem výstupní matice je počet jedniček, které jsou na obou snímcích na stejném místě pro konkrétní polohu konvoluce. Podílem maxima z vypočtené matice a součtu všech jedniček v prvním vzoru je vypočtena podobnost obou srovnávaných vzorů. Pokud není nalezen žádný společný bod, je podobnost nulová a pokud je naopak nalezeno maximum rovnající se počtu jedniček binárního obrazu `vzor1`, je podobnost 1.

Nalezená podobnost je vynásobena číslem 100 pro získání procentuální shody a srovnávána s prahem nastaveným na empiricky zvolenou hodnotu 55 %. Pokud je shoda větší než tento práh, oba srovnávané obrazy pravděpodobně patří stejné osobě. Pokud je nižší, program uživatele při verifikaci odmítne jako neoprávněnou osobu a v režimu identifikace jej nenalezne v databázi.

Hodnocení kvality systému

V režimu tvorby ROC je při snímání vytvořena složka *vzory*, do které jsou ukládány originální snímky a soubor *vzory_serie.gif*, do kterého se ukládají filtrované vzory větvení žil. Aby vytvořený algoritmus fungoval správně, je nutné snímání provádět po sérii 10 snímků pro jeden prst. Určení velikosti EER, tvorba ROC křivky a hodnoty chyb FAR a FRR jsou vypočítány podle definic uvedených v kapitole 1.6.

Nejprve jsou vzájemnou korelací srovnána pořízená cévní větvení. Proměnná `true` obsahuje výsledky korelací všech jedinečných kombinací pro stejné prsty a v proměnné `false` jsou uloženy podobnosti pro kombinace rozdílných prstů. Velikost FAR je následně vypočtena jako poměr počtu hodnot v proměnné `false` větších než práh k celkovému počtu hodnot a velikost FRR je vypočtena jako poměr počtu hodnot v proměnné `true` menších než práh k celkovému počtu hodnot v této proměnné. Výpočet je proveden pro nastavení prahu od 0 do 100 % po kroku 0,1 % pomocí následujících příkazů:

```
p=1;
for prah=0:0.001:1
    FAR(p)=100*length(find((false>prah)==1))/length(false);
    FRR(p)=100*length(find((true<prah)==1))/length(true);
    p=p+1;
end
```

Graficky jsou vykresleny velikosti FAR a FRR v závislosti na nastavení prahu, určení velikosti EER v místě jejich protnutí a ROC křivka jako závislost mezi FAR a FRR. Do Command Window programu Matlab jsou o proběhlých výpočtech vypsány informace, ze kterých je také možné posoudit kvalitu biometrického systému. Výstup může být například:

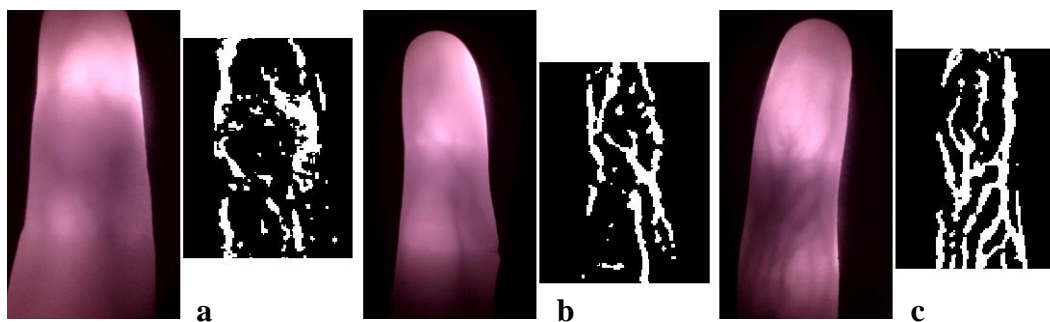
```
zpracováno: 5 prstů po 10 snímcích
nejnižší shoda jiného prstu: 28.9685 %
nejvyšší shoda jiného prstu: 58.6239 %
nejnižší shoda stejného prstu: 56.2568 %
nejvyšší shoda stejného prstu: 90.5963 %
průměrná shoda jiného prstu: 44.1169 %
průměrná shoda stejného prstu: 77.9877 %
```

6 HODNOCENÍ KVALITY VYTVOŘENÉHO BIOMETRICKÉHO SYSTÉMU

6.1. Snímání databáze snímků

Snímání databáze větvení krevního řečiště prstů probíhalo na 16 dobrovolnících na různých místech, vždy však v místnosti s minimem rušivého infračerveného záření. Každý byl před samotným snímáním instruován, aby pokládal stejný prst desetkrát na kontaktní plochy přípravku a nejlépe vždy pod různým úhlem. Tímto bylo simulováno reálné používání biometrického systému jako docházkového terminálu – uživatel (zaměstnanec) v průběhu pracovního týdne přichází a odchází a pokaždé na snímač přiloží prst jinak, přičemž systém by jej měl správně identifikovat. Od každého dobrovolníka bylo podle časových a fyzických možností nasnímáno 1 až 8 prstů (od ukazováčku po malíček pro obě ruce) z důvodu větší velikosti vytvářené databáze. Za předpokladu, že má každý člověk na každém prstu rozdílně větvené cévy [14], lze totiž další takto získané snímky považovat pro účely testování kvality systému za snímky pořízené od jiné osoby.

Celkem bylo zaznamenáno 360 fotografií pro 36 unikátních prstů. Na Obr. 23 je výběr některých snímků s lépe i hůře viditelnými žilami spolu s jejich získanými vzory větvení.



Obr. 23 - Vybrané snímky prstů a odpovídající vzory větvení cév

Mezi problémy, které během snímání nastaly, patří fyzické omezení pohyblivosti prstů některých osob z důvodu kloubních onemocnění. Takto nemocné prsty nemůže dobrovolník správně narovnat a strukturu žilního větvení tak není možné zaznamenat. Dalším problémem je hlubší uložení žil a silná kůže prstů některých osob, která způsobuje nízký kontrast cév na snímku (Obr. 23a). Z tohoto důvodu byl pro snímání preferován malíček, na kterém bývají cévy nejzřetelnější – viz Obr. 23c, který je navíc jedním z nejvíce kontrastních ze získaných větvení. Na Obr. 23b je patrné drobné zranění na okraji prstu, které by v případě přítomnosti na snímané ploše mohlo způsobit chybné vyhodnocení.

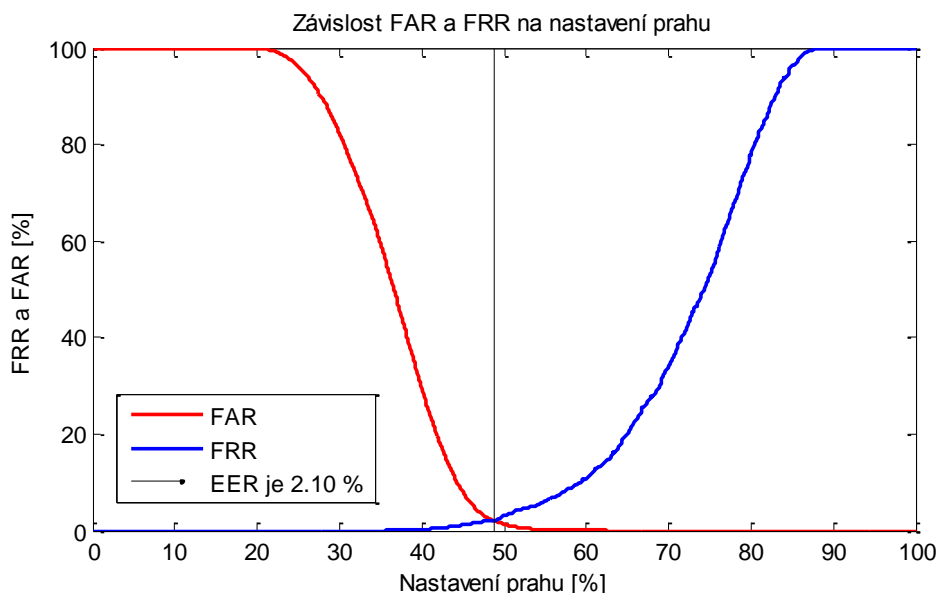
6.2. Zhodnocení výsledků

Při snímání v režimu tvorby ROC je vytvářen soubor *vzory_serie.gif*, který obsahuje všechny filtrované vzory větvení žil. Zpracování tohoto souboru probíhalo na notebooku s dvoujádrovým procesorem s taktovací frekvencí 1,75 GHz. Celý výpočet trval přibližně 64 minut, přičemž srovnáváno bylo celkem 63000 kombinací vzorů pro jiné a 1620 pro stejné prsty. Textový výstup programu po zpracování všech dat je následující:

```
zpracováno: 36 prstů po 10 snímcích
nejnižší shoda jiného prstu: 18.0943 %
nejvyšší shoda jiného prstu: 62.4602 %
nejnižší shoda stejného prstu: 35.6661 %
nejvyšší shoda stejného prstu: 88.6852 %
průměrná shoda jiného prstu: 36.3361 %
průměrná shoda stejného prstu: 72.3461 %
```

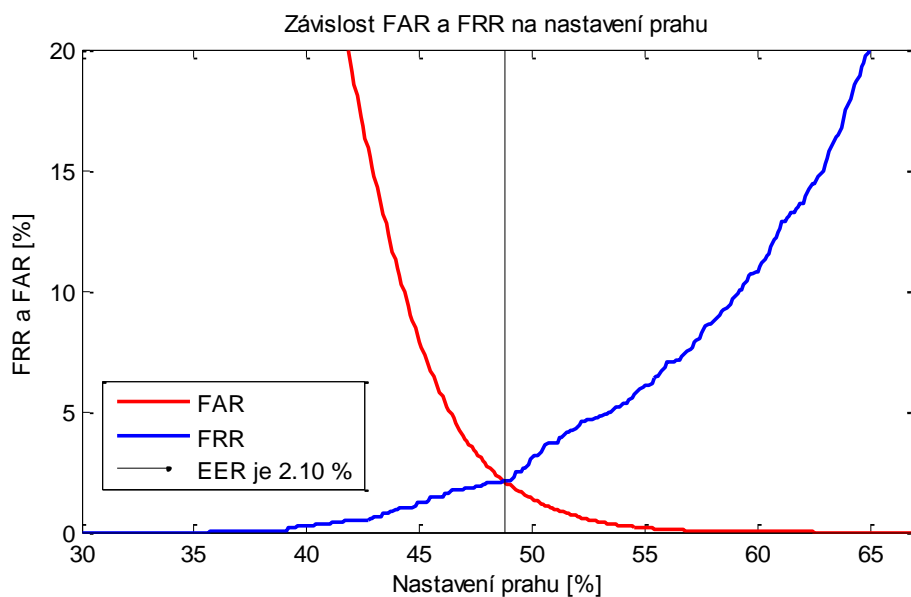
Z výsledků pro nejvyšší shodu odlišných prstů a nejnižší podobnost stejných prstů lze odvodit, že se budou závislosti FRR a FAR překrývat. Systém rozhodování tedy není ideální a vždy se bude s určitou pravděpodobností dopouštět některé z chyb. Z průměrných hodnot lze však vyčíst, že k chybnému rozhodování dochází pouze v extrémních případech a rozdíl mezi shodami pro odlišné a stejné prsty je většinou dostatečný.

Grafické výstupy programu zobrazují závislost FAR a FRR na nastavení velikosti prahu spolu s vyznačením míry vyrovnání chyb EER (Obr. 24 s detailem na Obr. 25) a křivku ROC (Obr. 26 s detailem na Obr. 27).

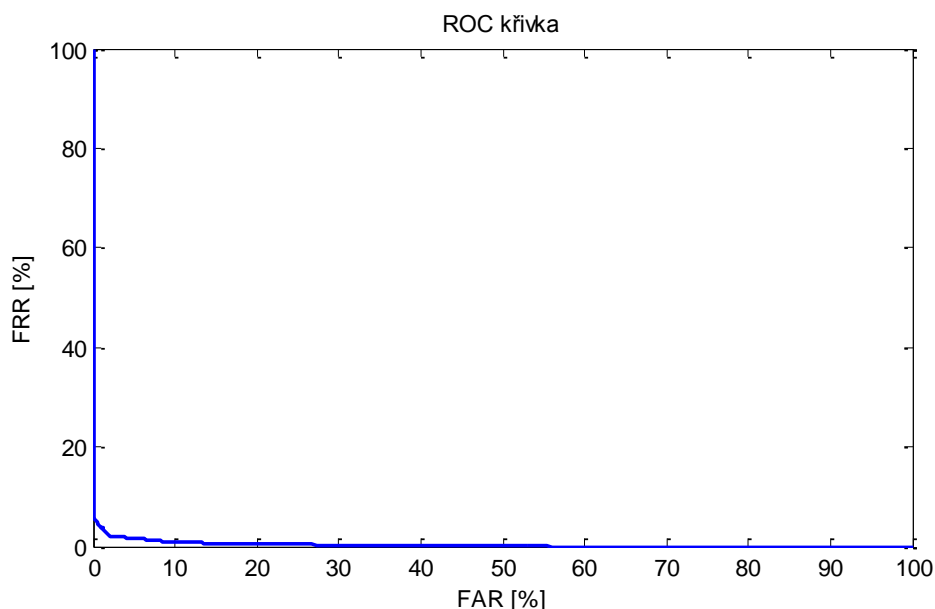


Obr. 24 - Závislost FAR a FFR na nastavení prahu, zobrazení EER

Z grafu na Obr. 25 je patrné, jakým způsobem lze ovlivnit chování rozhodovacího algoritmu pouhou změnou nastavení prahu. Při požadavku na bezpečnost je nutné minimalizovat míru chybného přijetí nastavením prahu na hodnotu 62,5 % a více. Tímto se však zvýší míra chybného odmítnutí a uživatel bude nucen provádět snímání vícekrát. Naopak při požadavku na nulovou chybu FRR se výrazně zvýší hodnota FAR, čímž se systém stane nespolehlivým.

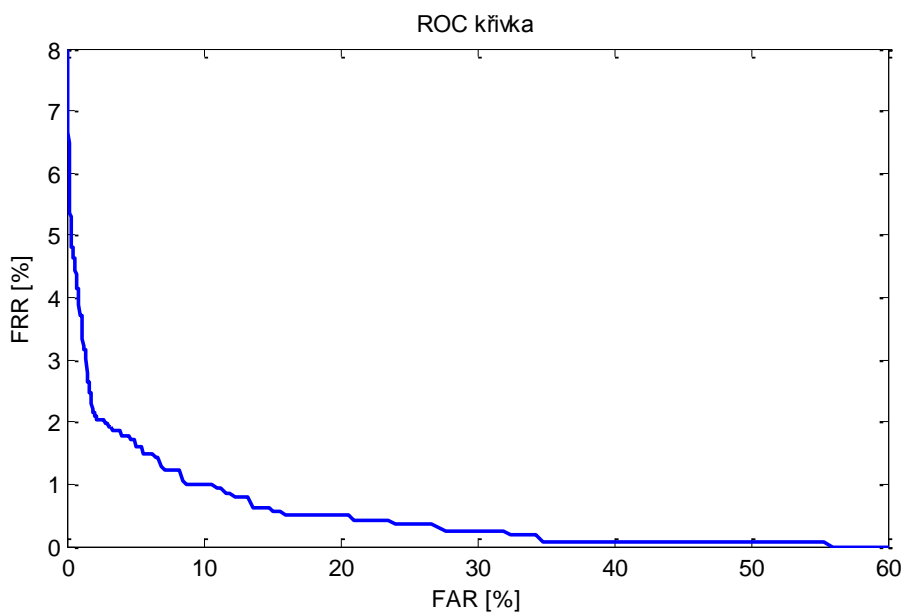


Obr. 25 - Detail protnutí průběhů FAR a FRR



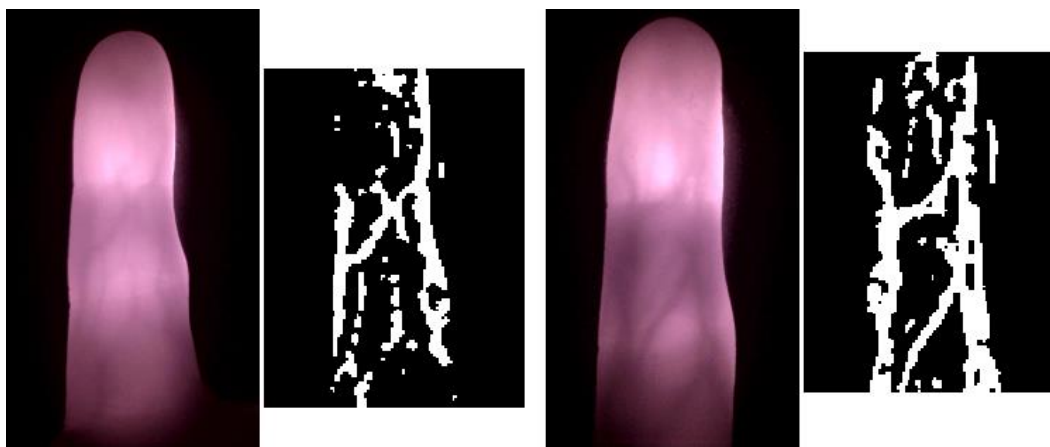
Obr. 26 - ROC křivka vypočtená ze získané databáze

Z ROC křivky (Obr. 27) je patrný velice pomalý pokles velikosti FRR při výrazném růstu chyby FAR. Při dosažení FRR = 0 % už je míra chybného přijetí přibližně 56 %, což je hodnota v reálném prostředí nepoužitelná. Aby byl tedy vytvořený biometrický systém prakticky využitelný, je nutné počítat s určitou mírou chybného odmítnutí.



Obr. 27 - Detail ROC křivky

Vysoká hodnota chyby FAR je způsobena zvolenou metodou porovnávání – je srovnáván počet shodných pixelů na stejné pozici u obou vzorů. Z tohoto důvodu mají i vizuálně odlišné obrazy, v případě že mají více podobných oblastí, vysokou míru shody. Na Obr. 28 je uveden příklad popsané situace – i přes zřejmou odlišnost žilního větvení obou prstů byl výsledek shody 62,46 %.



Obr. 28 - Příklad chybné shody

Pro režimy identifikace a verifikace je nastaven práh rozhodování na 55 %, přičemž velikost FAR a FRR je 0,17 %, respektive 6,05 %. Míra vyrovnání chyb EER je jen 2,10 %. Např. s podobným experimentálním zařízením [6], také při použití prosté binarizace pro extrakci žilního větvení z filtrovaného obrazu, bylo dosaženo s databází 240 odlišných prstů velikosti EER 2,32 %. Při srovnání s komerčními produkty [20][21] jsou však tyto hodnoty stále příliš vysoké. Snížení těchto chyb by bylo možné provést snímáním více prstů jedné osoby nebo použitím komplexních metod srovnávání za použití konkrétních markantů – např. místa rozvětvení a spojení cév. Další možností je vytvoření multimodálního systému, který by navíc snímal i strukturu papilárních linií přiloženého prstu.

Rozhodující částí biometrických systémů je použitý algoritmus zpracování získaných dat. Při identifikaci je důležitá rychlost, s jakou je nalezena pozitivní shoda v databázi ale hlavně spolehlivost systému, tedy jestli je shoda pravdivá. Z databáze 36 jedinečných prstů po 10 snímcích na každý prst bylo výpočtem zjištěno, že pouze 107 z celkových 63000 kombinací vzorů pro odlišné prsty mělo shodu vyšší než práh nastavený na 55 % a byla tak provedena chybná autorizace. Nelze však přesně určit, jak se bude systém chovat pro jinou skupinu osob – vypočtené chyby jsou platné pouze pro získané snímky 16 dobrovolníků za určitých světelných podmínek. Za jiného osvětlení a s jinými lidmi mohou být výsledky výrazně odlišné. Vhodným testem by tedy bylo snímání pouze zvolených osob, které budou daný systém používat pouze na jediném místě a s konstantním osvětlením. Pro univerzální použití by musel takový test probíhat pro celou lidskou populaci, což však není možné prakticky provést. Ve výsledku tedy není snímání krevního řečiště prstu, stejně jako žádná jiná biometrická metoda, naprosto přesná. Rozhodnutí o přijetí nebo odmítnutí bude vždy záležet na konkrétním nastavení prahu, protože výsledek je jen pravděpodobnost shody s porovnávaným vzorem.

7 ZÁVĚR

Biometrie krevního řečiště prstu se od většiny jiných používaných metod liší tím, že využívá okem neviditelných větvení žil. Díky tomu je obtížné bez povšimnutí vytvořit falzifikát, což lze např. pro otisky prstů provést velice jednoduše. Jedinou možností, jak žíly v podkoží prstu zobrazit, je použití blízkého infračerveného záření, které je v krevním hemoglobinu oproti okolní tkáni více pohlcováno. Cílem této práce je seznámení se s touto problematikou a ověření možnosti využití větvení cév prstu k identifikaci osob.

V teoretické části práce je stručně popsána historie a základní pojmy z oboru biometrie. Uvedeny jsou biometrické metody, se kterými se můžeme nejčastěji setkat a je vysvětlena problematika bezpečnosti a způsoby testování kvality snímacích systémů. Další kapitoly jsou již zaměřeny na snímání krevního řečiště prstu včetně vysvětlení používaných metod zobrazení, vlastností infračerveného záření a anatomického popisu krevního zásobení prstů. Ze získaných teoretických poznatků je vytvořen návrh přípravku, který umožňuje transmisní metodou za použití webkamery a LED s vlnovou délkou 880 nm větvení žil zaznamenat. Předzpracování obrazů žilních větvení je věnována rozsáhlá kapitola, ve které je popsán, navržen a testován postup poskytující optimální výsledky pro následné biometrické zpracování získaných snímků.

Praktickou část práce tvoří realizace navrženého snímacího zařízení a vytvoření programu, který získané snímky prstů biometricky zpracovává. Program vytvořený v prostředí MATLAB umožňuje provádět verifikaci i identifikaci osob zaregistrovaných v databázi. Testování kvality vytvořeného rozhodovacího algoritmu probíhalo na skupině 16 dobrovolníků, přičemž nasnímáno bylo celkem 36 jedinečných prstů. Výsledkem je velikost chyby EER pouze 2,10 %, což znamená, že kvalita snímků z vytvořeného přípravku je pro biometrické zpracování dostatečná.

Velikost chyb pro verifikaci a identifikaci osob je $FAR = 0,17 \%$ a $FRR = 6,05 \%$, což jsou podle mne přijatelné hodnoty, umožňující praktické využití vytvořeného biometrického systému v aplikacích bez vysokých nároků na bezpečnost, například v podobě docházkového systému zaměstnanců. Pro objektivní posouzení kvality a použitelnosti vytvořeného biometrického systému by však bylo nutné provést testování na mnohem větší skupině osob.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Biometrics History. *Biometrics.gov* [online]. 2006, 7. 8. 2006 [cit. 2014-12-03]. Dostupné z: <http://www.biometrics.gov/documents/biohistory.pdf>
- [2] DRAHANSKÝ, Martin a Filip ORSÁG. *Biometrie*. 1. vyd. [Brno: M. Drahanský], 2011, 294 s. ISBN 978-80-254-8979-6
- [3] HASHIMOTO, J. Finger Vein Authentication Technology and Its Future. *2006 Symposium on VLSI Circuits, 2006. Digest of Technical Papers* [online]. IEEE, 2006, s. 5-8 [cit. 2014-10-29]. DOI: 10.1109/VLSIC.2006.1705285. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=1705285>
- [4] DRAHANSKÝ Martin, DOLEŽEL Michal, VÁŇA Jan, BŘEZINOVÁ Eva, Jaegeol YIM a Kyubark SHIM. New Optical Methods for Liveness Detection on Fingers. *BioMed Research International* [online]. 2013, vol. 2013, s. 1-11. DOI: 10.1155/2013/197925. Dostupné z: <http://www.hindawi.com/journals/bmri/2013/197925/>
- [5] PANDA, Biplav. Revival of Biometrics in Banking: Heralding a New Era in mPayments. *TATA Consultancy services* [online]. © 2010-2014 [cit. 2014-10-29]. Dostupné z: http://www.tcs.com/resources/white_papers/Pages/Biometrics-in-Banking.aspx
- [6] LEE, Eui Chul, Hyunwoo JUNG a Daeyeoul KIM. New Finger Biometric Method Using Near Infrared Imaging. *Sensors* [online]. 2011, vol. 11, issue 12, s. 2319-2333 [cit. 2014-10-17]. DOI: 10.3390/s110302319. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/1424-8220/11/3/2319/>
- [7] SCHUCKERS, S., L. HORNAK, T. NORMAN, R. DERAKHSHANI a S. PARTHASARADHI. *Issues for Liveness Detection in Biometrics* [online]. 2002 [cit. 2014-12-03]. Dostupné z: http://www.biometrics.org/bc2002/2_bc0130_DerakhshabiBrief.pdf
- [8] PAVLÍK, Tomáš a Ladislav DUŠEK. *Biostatistika*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2012, 131 s. ISBN 978-80-7204-782-6.
- [9] RAK, Roman. *Biometrie a identita člověka ve forenzních a komerčních aplikacích*. 1. vyd. Praha: Grada, 2008, 631 s., 32 s. barev. obr. příl. ISBN 978-80-247-2365-5.
- [10] MAKIHARA, Yasushi, Md. Altab HOSSAIN a Yasushi YAGI. How to Control Acceptance Threshold for Biometric Signatures with Different Confidence Values. *2010 20th International Conference on Pattern Recognition* [online]. IEEE, 2010, s. 1208-1211 [cit. 2014-11-09]. DOI: 10.1109/ICPR.2010.301. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5597068>

- [11] WANG, L., G. LEEDHAM a S.-Y. CHO. Infrared imaging of hand vein patterns for biometric purposes. *IET Computer Vision* [online]. 2007-12-01, vol. 1, issue 3, s. 113-122 [cit. 2014-11-09]. DOI: 10.1049/iet-cvi:20070009. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4409223>
- [12] HRAZDIRA, Ivo a Vojtěch MORNSTEIN. *Lékařská biofyzika a přístrojová technika*. 1. vyd. Brno: Neptun, 2001, 381 s. ISBN 80-902-8961-4.
- [13] ZHANG, Zhijian, Rui WANG, Ke PAN, Stan Z. LI a Peiren ZHANG. Fusion of Near Infrared Face and Iris Biometrics. *Advances in Biometrics* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2007, s. 172 [cit. 2014-10-29]. DOI: 10.1007/978-3-540-74549-5_19. Dostupné z: http://link.springer.com/10.1007/978-3-540-74549-5_19
- [14] YANAGAWA, Takashi; AOKI, Satoshi; OHYAMA, Tetsuji. Human finger vein images are diverse and its patterns are useful for personal identification. *MHF Prepr. Series* [online], 2007, 12: 1-7 [cit. 2014-12-03]. Dostupné z: <http://testmath.math.kyushu-u.ac.jp/files/publication/file/337a7f8c4d914f945abbb87b5e8bcc4.pdf>
- [15] ČIHÁK, Radomír. *Anatomie 3*. 2., upr. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2004, 673 s. ISBN 978-80-247-1132-4.
- [16] *Oriental Journal of Computer Science and Technology: Biometric Technology Based on Hand Vein*. Indie: Oriental Scientific Publishing Co., 2013, roč. 6, č. 4. ISSN 0974-6471. Dostupné z: <http://computerscijournal.org/download/SARAH-BENZIANE-and-ABDELKADER-BENYETTOU/OJCSV06I04P401-412.pdf>
- [17] JACQUES, Steven L. Optical properties of biological tissues: a review. *Physics in Medicine and Biology* [online]. 2013-06-07, vol. 58, issue 11, R37-R61 [cit. 2015-05-01]. DOI: 10.1088/0031-9155/58/11/R37. Dostupné z: <http://iopscience.iop.org/0031-9155/58/11/R37>
- [18] ZIJLSTRA, W.G., A. BUURSMA a MEEUWSEN-VAN DER ROEST. Absorption Spectra of Human Fetal and Adult Oxyhemoglobin, De-Oxyhemoglobin, Carboxyhemoglobin, and Methemoglobin. *Clinical Chemistry* [online]. 1991, roč. 37, č. 9, s. 1633-1638 [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: <http://www.clinchem.org/content/37/9/1633>
- [19] CMOS Cameras: USB 2.0 and USB 3.0. *Thorlabs* [online]. © 1999-2014 [cit. 2014-11-15]. Dostupné z: http://www.thorlabs.de/NewGroupPage9.cfm?ObjectGroup_ID=4024&
- [20] Morpho. *Morphosmart™ Finger VP: Multimodal finger vein and fingerprint scanner*. [online] [cit. 2014-11-18]. Dostupné z: http://www.morpho.com/IMG/pdf/MorphoSmart_FINGER_VP_DESKTOP_Series_EN.pdf

- [21] HITACHI. *Hitachi Finger Vein H1 Unit: Logical Access Reader*. [online] [cit. 2014-11-18]. Dostupné z: <http://www.hitachi.eu/veinid/documents/h1brochurelatest.pdf>
- [22] SIEMENS. *GaAlAs Infrared Emitters (880 nm)*. [online] [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/002/399/sfh484-2-datasheet-1.pdf>
- [23] KEKRE, H.B., Tanuja SARODE a Rekha VIG. An effectual method for extraction of ROI of palmprints. *2012 International Conference on Communication, Information* [online]. IEEE, 2012, s. 1-5 [cit. 2015-03-22]. DOI: 10.1109/ICCICT.2012.6398207. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6398207>
- [24] TRAVIESO, Carlos M., Juan Jose FUERTES a Jesus B. ALONSO. Derivative method for hand palm texture biometric verification. In: *2011 Carnahan Conference on Security Technology* [online]. IEEE, 2011, s. 1-5 [cit. 2015-03-21]. DOI: 10.1109/CCST.2011.6095889. ISBN 978-1-4577-0903-6. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6095889>
- [25] LIN HONG, YIFEI WAN a A. JAIN. Fingerprint image enhancement: algorithm and performance evaluation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* [online]. vol. 20, issue 8, s. 777-789 [cit. 2015-04-06]. DOI: 10.1109/34.709565. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=709565>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

λ	symbol zastupující vlnovou délku elektromagnetického záření
CCD	<i>charge-coupled device</i> , elektronický snímač obrazu
CMOS	<i>complementary metal-oxide-semiconductor</i> , integrovaný obvod používaný k záznamu obrazové informace
EER	<i>equal error rate</i> , míra vyrovnaní chyb FAR a FRR
FAR	<i>false acceptance rate</i> , míra chybného přijetí neautorizovaných osob
FIR	<i>far infrared</i> , vzdálené infračervené záření
FMR	<i>false match rate</i> , míra chybné neshody
FNMR	<i>false non match rate</i> , míra chybné shody
FRR	<i>false rejection rate</i> , míra chybného odmítnutí oprávněných osob
IR	<i>infrared</i> , infračervené záření
LED	<i>light-emitting diode</i> , světelná polovodičová dioda
NIR	<i>near infrared</i> , blízké infračervené záření
RGB	<i>red-green-blue</i> , způsob snímání barevného obrazu pomocí subpixelů s červeným, zeleným a modrým filtrem
ROC	<i>receiver operating curve</i> , křivka vyjadřující závislost mezi chybami FAR a FRR používaná k hodnocení kvality rozhodování biometrických systémů
ROI	<i>region of interest</i> , oblast zájmu
USB	<i>universal serial bus</i> , univerzální sériová sběrnice umožňující připojení periférií k počítači

SEZNAM PŘÍLOH

Přílohy na CD

Stanislav Bělehrádek BP.pdf – elektronická verze bakalářská práce

vzory.zip – soubor obsahující všech 360 originálních snímků prstů dobrovolníků

složka Program obsahující soubory:

- GUI_snimani.m – program umožňující snímání a vyhodnocení obrazů z přípravku
- GUI_snimani.fig – grafické prostředí vytvořeného programu
- databaze.mat – soubor obsahující databázi uživatelských dat
- vzory_serie.gif – soubor obsahující všech 360 filtrovaných vzorů větvení žil dobrovolníků

Manuál k vytvořenému uživatelskému prostředí

Zde uvedený manuál je také dostupný v samotném grafickém prostředí programu *GUI_snimani.m* po kliknutí na tlačítko **Nápověda**.

- Pro správnou funkci je nutné před spuštění programu připojit přípravek k PC pomocí USB kabelu.
- V adresáři programu musí být pro použití funkcí identifikace a verifikace přítomný soubor *databaze.mat* obsahující databázi. Pokud zde není, je vytvořen nový, prázdný.
- Prst na přípravek je nutné vždy pokládat tak, aby horní dotyková plocha byla co nejbližší za nehtem a na snímku se špička prstu nedotýkala okraje.

REGISTRACE

Při registraci je nutné zadat informace o osobě - jméno, příjmení a do poznámky nejlépe jaký prst se snímá. Po zapnutí náhledu a korekci polohy prstu klikněte na tlačítko **Snímat** a následně **Vyhodnotit**. Pokud žíly na snímku nejsou dobře vidět, proveďte snímání znovu. Po ukončení snímání údaje uložte tlačítkem **Uložit**.

IDENTIFIKACE

Zapněte **Náhled** a po zapnutí webkamery a přiložení prstu tlačítko **Snímat**. Po kliknutí na tlačítko **Vyhodnotit** se systém pokusí vyhledat shodu v databázi. V případě nalezení shody se zobrazí informace o osobě a procento shody. V případě nenalezení shody se ujistěte, že je osoba v databázi zaregistrovaná a proveďte snímání znovu.

VERIFIKACE

Vyberte jméno osoby ze seznamu a zapněte **Náhled**. Po přiložení a korekci pozice prstu stiskněte tlačítko **Snímat** a následně **Vyhodnotit**. Zobrazí se procento shody s uloženým vzorem dané osoby.

PROHLÍŽENÍ

V tomto režimu je možné prohlížet údaje uložené v databázi. Ze seznamu vyberte jméno osoby. Pro smazání údajů vyberte jméno a klikněte na křížek.

TVORBA ROC

Pro výpočet ROC křivky musí být ve složce programu uložen soubor *vzory_serie.gif* s uloženými vzory, nebo se musí nasnímat nové. Při novém snímání je nutné snímat vždy po 10 snímcích na jeden prst. Pro výpočet ROC je nutné mít celkem minimálně 20 snímků. Samotný výpočet se spouští po kliknutí na tlačítko **ROC**.