



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

BIOMETRIE CÉVNÍHO ŘEČIŠTĚ PRSTU

FINGER VEIN BIOMETRY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Miroslav Stibůrek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Mézl

BRNO 2017

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Biomedicínská technika a bioinformatika**

Ústav biomedicínského inženýrství

Student: Miroslav Stibůrek

ID: 170358

Ročník: 3

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Biometrie cévního 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 zařízení pro snímání krevního řečiště prstu a proveďte základní realizaci pro ověření principu metody. Zařízení bude založen na platformě Raspberry PI s připojenou kamerou. 4) Proveďte realizaci navrhnutého přípravku a jeho testování. 5) Seznamte se s metodami zpracování obrazu a navrhněte vhodné metody pro předzpracování obrazových dat za účelem segmentace cév. 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. 1. vyd. 2011, 294 s. ISBN 978-80-254-8979-6.

[2] LEE, Eui Chul, Hyunwoo JUNG a Daeyeoul KIM. New Finger Biometric Method Using Near Infrared Imaging. Sensors. 2011, vol. 11, issue 12, s. 2319-2333. DOI: 10.3390/s110302319.

Termín zadání: 6.2.2017

Termín odevzdání: 2.6.2017

Vedoucí práce: Ing. Martin Mézl

Konzultant:

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

Tato práce pojednává o základních biometrických pojmech, historii biometrie, metodách získání a rozpoznání charakteristických rysů jedince. V práci jsou dále obsaženy poznatky z fyziky, anatomie a fyziologie člověka, které jsou nezbytné pro správné pochopení problematiky. Za účelem segmentace cévního řečiště prstu je navržena metoda předzpracování nasnímaných obrazových dat. Praktickou část tvoří návrh zařízení pro snímání cévního řečiště prstu s využitím minipočítače Raspberry Pi a jeho následná realizace. Pomocí realizovaného zařízení je vytvořena databáze snímků a provedena diskuze využitelnosti extrahovaného cévního řečiště pro biometrické systémy.

KLÍČOVÁ SLOVA

Biometrie, biometrický systém, cévní řečiště prstu, Raspberry Pi, zpracování obrazu

ABSTRACT

The following work deals with basics of biometrics terms, history of biometrics, and methods of collecting and recognizing human characteristics. The work includes facts about physics, human anatomy and physiology - these elements are necessary for a full understanding of the issue. In order to segment finger vein, a method of pre-processing scanned visual data is devised. A practical part of paper contains a proposal of a device for scanning finger vein using minicomputer Raspberry Pi and its following realization. Database of images is created using realized device and applicability of extracted finger vein for application in biometric systems is discussed.

KEYWORDS

Biometrics, biometrics system, finger veins, Raspberry Pi, image processing

STIBŮREK, M. *Biometrie cévního řečiště prstu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 55 s. Vedoucí bakalářské práce
Ing. Martin Mézl.

PROHLÁŠENÍ

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

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské 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. Martinovi Mězlovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady, které mi poskytl při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

Seznam obrázků	9
1 Biometrie a její metody	11
1.1 Historie biometrie	11
1.2 Základy biometrie a biometrických systémů.....	12
1.3 Základní biometrické metody	13
1.3.1 Otisky prstů	13
1.3.2 Geometrie ruky.....	14
1.3.3 Rozpoznání podle obličeje	16
1.3.4 Rozpoznání podle duhovky a sítnice	17
1.4 Hodnocení kvality biometrických systémů	19
2 Optické metody zobrazení krevního řečiště prstu.....	21
2.1 Popis optických metod zobrazení krevního řečiště	21
2.1.1 Reflexivní metoda	21
2.1.2 Transmisivní metoda	22
2.1.3 Metoda s bočním světlem	22
2.2 Výhody a nevýhody metod zobrazení krevního řečiště prstu	23
2.3 Infračervené záření.....	24
2.4 Anatomie krevního řečiště prstu.....	24
2.5 Komerčně užívaná zařízení	26
3 Návrh zařízení pro snímání krevního řečiště prstu	28
3.1 Raspberry Pi	28
3.2 NoIR kamera	29
3.3 Návrh zařízení.....	30
3.3.1. Srovnání metod snímání žil prstu	30
3.3.2. Testování metody zvolené pro realizaci přípravku	31
4 Realizace zařízení a jeho testování	34
5 Předzpracování obrazových dat	38
5.1 Navržená metoda předzpracování obrazových dat	38
5.2 Testování různých parametrů vybraných kroků navržené metody	41

5.3 Využití navržené metody v programu.....	43
6 Databáze nasnímaných obrazů a hodnocení jejich kvality	45
6.1 Hodnocení kvality nasnímaných a zpracovaných dat	45
Závěr.....	48
Seznam použité literatury	49
Seznam zkratk	52
Seznam příloh	53
Příloha č. 1	53
Manuál k zařízení pro snímání krevního řečiště prstu.....	54

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Schéma biometrického systému	13
Obrázek 2. Otisk prstu [6]	14
Obrázek 3. Snímek ruky s distančními kolíky a významnými rozměry [9], upraveno	15
Obrázek 4. Termosnímek obličeje	17
Obrázek 5. Snímek sítnice oka [12]	19
Obrázek 6. ROC křivka [13], upraveno	20
Obrázek 7. Reflexivní metoda [15], upraveno	22
Obrázek 8. Transmisivní metoda [15], upraveno	22
Obrázek 9. Metoda s bočním světlem [16], upraveno	23
Obrázek 10. Krevní řečiště ruky [22], upraveno	25
Obrázek 11. Absorpční spektrum hemoglobinu [23], upraveno	26
Obrázek 12. Biometrická čtečka od firmy Morpho - Safran [25] a Hitachi [27]	27
Obrázek 13. Raspberry Pi [30], upraveno	29
Obrázek 14. Raspberry Pi NOIR kamera [31]	30
Obrázek 15. Návrh zařízení	30
Obrázek 16. Zobrazení metod: reflexivní (a), s bočním světlem (b) a transmisivní (c) ...	31
Obrázek 17. Transmisivní metoda při plném osvětlení	31
Obrázek 18. Transmisivní metoda při eliminaci denního světla	32
Obrázek 19. Transmisivní metoda - žádné osvětlení	32
Obrázek 20. Fokuse kamery při různých vzdálenostech	33
Obrázek 21. Realizované zařízení	34
Obrázek 22. Záření IR diody bez difuzoru (vlevo) a s mléčným difuzorem (vpravo)	34
Obrázek 23. Elektrické schéma zařízení [32], upraveno	35
Obrázek 24. Schéma snímací jednotky se všemi připojenými komponenty	36
Obrázek 25. Viditelnost žil prstu při teplotě: a) nízké b) normální c) vysoké	37
Obrázek 26. Schéma navržené metody předzpracování	38
Obrázek 27. Konvoluční maska Gaussova filtru	39
Obrázek 28. Jednotlivé kroky navržené metody	40
Obrázek 29. Závislost velikosti masky na výsledném obraze	41
Obrázek 30. Vliv velikosti masky u binarizace na výsledný obraz	42
Obrázek 31. Vliv nastavení prahu na výsledný obraz	42
Obrázek 32. Kód pro binarizaci pomocí aditivního prahování	44
Obrázek 33. Nejlepší dosažené výsledky extrahování krevního řečiště prstu	45
Obrázek 34. Výsledné snímky s nedostatečně extrahovaným krevním řečištěm	46
Obrázek 35. Vzor krevního řečiště prstu u nalakovaného nehtu	46
Obrázek 36. Vzor stromu cévního řečiště prstu osoby postižené ekzémem	47
Obrázek 37. Stromy cévního řečiště prstů u stejné osoby v různé dny	47

ÚVOD

Biometrie je vědní disciplína zabývající se automatizovaným rozpoznáváním osob na základě jejich vzhledu či chování. I přes její brzké objevení, které se datuje na 19. století, se neustále dynamicky rozvíjí. V dnešní době se s ní můžeme setkat v podobě otisků prstů, snímků sítnice oka, termogramu obličeje, extrahovaného krevního řečiště prstu nebo vzorku DNA.

Hlavní výhodou biometrie je její vysoká přesnost a odolnost vůči napadení. Biometrické vlastnosti jako otisk prstu, geometrie ruky nebo snímek sítnice oka jsou pro každého jedince jedinečné a během života se nemění. Díky tomu se s biometrií můžeme setkat při soudním řízení, u bezpečnostních opatření budov a zařízení nebo jako prokázání identity u bankovních transakcí. Cílem této práce bude seznámení se s biometrickými metodami pro získávání biometrických vlastností především optickými metodami pro zobrazení cévního řečiště prstu a způsoby předzpracování obrazu pro následnou extrakci cévního řečiště.

Na začátku praktické části bude navrženo zařízení pro snímání cévního řečiště prstu, na jehož základě bude uskutečněno jeho sestavení. Následně bude navržena metoda zpracování nasnímaných dat za účelem segmentace větvení cévního řečiště prstu. S využitím realizovaného zařízení bude vytvořena databáze snímků prstů od dobrovolníků. Nasnímaná data budou pomocí navržené metody zpracována. V závěru bude provedena diskuze využitelnosti získaných dat v biometrických systémech.

1 BIOMETRIE A JEJÍ METODY

Biometrie jako vědní obor prošla od počátků, týkajících se především otisků prstu, zajímavým a prudkým vývojem. S rychle se rozvíjející technikou a přírodními vědami obecně se objevují stále nové biometrické metody nebo se modifikují metody už známé s využitím nejnovějších poznatků.

1.1 Historie biometrie

Základní myšlenka využití charakteristiky lidského těla a jeho chování pro identifikační účely se datuje až po faraonské dynastie Egypta, kde byli lidé měřeni, aby mohli být identifikováni. Praktikovalo se tak především v zemědělství. Pěstitelé obilí byli rozpoznáváni pomocí unikátních jizev a poranění, barvy pleti, barvy očí, rozměrů a vah těla.[1]

Identifikaci založenou na otiscích prstů znali již staří Číňané. Babyloňané používali při potvrzování obchodních smluv otisk palce jako podpis na hliněných tabulkách. Obdobným způsobem byly stvrzovány písemnosti v Persii.[2]

Další dochované poznatky o použití biometrie pocházejí z Číny ze 14. století n. l. Jedná se však o nepřímé důkazy biometrie. Dochované kresby na skalních stěnách znázorňovaly strukturu připomínající otisky prstů, podobně také byly nalezeny otisky prstů autora této keramiky (pravděpodobně jako důkaz o autorství).[2]

První jednoznačně průkazné materiály o použití biometrie pocházejí z 19. století našeho letopočtu. V tomto období se začaly používat otisky prstů v kriminalistice.

V roce 1858 anglický guvernér v Indii sir William James Herschel začal používat otisky prstů u zaměstnanců dráhy pro stvrzení jejich identity. Většina z tamních dělníků neuměla číst ani psát, tudíž nebylo možné očekávat jejich podpis při přebírání výplaty. Pan Herschel nechal každého dělníka otisknout na originál výplatní pásky jeho palec, čímž byla stvrzena identita pracovníka a zároveň i právoplatné převzetí peněz.[3]

V roce 1880 přichází Francis Galton s vědním oborem antropometrie, ve kterém se zabývá problematikou měření lidských tělesných rozměrů.[2] Pan Galton ve své práci pokračoval a v roce 1900 vychází ucelené dílo Fingerprints. Na základě něj dochází k zavedení daktyloskopie do policejní praxe.[3]

Rozkvět daktyloskopie spolu s biometrií pokračoval, což potvrdil americký kongres, který svým dekretem založil identifikační divizi FBI v roce 1924. Ta si jako základní identifikační metodu zvolila otisky prstů. Daktyloskopická sbírka FBI v roce 1946 obsahovala 100 miliónů karet, v roce 1971 již 200 milionů karet s deseti otisky prstů na každé z nich. V roce 1999 bylo rozhodnuto ukončit papírové zpracování a evidenci dále vést výhradně s využitím počítače, konkrétně systému AFIS.[1]

O první komerční využití biometrické identifikace se zasloužil v roce 1970 systém Indentimat, který měřil geometrii ruky a využila ho firma Shearson Hamill se sídlem na Wall Street pro přístup jejich zaměstnanců a k evidování jejich docházky.[1]

Ostatní biometrické metody přišly na řadu později než daktyloskopie. První metoda, určená pro identifikaci s využitím struktury sítnice byla uvedena v provozu v roce 1980.

1.2 Základy biometrie a biometrických systémů

Biometrií rozumíme ucelený soubor vědních poznatků, založených především na statistickém a analytickém přístupu, jejich předmětem je prozkoumání a následné využití měřitelných charakteristik živých organismů v praxi.[4]

Definice v oboru informačních technologií označuje biometrii jako automatizované rozpoznávání lidských jedinců na základě jejich charakteristických anatomických rysů (např. obličej, otisk prstu, duhovka, sítnice) a behaviorálních rysů (tedy chování, např. dynamické vlastnosti podpisu, chůze).[5]

Mezi hlavní výhody biometrie řadíme zvyšování bezpečnosti, eliminování pokusů o popření identity, odrazování útočníků od podvodů a bezesporu zvyšování pohodlí. V souvislosti s výhodami biometrie musíme také zmínit to, že biometrii jako takovou nelze lehce přenést, zapomenout nebo ztratit.[2]

Naopak jako hlavní nevýhody biometrie označujeme nejednoznačné skóre porovnání výstupu, nemožnost anulování v případě prozrazení, nastolení nutnosti detekce živosti a napadnutelnosti samotného biometrického systému.[2]

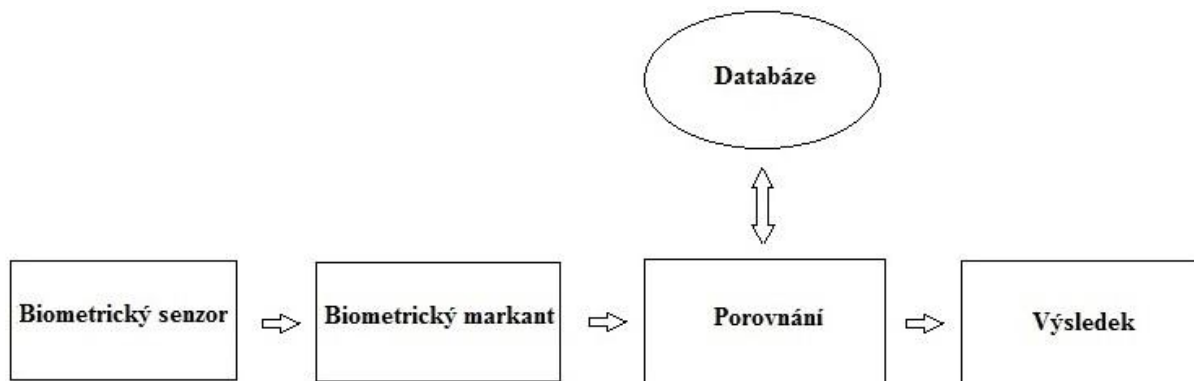
Hlavním úkolem biometrického systému je identifikace či verifikace. Využívá přitom jedinečných, měřitelných, fyzikálních nebo fyziologických znaků (tzv. markantů) nebo projevů chování k jednoznačnému zjištění nebo ověření jeho vlastní identity.

Pod pojmem identifikace rozumíme zjištění identity osoby. Jedná se o situaci, kdy osoba zadá systému svoji vybranou biometrickou vlastnost, ale nesdělí mu svoji identitu. Identifikaci se také říká porovnání 1:N.[1] Dojde totiž k porovnání vzorku ze vstupu s celou databází již uložených vzorků, výstupem je buď nalezená identita anebo negativní odezva systému, tedy identita nenalezena.

Odlišně se postupuje u verifikace. Zde uživatel, tedy osoba sdělí systému svou elektronickou identitu a na základě ní dojde k ověření fyzické identity. Uživatel sdělil svoji identitu systému hned z počátku a v databázi je vyhledán jeho záznam obsahující biometrická data. Pokud záznam neexistuje, je přístup uživatele automaticky zamítnut. Verifikaci se jinak říká porovnání 1:1 [1], protože v systému dochází k porovnání dat s jedněmi daty z databáze.

Schéma biometrického systému (Obrázek 1) se skládá z biometrického senzoru, pomocí kterého dojde k získání biometrického vzorku a následně k jeho převedení do digitálního

světa. Dále schéma tvoří biometrický markant, což jsou v podstatě extrahované rysy ze vstupního biometrického vzorku. Získané rysy jsou uloženy do databáze. To platí pro registrační modul. U verifikačního nebo identifikačního modulu systém postupuje stejně, avšak získaná data neukládá do databáze, nýbrž je porovnává s ostatními daty v databázi. Po provedení obdržíme výsledek, tedy verifikaci či identifikaci uživatele systému.[2]



Obrázek 1. Schéma biometrického systému

1.3 Základní biometrické metody

Biometrických metod existuje široká škála a můžeme je vyčlenit hned do několika skupin. Nejjednodušeji je můžeme rozdělit na statické a dynamické metody. U statických metod analyzujeme anatomické fyzické vlastnosti, které mají jeden pevný rys s jednou konkrétní biometrickou vlastností (např. geometrie ruky nebo otisk prstu). Dynamická metoda je spojena s dynamickými vlastnostmi. Vyžaduje tedy nějakou akci uživatele (např. podpis uživatele nebo jeho chůzi).[1]

Komerčně nejužívanější biometrické metody bude blíže popsány v následujících odstavcích.

1.3.1 Otisky prstů

Každá osoba má na povrchu svých prstů papilární linie, jejichž struktura jednoznačně udává fyzickou identitu člověka. Výjimkou jsou lidé postižení různými typy onemocnění a poruchami kůže. A právě otisk prstu je grafickou reprezentací papilárních linií. Ty se formují už během embryonálního vývoje. Průběhy papilárních linií se nemění s časem ovšem jen v případě, že nedojde k jejich poškození (např. pořezáním nebo popálením).[3] Každý prst je jedinečným vzorkem. Na celé planetě neexistují dva stejné prsty. Obor zabývající se rozpoznáváním otisků prstů pro kriminalistické účely se nazývá daktyloskopie.

Daktyloskopické zákony:

- Na světě neexistují žádní dva lidé, jejichž papilární linie by měly stejnou strukturu.
- Vzor tvořený papilárními liniemi zůstává po celý život jedince relativně neměnný.

- Papilární linie jsou obnovovány dorůstáním kůže na povrchu prstů. Tyto linie nemohou být pozměněny či odstraněny, není-li poškozena epidermální vrstva kůže. Potom již nedojde na tomto místě k obnově papilárních linií.
- Konfigurační typy se individuálně mění a tím umožňují systematickou klasifikaci.[2]

Existuje mnoho typů snímačů otisků prstu. Mezi nejpoužívanější patří optický snímač pracující na jednoduchém principu. Zdroj světla (LED) osvětlí plochu prstu, který je přiložen na skleněnou plochu senzoru. Mezi další typy patří např. kapacitní, tlakový nebo ultrazvukový snímač.[2]



Obrázek 2. Otisk prstu [6]

Otisky prstů jsou v dnešní době nejvyužívanější biometrickou technologií. Tomu napomáhá spousta faktorů. Jsou dobře akceptovány uživateli, mají velmi vysokou biometrickou entropii. Jejich technologie je vyspělá a navíc i snímače jsou natolik malé, že je možné snímače integrovat do chytrých telefonů. Navíc otisky prstů také slouží jako důkaz při soudním řízení.

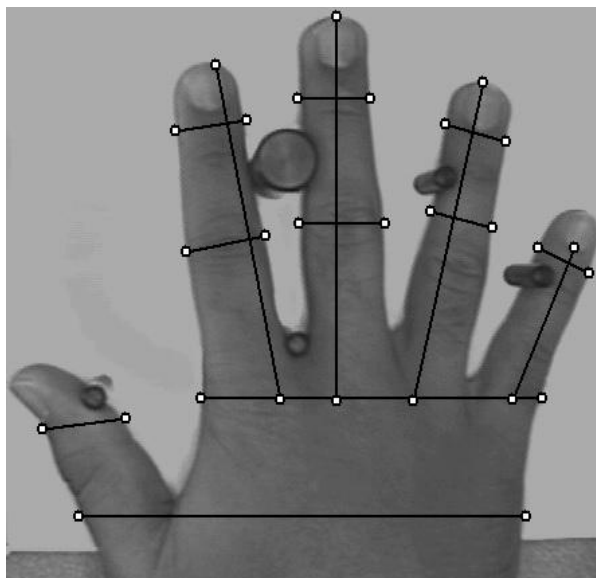
1.3.2 Geometrie ruky

Člověk je schopný rozeznat identitu druhé osoby poměrně snadno na základě tvaru jeho ruky. S využitím tohoto poznatku se začala používat geometrie ruky jako prostředek pro identifikaci člověka. Rozpoznávání vychází z jedinečnosti lidské ruky. K rozlišení jedinců mezi sebou se v současnosti využívá délky, šířky a výšky prstů. Důležitým aspektem jsou také různá zakřivení ruky a její lokální anomálie.[2][1]

Principiálně je přístroj pro verifikaci či identifikaci jedince podle geometrie jeho ruky v podstatě jednoduchý. Není třeba složitých zařízení pro snímání a zpracování obrazů nevyžaduje náročných postupů.

Pro získání obrazu ruky se nejčastěji používá obyčejná kamera, která může snímat pouze ve stupních šedi. Barevná informace o obrazu není potřeba. Kamera přitom nasnímá jen siluetu ruky shora (viditelný hřbet ruky) nebo zespodu (viditelná dlaň ruky). Rozlišení je podstatně menší než u senzorů zaznamenávajících otisky prstů, zpravidla se pohybuje v rozmezí od 100 do 200 pixelů na délku palce.[2]

Pro usnadnění procesu snímání a zpracování vzniklého obrazu se používá speciální podložka, která reflektuje dopadající světlo pod rukou. Ta má za následek výrazné zvýšení kontrastu mezi rukou a podložkou. Tím se usnadní separace ruky od pozadí. Některá zařízení pro snímání obrazu ruky používají distanční kolíky (Obrázek 3), které zajistí správnost a opakovatelnost umístění ruky na podložku. Kolíky jsou rozmístěny tak, aby nenarušovaly siluetu ruky a minimálně překážely v cestě při vkládání ruky.[8]



Obrázek 3. Snímek ruky s distančními kolíky a významnými rozměry [9],upraveno

Je známo hned několik základních metod rozpoznávání osob podle geometrie ruky. Nejčastěji se používá metoda založená na přímém měření významných rozměrů na snímku ruky nebo na základě analýzy šířek jednotlivých prstů. Nedávno se objevily první poznatky o rozpoznávání jedinců podle 3D geometrie ruky. To znamená, že se využívá celého povrchu ruky, který je reprezentovaný vhodně zvolenou skupinou parametrů popisujících geometrii ruky.[2]

Mezi hlavní výhody rozpoznání s využitím geometrie ruky bezpochyby patří dobrá akceptovatelnost mezi uživateli a použití lehce získatelných rysů. Na popularitě nabývá také díky vysoké odolnosti vůči vlivům okolního prostředí a hlavně relativně nízkou cenou zařízení.

Naopak nedostatky systému tkví v nízké rozlišovací schopnosti a faktu, že tato technologie není vhodná pro rozpoznávání velkého počtu osob kvůli velké pravděpodobnosti chyby. Informace z ruky nejsou bohužel neměnné během života jedince.[8] Další nevýhodou je fyzická velikost samotného systému, což omezuje užití této technologie v přenosných zařízeních.

1.3.3 Rozpoznání podle obličeje

Obličej řadíme mezi jeden z nejznámějších biometrických rysů. Rozpoznání druhého člověka na základě jeho obličeje je pro nás nejčastější a nejpřirozenější způsob identifikace, kterou provádíme rutinně a navíc s vysokou spolehlivostí. Je tedy na místě snaha o automatické rozpoznání osob podle vybraných charakteristik obličeje. S přibývajícím publikacemi vědeckých článků na dané téma rovněž roste postavení této metody v biometrii.

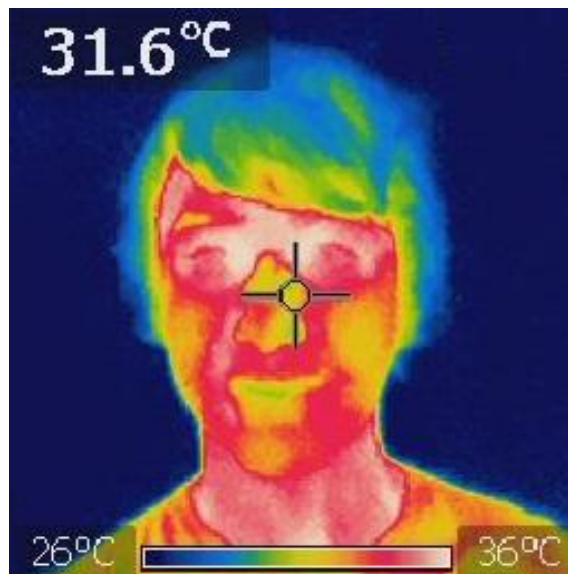
Metody pro rozpoznávání obličeje lze na základě povahy snímaných dat rozdělit na rozpoznávání na základě 2D nebo 3D snímku a na základě termosnímku.[2]

Rozpoznání obličeje na základě 2D snímku patří mezi nejrozšířenější metodu. Je to hlavně kvůli snadnému procesu získávání dat. V první fázi je nezbytné správně lokalizovat obličej v rámci snímku. Může se stát, že na snímku obličej vůbec není nebo náleží jiné osobě. Dále následuje normalizace nalezeného obličeje, kdy se kompenzuje různá intenzita osvětlení, pozice, natočení a velikost. Dalším krokem je extrakce příznaků. Nakonec se provádí vyhodnocení podobnosti se šablonou.[10]

Při projekci obličeje do 2D roviny nastává ztráta poměrně zásadní části informace. Tvar lidského obličeje je z pohledu odlišitelnosti dvou různých jedinců jednou z klíčových charakteristik. Rozpoznávání obličeje na základě prostorového modelu nabízí tedy mnohem širší škálu možností než projekce obličeje do 2D roviny. Hlavní odlišnost 3D metody rozpoznání je v konstrukci snímacího zařízení. Ta obvykle fungují na bázi 2,5D skeneru. Ten vytvoří 2,5D sken, což je v podstatě dvourozměrný obraz, který má pro každý bod uloženou informaci o jeho hloubce. Data pořízená 2,5D skenerem, však nelze považovat za plnohodnotný třírozměrný model kvůli bodům ležícím na stejných souřadnicích, které mají rozdílnou hloubku (např. místo koule zaznamená pokaždé jen polokouli). I přesto se praktikuje snímání z jednoho místa a předpokládá se, že získaná data budou pro rozpoznání dostatečná. Podobně jako u dvourozměrného snímku se získaný obraz nejprve normalizuje. Normalizace probíhá přes detekci klíčových bodů, což jsou oči a špička nosu. Po správné detekci následuje transformace do výchozí polohy, ve které lze očekávat nejvyšší míru korelace mezi dvěma modely stejného obličeje. Nakonec se vyhodnocuje podobnost založená buď na tvaru a vzhledu nebo hloubkových map a 3D modelů.[2]

Termosnímky obličeje (Obrázek 4) jsou snímky pořízené v oblasti infračerveného záření dlouhých vlnových délek. K získání termosnímků se používá speciální zařízení zvané termokamera. Při samotném procesu je potřeba přesně nastavit parametry jako:

- emisní koeficient kůže $\epsilon = 0,98$
- konstantní vzdálenost
- relativní vlhkost okolí
- teplota okolí.



Obrázek 4. Termosnímek obličeje

Záznamem termokamery jsou termomapy obličeje. V nich se podobně jako u dvourozměrných snímků detekují pozice očí, úst a nosu. V dalším kroku se oba obličeje zarovnají. Nakonec se hledá podobnost mezi snímky s využitím analýzy hlavních komponent.[2]

Největší výhodou rozpoznávání na základě termosnímků je nezávislost na vnějším osvětlení. Dokonale kvalitní snímek jsme schopni pořídit za ostrého slunce, šera nebo dokonce i v noci. Další výhodou této metody je náročnost vytvořit přijatelný falzifikát. Útočník by musel sestavit zařízení, které emituje v různých místech různou teplotu stejně jako napodobovaný obličej. To je samozřejmě možné, ale výrazně více technologicky náročné než při pokusu o oklamání 2D metody rozpoznávání.[10]

Naopak zásadním problémem při použití termokamery je proměnlivost teplotní charakteristiky jedince v závislosti na prováděné aktivitě, teplotě okolního prostředí nebo dokonce i na emocionálním stavu.

V praxi se proto nepoužívá tato technologie samostatně, ale v kombinaci s normálními snímky. Existuje mnoho studií, které dokazují, že takovéto kombinace přináší mnohem lepší výsledky než při použití obou technologií zvlášť.

1.3.4 Rozpoznání podle duhovky a sítnice

Jako již zmiňované části našeho těla, je i oko zcela jedinečné a využívá se k biometrickým účelům. V lidském oku se nachází dvě hlavní části vykazující vysokou biometrickou entropii. První je duhovka, která je pozorovatelná pouhým pohledem. Druhá je sítnice, která leží uvnitř oka a pozorovat pouhým pohledem ji tedy nelze. Jako prvky nacházející se uvnitř oka jsou dobře chráněny proti poškození. I přes genetickou závislost je vzor žil na sítnici a vzorkování duhovky u všech osob naprosto unikátní.[2]

Duhovka reguluje množství světla vstupujícího do oka. Můžeme si ji představit jako clonu fotoaparátu. Povrch duhovky je vcelku složitý. Popsat jej můžeme až 250 rysy. Nejdůležitější pro identifikaci jsou krypty, což jsou nejtenčí místa duhovky tvořící její typickou kresbu, dále radiální rýhy a pigmentové skvrny. Pro snímání duhovky se preferuje infračervené světlo, neboť je příjemnější pro uživatele tím, že neosvětluje a nevytváří nepříjemný pocit z nasvícení oka.

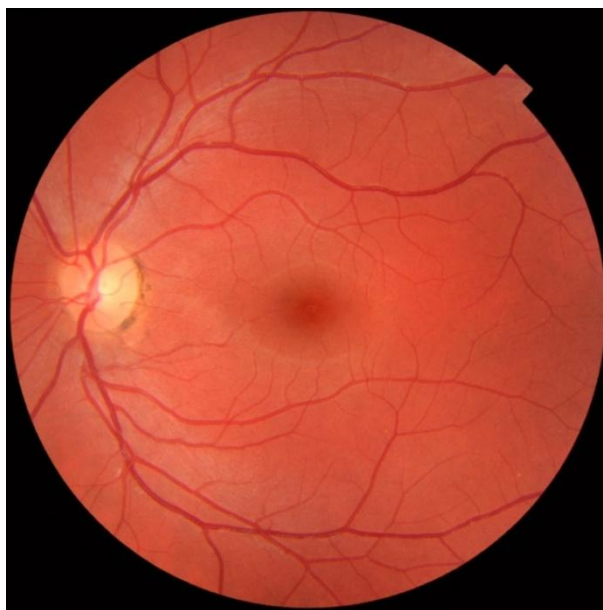
Pro rozpoznání duhovky se užívá čtyř základních témat:

- Gaborova modulace - každý jednotlivý vzor na duhovce je demodulován, aby se získala fázová informace pro extrakci rysů.
- Waveletové rysy - extrakce vektorů rysů pomocí vlnkové transformace.
- Analýza nezávislých komponent - jako vektor rysů jsou použity koeficienty analýzy nezávislých komponent.
- Variace lokálních klíčů - reprezentace důležitých informací sadou intenzit jednodimenzionálních signálů a použitím vlnkové transformace pro extrakci rysů.[2]

Mezi hlavní výhody duhovky v biometrických systémech patří její stabilita během lidského života. Získání snímku je neinvazivní a pro uživatele vcelku jednoduché. Za zmínku stojí také její vysoká míra biometrické entropie informace, která je mnohem vyšší než u otisků prstů.[11]

Naopak jako nevýhodu použití duhovky pro rozpoznání musíme brát v potaz fakt, že k podvedení systému stačí vzít pouze fotografii duhovky nebo kontaktní čočku. K závažným nedostatkům řadíme také vysoké pořizovací náklady na systém s vysokou výkonností a také předsudky uživatelů, kteří jsou přesvědčeni, že skenovací zařízení může způsobit poškození jejich oka.[11]

Rozpoznání podle sítnice je dalším okem nabízenou možností identifikace člověka. Sítnice je jediná část centrálního nervového systému, kterou můžeme pozorovat neinvazivně. Je to vrstva buněk citlivá na světlo nacházející se v zadní části oka, která má na starosti snímání světelných paprsků. Pro biometrické účely je důležitý především vzor cév, kterými je sítnice bohatě protkána. Ten se během života nemění. Snímací zařízení pracuje na principu složitých lékařských optických přístrojů určených pro vyšetření oka. Ze získaných dat se extrahují klíčové příznaky a ty jsou posléze porovnávány se šablonou za využití fázového korektoru, dokud nedojde k nejvyšší shodě. Nakonec se otisk sítnice reprezentuje tak, aby jej bylo možné rychle porovnat nebo uložit do databáze.[2]



Obrázek 5. Snímek sítnice oka [12]

Metoda rozpoznávání podle sítnice je velice přesná a používá se v oblastech s velmi vysokými nároky na bezpečnost jako je nukleární vývoj, firmy vyrábějící zbraně, vládní a armádní základny. Pro komerční účely ve spojitosti s širší veřejností se nepotýká s úspěchem především kvůli cenové náročnosti a nízké uživatelské přijemnosti.

1.4 Hodnocení kvality biometrických systémů

Pro objektivní hodnocení spolehlivosti jednotlivých biometrických systémů je nutné testovat jejich vlastnosti. Postupy testování jsou normovány podle ČSN ISO/IEC 19795.[1][2]

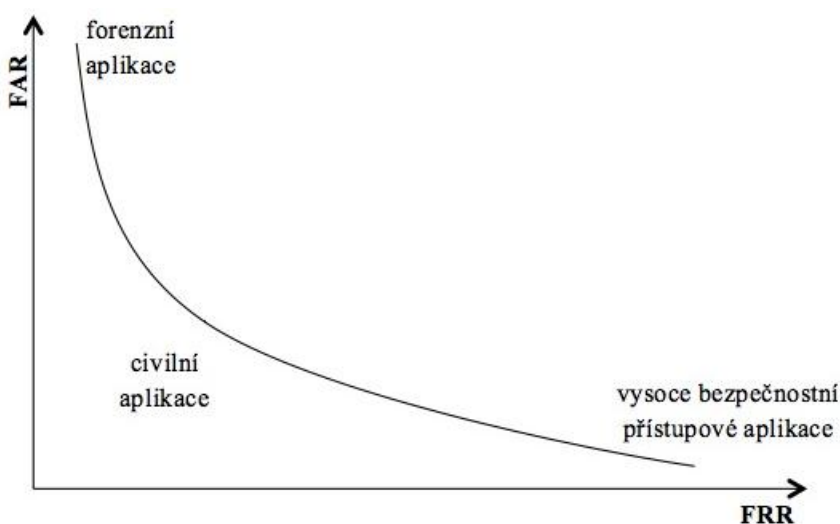
Biometrické systémy porovnávají nasnímané biometrické charakteristiky s vzorem, který tvoří data poskytnutá dříve. Systém má definovaný práh citlivosti. Je-li výsledek porovnání vyšší než práh citlivosti, uživatel je systémem akceptován. Naopak při výsledku porovnání nižším, než je práh citlivosti je uživatel, respektive jeho přístup, zamítnut.[1]

V souvislosti s hodnocením kvality biometrických systémů využíváme následující jevy a vlastnosti:

- **Pravděpodobnost chybného odmítnutí** (autorizované osoby) - False Rejection Rate (FRR). FRR nastane v případě, že je uživatel ke vstupu oprávněn, ale systém jeho přístup zamítne. Ekvivalentním pojmem je chyba 1. typu.[1] Chyba 1. typu ovlivní pouze uživatele, který musí znovu provést autorizaci. Spočítá se jako podíl počtu porovnání vedoucích k neshodě a celkového počtu porovnání u stejné osoby.
- **Pravděpodobnost chybného přijetí** (neoprávněné osoby) - False Acceptance Rate (FAR). Jedná se o situaci, kdy systém akceptuje osobu, která ve skutečnosti přístup povolen nemá. Ekvivalentním pojmem je chyba 2. typu.[1] Z pohledu bezpečnosti je

chyba 2. typu závažnější, než chyba 1. typu. Jedná se o podíl nesprávně přijatých rozdílných vzorů a celkového počtu všech rozdílných vzorů.

- **Míra chybné shody** - False Match Rate (FMR) udává podíl chybně akceptovaných uživatelů.[2] Výpočet je podobný jako u FAR. Liší se tím, že do celkového počtu vzorků nezahrnuje špatně nasnímaná data.
- **Míra chybné neshody** - False Non-Match Rate (FNMR) udává podíl chybně neakceptovaných uživatelů.[2] Výpočet je podobný jako FRR. Rozdíl je v tom, že do celkového počtu vzorků se nezapočítávají špatně nasnímaná data.
- **ROC křivka** - Receiver operating characteristics (ROC) představuje v dnešní době standard při hodnocení kvality biometrických systémů. Nejčastěji se jedná o závislost FMR na FNMR popřípadě FAR na FRR. V systémech určených pro získání oprávnění k přístupu do objektů s vysokým požadavkem na bezpečnost nevadí, když jsou s určitým procentem odmítány oprávněné osoby (vysoká hodnota FRR). Nepřípustné je však povolení přístupu pro neoprávněnou osobu (velmi nízká hodnota FAR). Systémy určené spíše pro komerční využití, jako jsou mobilní telefony nebo bankomaty, mají nízké FAR a současně FRR.[1] Každé zařízení má typický tvar ROC křivky, který vypovídá o závislosti výše uvedených vlastností, jejichž hodnoty lze ovlivnit nastavením prahu rozhodování systému.



Obrázek 6. ROC křivka [13], upraveno

2 OPTICKÉ METODY ZOBRAZENÍ KREVNÍHO ŘEČIŠTĚ PRSTU

Rozpoznání žil ruky a prstu je jedna z nejmladších metod identifikace či verifikace osob. Jedná se o metodu neinvazivní. Snímaná osoba tedy nemusí mít obavy z toho, že by byla nějakým způsobem narušena její integrita při samotném získávání informací.[2] Metoda na snímání krevního řečiště prstu se obecně aplikuje na menší populaci jedinců nebo jako doplněk k jiným metodám, které získávají biometrické informace z prstu ruky. S vývojem technologií se však kapacita zařízení pro snímání neustále zvyšuje.

2.1 Popis optických metod zobrazení krevního řečiště

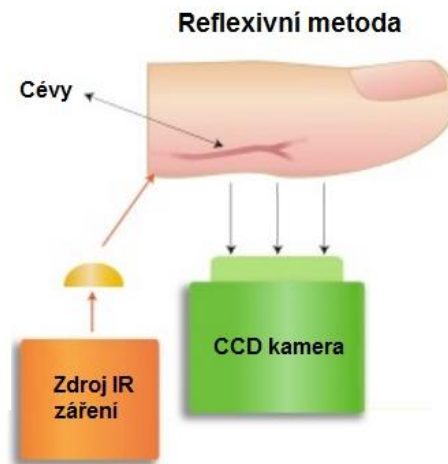
Cílem metody je získání obrazu cévního stromu prstu a následné extrahování dat z nasnímaného obrazu. Metoda využívá jedinečnost cévního stromu prstu ruky, který se po nabytí dospělosti příliš nemění a některé studie dokonce zaznamenaly rozdíly mezi dvojčaty i prsty na levé a pravé ruce.[7]

Získat obraz s cévním stromem prstu je ve viditelném spektru velmi komplikované. Viditelnost žil na prstu ruky může být ovlivněna stářím testované osoby, pigmentací pokožky nebo barvou kůže. Jedním ze způsobů, jak získat snímek prstu s žilami, je pomocí monochromatické CCD kamery v kombinaci s dostatečným nasvícením světlem z oblasti infračerveného záření, které umožní zvýraznit cévní řečiště obsahující hemoglobin. Odkysličený hemoglobin, na rozdíl od samotné kůže, absorbuje světlo o vlnové délce okolo 760 nm, což koresponduje s hodnotou NIR. Dalším způsobem je prosvícení celého prstu infračerveným zářením. U této metody se využívá odlišného stupně pohltivosti světla kostí, tkáně a žil prstu. Díky tomu vznikne dostatečný kontrast mezi tkání a samotnými žilami. Zásadním problémem této metody je naprosto nerovnoměrné prosvětlení, to se řeší pomocí rozptylovače světla, který rovnoměrně rozloží dopadající záření.[2][7]

V závislosti na vzájemném umístění kamery a zdroje infračerveného záření rozlišujeme následující metody snímání žil v prstu ruky:

2.1.1 Reflexivní metoda

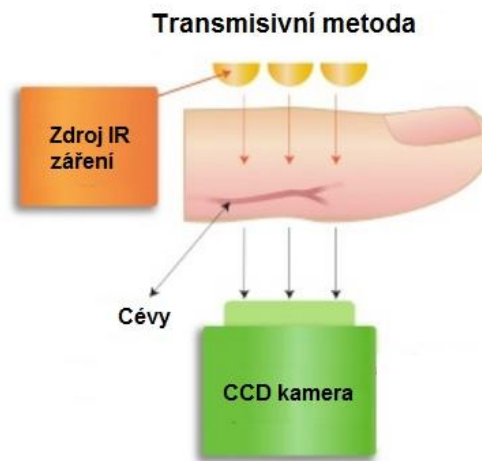
Metoda vychází z odrazu světla od snímaného prstu. Kamera a světelný zdroj jsou umístěny na totožné straně prstu (Obrázek 7). Obraz žil je tvořen z nepatrných rozdílů intenzity odraženého světla. Žíly, které absorbují světlo, tvoří na snímku tmavší oblasti.[2] Mezi výhody této metody řadíme malé rozměry zařízení a také příjemnější zacházení pro uživatele, který nemusí umístit prst do zařízení. Naopak hlavním nedostatkem reflexivní metody je velká časová náročnost extrakce žil, kvůli velmi malému kontrastu snímku.



Obrázek 7. Reflexivní metoda [15], upraveno

2.1.2 Transmisivní metoda

Metoda využívá světlo prostupující světlem. Snímaný prst se vkládá mezi CCD kameru a zdroj záření (Obrázek 8). Získaný obraz má poměrně vysoký kontrast, jelikož potřebný signál prostupuje z druhé strany prstu a neprojevuje se tedy efekt rušivé odrazivosti kůže.[14] Tato metoda je omezena tloušťkou prosvětleného objektu, což by v případě prstu průměrného člověka neměl být problém. Nevýhodou tohoto postupu je fakt, že uživatel musí vsunout prst mezi zdroj světla a kameru, což snižuje jeho komfort.

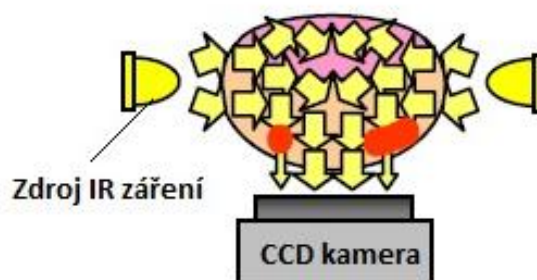


Obrázek 8. Transmisivní metoda [15], upraveno

2.1.3 Metoda s bočním světlem

Jedná se kombinaci metod uvedených výše. Zdroj infračerveného záření je umístěn po obou bocích prstu (Obrázek 9). Záření je uvnitř rozptýleno a následně snímáno CCD kamerou umístěnou pod prstem. Metodu představila firma Hitachi a její autoři uvádějí, že vzniká kontrastní obraz a díky vzájemnému umístění IR diod a CCD kamery je navíc zachována kompaktnost snímače.[2]

Metoda s bočním světlem



Obrázek 9. Metoda s bočním světlem [16], upraveno

2.2 Výhody a nevýhody metod zobrazení krevního řečiště prstu

Mezi hlavní výhody zobrazení krevního řečiště považujeme:

- Žíly se vytvářejí již v děloze a v průběhu života se už nemění.
- Poměrně vysoká rozlišovací schopnost metody umožňuje její použití i v systémech s velkým množstvím uživatelů pohybujících se až v řádech 10^4 .
- Prsteny, vyrážky, popraskaná kůže nebo revma nijak neomezují uživatele při získávání dat potřebných k verifikaci či identifikaci.
- Biometrické znaky získané při snímání krevního řečiště jsou méně závislé na celkovém zdravotním stavu vyšetřované osoby než u ostatních biometrických metod.
- Systém, který využívá tuto metodu, bere v potaz pouze řečiště žijící osoby. Tudiž není potřeba zvlášť kontrolovat životnost.
- Jelikož jsou žíly umístěné uvnitř lidského těla, nejsou pouhým okem viditelné a nelze informaci o jejich rozmístění snadno přechít nebo ukrást. [7][11]

Naopak nevýhodami této metody jsou:

- Fakt, že vyšetřovaná osoba při nehodě přišla o prst potřebný k identifikaci či verifikaci, může způsobit problém.
- Poměrně vysoká pořizovací cena systému odrazuje společnosti a firmy od hromadného zavedení zařízení, které využívají metodu zobrazení krevního řečiště.
- Vzhledem k nedávnému objevení metody byla její spolehlivost zkoumána víceméně jen firmami, které se zabývají prodejem zařízení pro snímání krevního řečiště.
- Fyzické rozměry systému omezují možnosti pro realizaci přenosných zařízení.[7][11]

2.3 Infračervené záření

Infračervené záření je elektromagnetické vlnění mající delší vlnové délky než viditelné světlo. Vzniká jako důsledek vibrací a rotace atomů a molekul. Zdrojem infračerveného záření je každé těleso, jehož teplota je vyšší než teplota absolutní nuly, tedy $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vysílané elektromagnetické vlnění má tepelný účinek.[17]

Vlastnosti IR záření závisí do značné míry na jeho energii, podle které je rozdělujeme do tří pásem:

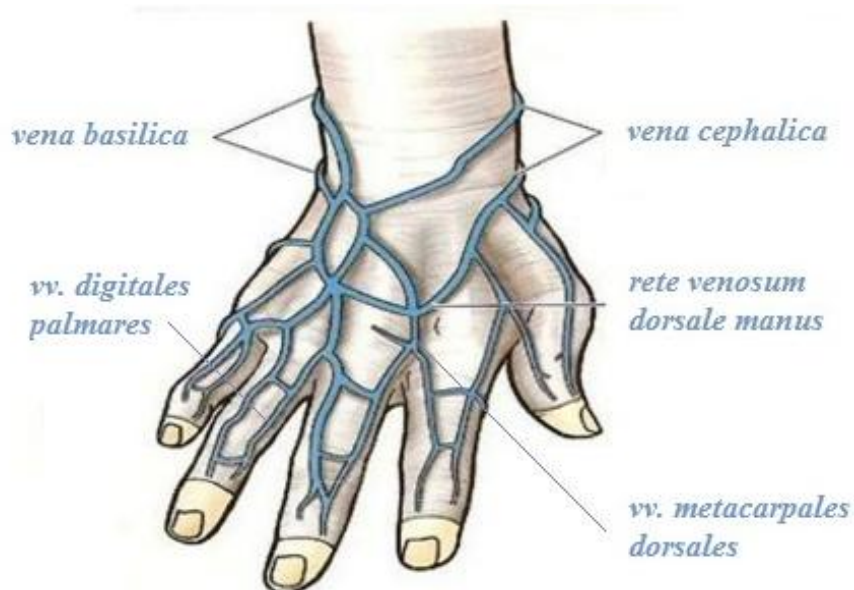
- IR-A s vlnovou délkou 780 - 1400 nm proniká ve tkáni do hloubky 1 až 3 cm. Ovšem v hloubce 1 cm je oslabeno na zlomek původní intenzity. Využívá se při biometrii krevního řečiště a duhovky.
- IR-B s vlnovou délkou mezi 1400 až 3000 nm ve tkáni proniká do hloubky 0,1 nm, kde se nachází málo cév. V biometrii nenachází většího využití.
- IR-C s vlnovou délkou větší než 3 μm . Do tkáni proniká stejně hluboko jako IR-B. V biometrii však nachází uplatnění při získávání termického snímku obličeje za účelem jeho rozpoznání.[18]

2.4 Anatomie krevního řečiště prstu

Krevní řečiště každého jedince je unikátní. Vyvíjí se již v třetím týdnu těhotenství a během života se nemění. Dochází pouze k angiogenezi, kdy vzniká nová síť kapilár v místě poškozené či změněné tkáně. [19]

Jednou z hlavních funkcí krevního řečiště je transport kyslíku z plic k buňkám tkání prostřednictvím erytrocytů nesoucích stěžejní látku pro přenos krevních plynů - hemoglobin. Hemoglobin nasycený kyslíkem - oxyhemoglobin (HbO_2) putuje z plic oběhem ke tkáním, kde jim předává kyslík a v podobě redukováného hemoglobinu - deoxyhemoglobinu (Hb) se žilami vrací zpět.[20]

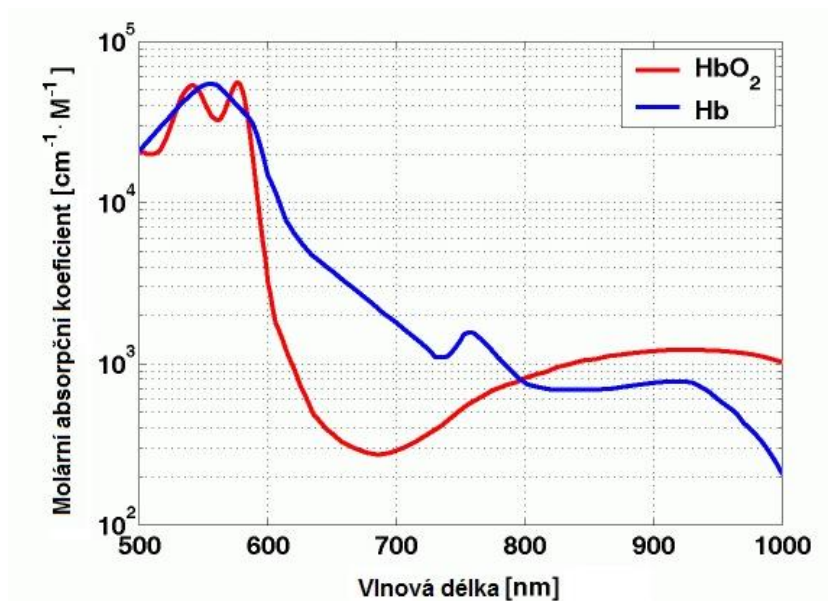
Žíly horní končetiny dělíme na povrchové, které mají na tepnách nezávislý průběh, a hluboké žíly, následující většinou stejnojmenné tepny. Povrchové žíly začínají ze sítí na hřbetní straně ruky - rete venosum dorsale manus a rete carpi dorsale. Jsou to v. cephalica (cefalická) a v. basilica (bazilární) (Obrázek 10), které přecházejí v drobné pleteně prstů. Hluboké žíly vv. radiales a vv. ulnares se dále větví ve vv. digitales palmares a vv. metacarpales dorsales.[21]



Obrázek 10. Krevní řečiště ruky [22], upraveno

Podstatný vliv na kontrast tkáně a žil má průsvit cév, který je závislý na teplotě. Při nízké teplotě dochází k vazokonstrikci - zúžení cév. Krevním řečištěm proudí méně krve a kontrast je tím pádem nižší. Naopak při vysokých teplotách nastává vazodilatace - rozšíření cév. Žilami proudí více krve a kontrast je vyšší. Proto se nedoporučuje umístění zařízení pro snímání krevního řečiště vně budov kvůli vlivu venkovní teploty, která by mohla negativně ovlivnit kontrast snímků a tím pádem samotné biometrické informace.[20]

Voda obsažená v tkáních způsobuje rozptyl dopadajícího záření, což spolu s pronikavostí záření znemožní vidět na kontrastním snímku hlouběji uložené žíly, které proto nemohou být využity při biometrickém rozpoznávání. Rozptyl exponenciálně klesá se zvyšující se vlnovou délkou dopadajícího záření.[18] Při biometrii krevního řečiště však nelze zvýšit vlnovou délku infračerveného záření neuváženě. S rostoucí vlnovou délkou IR záření totiž klesá absorbance hemoglobinu (Obrázek 11), tudíž výsledný obrázek bude méně kontrastní. Navíc citlivost snímačů infračerveného záření klesá s jeho kratší vlnovou délkou.



Obrázek 11. Absorpční spektrum hemoglobinu [23], upraveno

2.5 Komerčně užívaná zařízení

První komerční systémy přišly na trh již kolem roku 2000. U používaných technologií došlo k velkému rozmachu a potřebě kvalitnějších systému s větší kapacitou a hlavně spolehlivostí. Prvními institucemi využívající systémy pro rozpoznání žil prstu, byly banky, které je využívali jak pro přepážkové transakce, tak pro samotnou kontrolu přístupu jejich zaměstnanců. V dnešní době se můžeme setkat s biometrickými systémy využívající technologii snímání krevního řečiště prstu i ve spotřební sféře například u mobilních telefonů nebo zabezpečovacích systémech domácností.[2]

Na obrázku (Obrázek 12) můžeme vidět multimodální biometrickou čtečku vyrobenou firmou Morpho - Safran schopnou zaznamenat a vyhodnocovat současně krevní řečiště a otisk prstu. Udávaná kapacita paměti je 5000 vzorů. Přístroj se vhodný pro použití v exteriéru. Pracovní teplota se pohybuje v rozmezí -10 až 50 °C. Výrobce uvádí možnost dosažení FAR až 10^{-8} . [24] Jedná se však jen o senzor. Pro správné fungování je nutné zařízení připojit k počítači se speciálním programem.

Na obrázku (Obrázek 12) vpravo je zařízení pro snímání krevního řečiště prstu od firmy Hitachi. Zařízení využívá transmisní metodu snímání. Konstrukce přístroje perfektně eliminuje okolní osvětlení. Kapacita paměti je 2000 vzorů. Výrobce uváděná hodnota FRR je 10^{-4} a FAR až 10^{-6} . [26] Stejně jako u přístroje výše se jedná pouze o snímací jednotku.



Obrázek 12. Biometrická čtečka od firmy Morpho - Safran [25] a Hitachi [27]

3 NÁVRH ZAŘÍZENÍ PRO SNÍMÁNÍ KREVNÍHO ŘEČIŠTĚ PRSTU

V následující kapitole bude blíže popsán proces návrhu zařízení, který bude založen na platformě Raspberry Pi s připojenou kamerou.

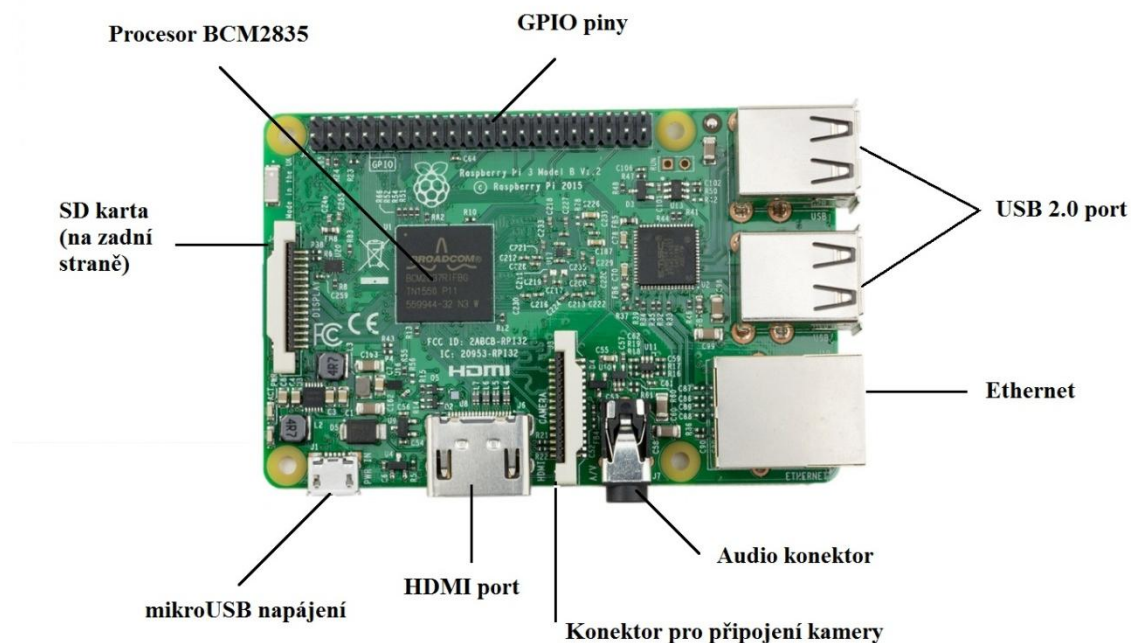
3.1 Raspberry Pi

Raspberry Pi je název jednodeskového minipočítače o velikosti kreditní karty. Navzdory svým malým rozměrům splňuje nejpřísnější kritéria na plnou funkčnost. Může na něm dokonce běžet plnohodnotný operační systém Linux.[28]

Koncepce Raspberry Pi byla vytvořena Dr. Ebenem Uptonem a jeho vědeckým týmem v roce 2006 v počítačové laboratoři na univerzitě v Cambridgi. Doktor Upton se pozastavoval nad klesající úrovní znalostí a dovedností studentů docházejících na studium počítačových věd v porovnání s jejich předchůdci. Domníval se, že je to způsobeno rodiči dětí, kteří jim nedovolují experimentovat s moderními a ne zrovna levnými počítači ve své domácnosti. Rozhodl se tedy vytvořit nenákladný počítač Raspberry Pi, který by dětem naskytl možnost učit se a experimentovat s programováním, aniž by poškodili drahé počítače svých rodičů.[29]

Klíčové pro udržení nízkých nákladů bylo použití čipu typu SoC, což je technika umožňující umístit paměť, mikroprocesor a grafický procesor do jednoho integrovaného obvodu. Raspberry Pi pracuje s procesorem BCM2835 typu ARM běžícího s frekvencí 700 MHz a grafickým procesorem Broadcom VideoCoreIV schopným zobrazovat video s HD rozlišením.[29] Minipočítač používá flash paměť SD k uložení operačního systému, všech programů a dalších dat vyžadujících trvalé uložení.

Minipočítač Raspberry má následující typy konektorů: napájecí konektor, multimediální rozhraní s vysokým rozlišením HDMI, analogové kompozitní video, audio, síťové rozhraní ethernet, konektor pro připojení Raspberry Pi kamery, univerzální sériové rozhraní USB, dva konektory pro budoucí rozšíření a víceúčelová vstupní či výstupní rozhraní GPIO.[28]

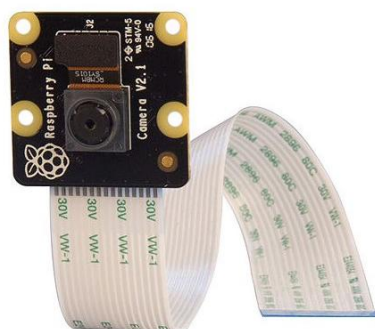


Obrázek 13. Raspberry Pi [30], upraveno

Napájecí konektor je zásuvka microUSB určená k připojení zástrčky pro přívod napětí +5 V DC. K napájení se může používat skoro libovolný napáječ pro chytré telefony s konektorem microUSB. Konektor HDMI zprostředkovává přenos audio- a videosignálů s využitím plně funkčního rozhraní HDMI, které se používá u většiny moderních standardů. Uživatelé se často musí vypořádat s problémem připojení Raspberry k monitorům postrádající konektor pro HDMI. To se dá snadno vyřešit pomocí adaptéru pro převod HDMI na VDA nebo DVI. Audio výstup je proveden standardním konektorem typu jack o průměru 3,5 mm. Porty USB slouží k připojení přídatných zařízení, jako jsou klávesnice, myš nebo externí úložiště. Konektor GPIO má 26 vývodů umístěných ve dvou řadách po 13 vývodech sloužících k připojování hardwaru. Všechny vývody jsou dimenzovány na maximální napětí 3,3 V.[28]

3.2 NoIR kamera

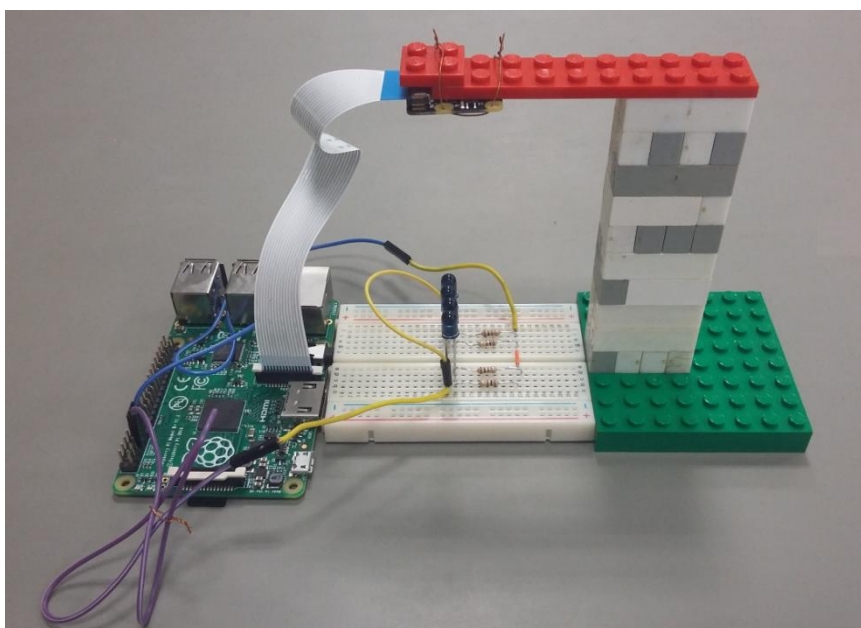
Raspberry Pi NoIR kamera je oficiální kamerový modul bez infračerveného filtru. Zařízení je vybaveno 8 Mpx Sony IMX219 CCD kamerou poskytující fotografie o rozlišení až 3280 x 2464 pixelů a videem o rozlišení 720 pixelů při 60 snímcích za sekundu. Rozměry kamery jsou 25 mm x 20 mm x 9 mm. V kombinaci s infračerveným osvětlením získá její uživatel schopnost nočního vidění. V praxi nachází uplatnění například v domácím zabezpečení nebo jako fotopast na divoká zvířata.[31]



Obrázek 14. Raspberry Pi NOIR kamera [31]

3.3 Návrh zařízení

Navržené zařízení pro biometrické snímání krevního řečiště prstu obsahuje minipočítač Raspberry Pi s připojenou NoIR kamerou a světelným zdrojem v podobě diod v blízké infračervené oblasti spektra, který je napájen napětím 3,3 V z GPIO konektorů Raspberry Pi.

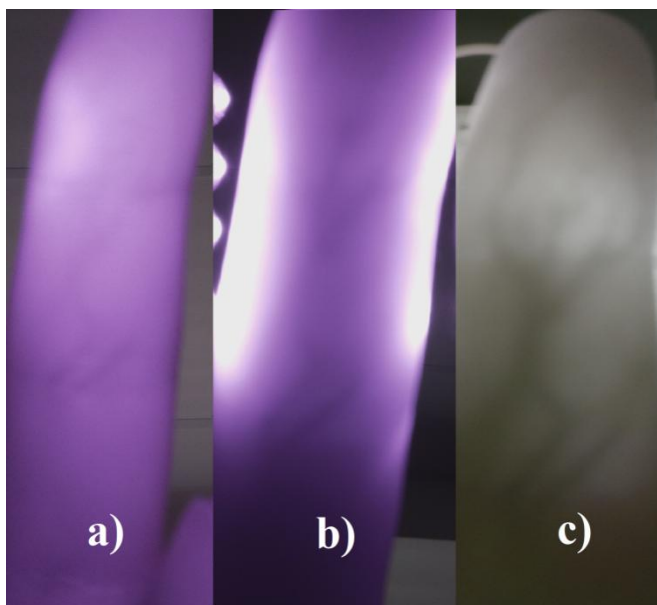


Obrázek 15. Návrh zařízení

3.3.1. Srovnání metod snímání žil prstu

Na obrázku (Obrázek 16) můžeme vidět testované metody pro snímání krevního řečiště prstu. Všechny snímky byly pořízeny za stejného osvětlení místnosti a vlnové délky IR diody 875 nm. U reflexní metody je vidět pouze minimální kontrast a navíc jen u povrchových žil. Na snímku s využitím metody s bočním světlem je kontrast mnohem patrnější. Výrazný problém však tvoří odraz světla, který způsobuje ztrátu podstatné části signálu. Nejlepší

kontrast dosahuje transmisní metoda, kde můžeme vidět i žíly nacházející se ve spodních rovinách prstu.

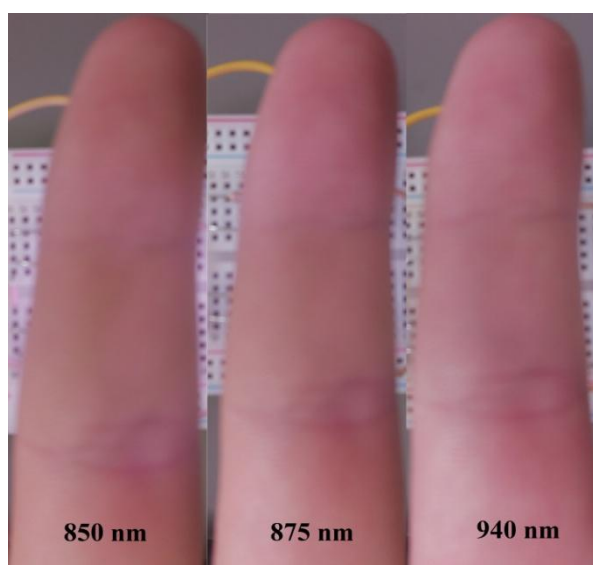


Obrázek 16. Zobrazení metod: reflexivní (a), s bočním světlem (b) a transmisivní (c)

3.3.2. Testování metody zvolené pro realizaci přípravku

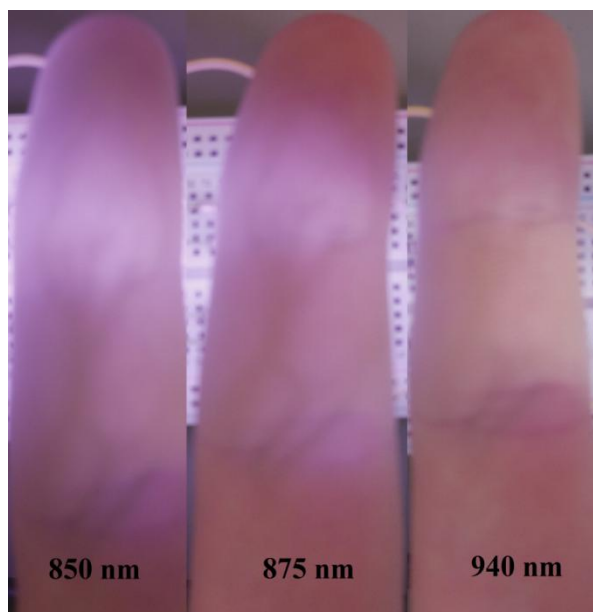
Ze srovnání výše (Obrázek 16) je zřejmé, že nejvyššího kontrastu mezi žilami a tkání bylo dosaženo u transmisivní metody. Dále byl zkoumán vliv osvětlení přípravku okolními zdroji intenzivního infračerveného záření (Slunce, wolframové zářivky) a vlnové délky IR diod na výsledný kontrast a tím pádem hodnotu biometrické informace.

Při denním světle v kombinaci s umělým osvětlením místnosti není na obrázku (Obrázek 17) vidět žádný kontrast u všech vlnových délek IR diod, jelikož se od povrchu prstu odráží mnohem více záření, než jím prostupuje.



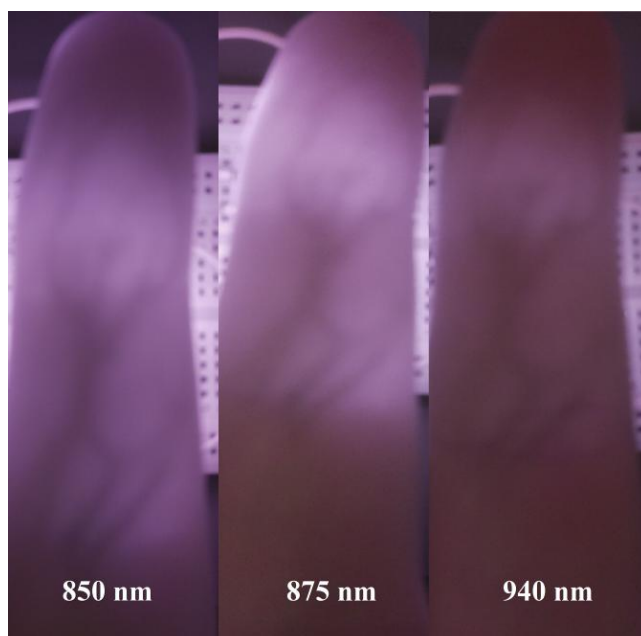
Obrázek 17. Transmisivní metoda při plném osvětlení

Po eliminaci denního světla a ponechání umělého osvětlení místnosti bylo při vlnových délkách 850 nm a 875 nm IR diod dosaženo mnohem lepšího kontrastu (Obrázek 18). U infračervené diody s $\lambda = 940$ nm kontrast pozorovat nelze.



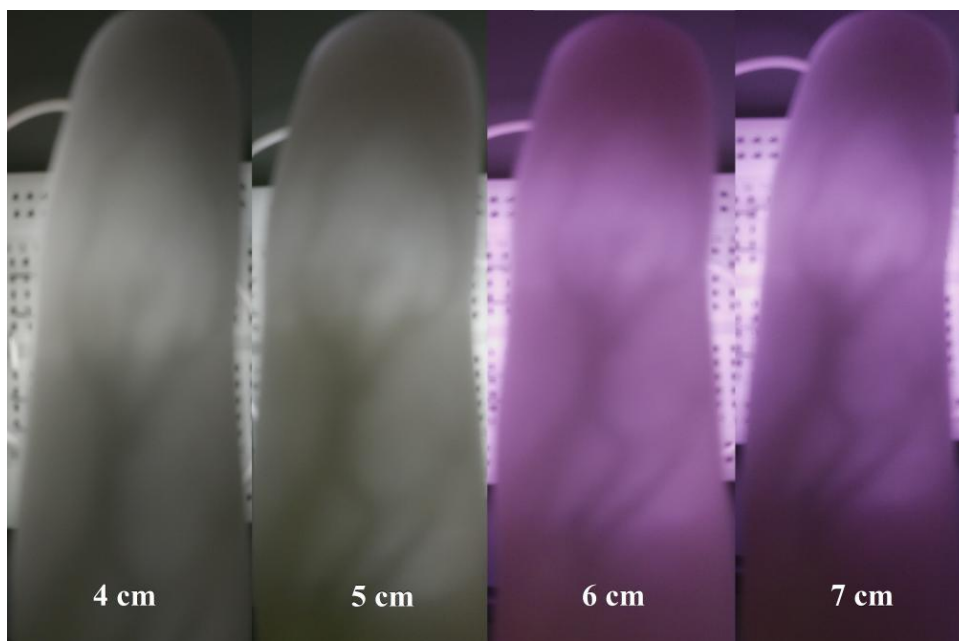
Obrázek 18. Transmisivní metoda při eliminaci denního světla

Potlačením jak denního světla, tak i umělého osvětlení místnosti bylo dosaženo nejlepšího kontrastu u všech vlnových délek IR diod (Obrázek 19).



Obrázek 19. Transmisivní metoda - žádné osvětlení

Na obrázku (Obrázek 20) je vidět schopnost NoIR kamery fokusovat s ohledem na různou vzdálenost čočky od snímaného prstu umístěného v bezprostřední blízkosti zdroje infračerveného záření. Optika kamery navíc kvůli relativně malému zornému úhlu není schopná při malé vzdálenosti zachytit na záznam celý prst. Rozdílná barevnost snímků je způsobena automatickým nastavením kamery. Při realizaci zařízení bude nastavena manuálně.

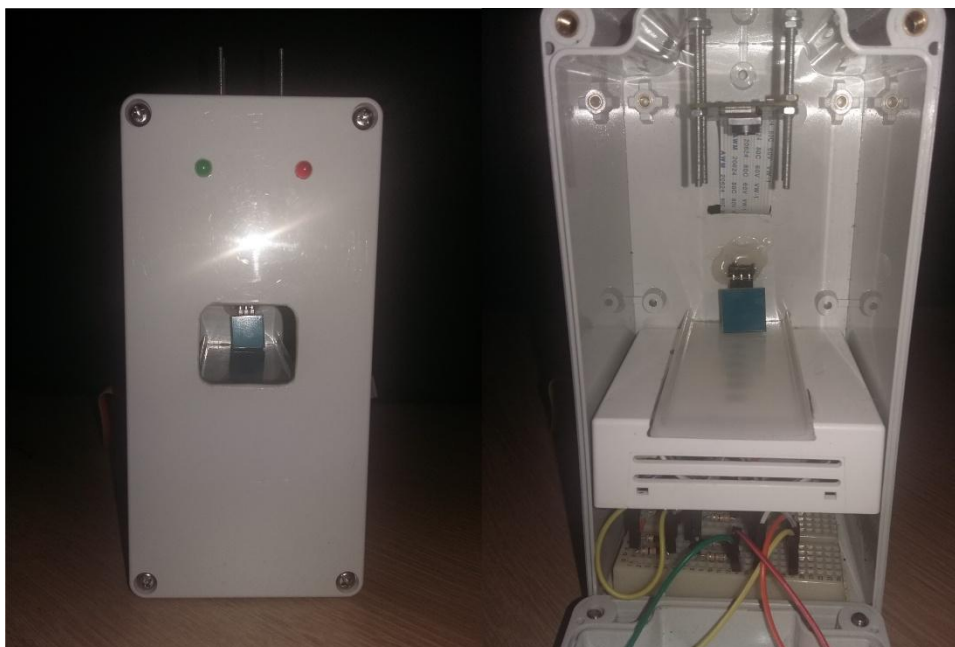


Obrázek 20. Fokuse kamery při různých vzdálenostech

Na základě uvedených testování musí být realizované zařízení využívající transmisivní metodu pro zobrazení krevního řečiště prstu schopné eliminovat sluneční záření pro dosažení potřebného kontrastu mezi tkání a žilami. Zdroje umělého osvětlení mají v IR části spektra elektromagnetického záření malý výkon a zařízení lze v jejich blízkosti používat bez většího vlivu na kvalitu získaného snímku. Vlnová délka IR diod zdroje záření by se měla pohybovat v rozmezí 850 - 875 nm. Pro zachování kompaktnosti přístroje a zároveň zachycení celého prstu v dostatečné kvalitě rozlišení snímku musí být vzdálenost snímače kamery od zdroje záření 6 - 7 cm za předpokladu, že snímaný prst je v bezprostřední blízkosti zdroje světla.

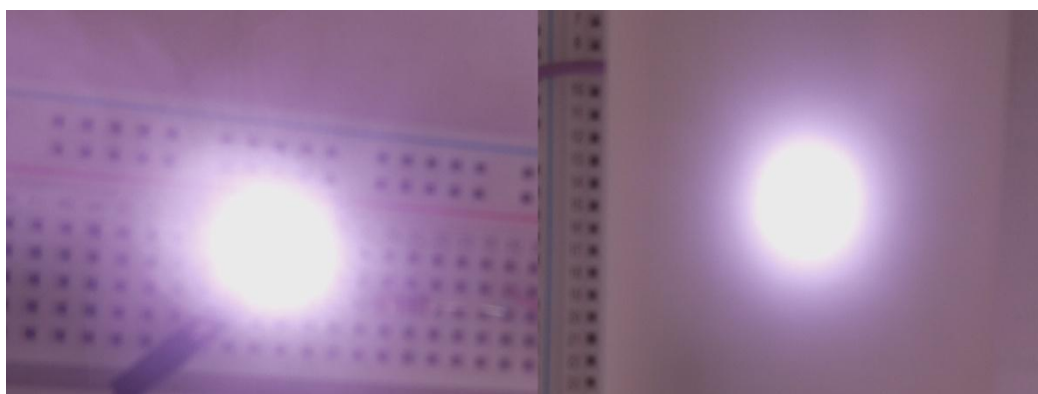
4 REALIZACE ZAŘÍZENÍ A JEHO TESTOVÁNÍ

Konstrukce zařízení vychází z jeho návrhu (Obrázek 15) a výsledků testování různého typu osvětlení u transmisivní metody. Pro dostatečnou eliminaci slunečního záření a silného umělého osvětlení tvoří zařízení uzavřená konstrukce s otvorem pro vsunutí snímaného prstu.



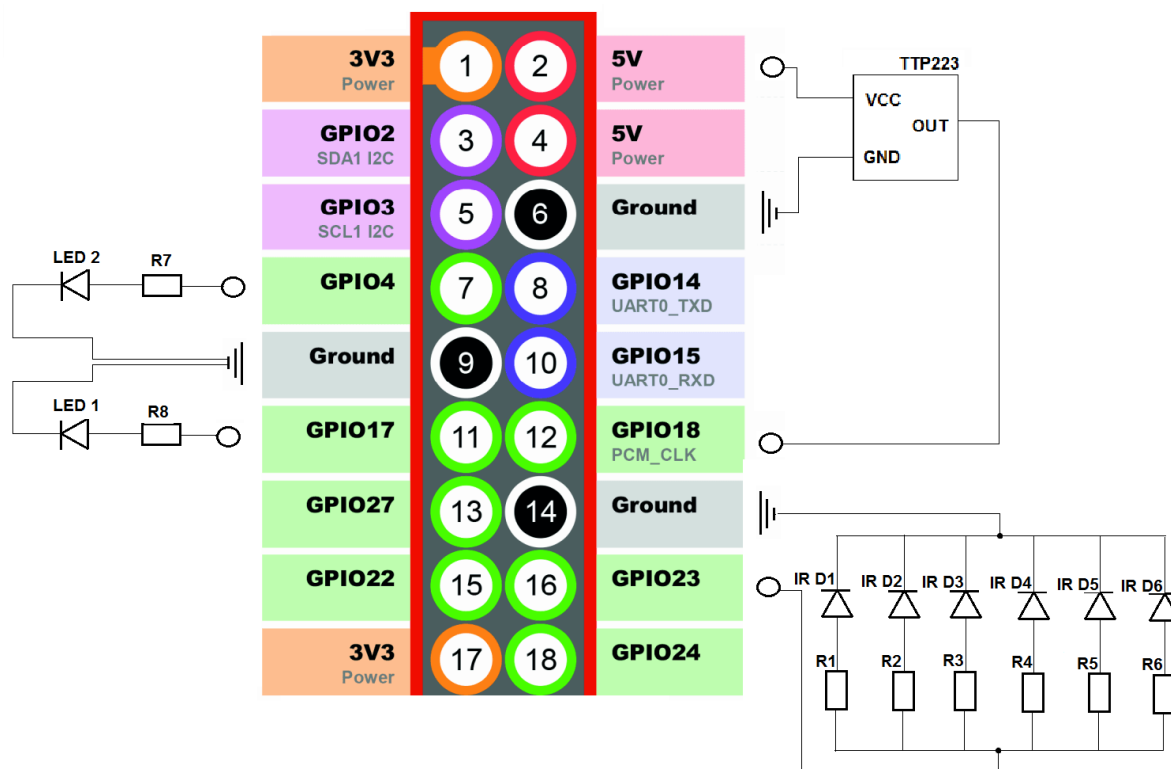
Obrázek 21. Realizované zařízení

Uvnitř konstrukce je umístěno nepájivé pole s šesti paralelně zapojenými infračervenými diodami o vlnové délce 875 nm. Kvůli poměrně malému vyzařovacímu úhlu diod (13°) byl mezi ně a snímaný prst umístěn mléčný difuzor. Ten je vhodný pro rozptýlení bodového zdroje světla. I přes fakt, že difuzor propouští 65% záření, je dosažený kontrast mezi tkání a žilami dostatečný a prosvícení celého prstu je homogenní. Difuzor navíc slouží jako vodící lišta při umístění prstu do zařízení, což zvyšuje komfort uživatele. Z horní stěny konstrukce jsou spuštěny čtyři závitové tyče pro umístění NoIR kamery. To umožňuje měnit vzdálenost kamery od zdroje záření a snímaného prstu.



Obrázek 22. Záření IR diody bez difuzoru (vlevo) a s mléčným difuzorem (vpravo)

Za účelem zvýšení komfortu uživatele byly na čelní stěnu zařízení umístěny zelená a červená notifikační dioda. Ty informují uživatele o tom, zda zařízení právě snímá vložený prst nebo snímání skončilo, případně ještě nezačalo. Zařízení dále obsahuje kapacitní dotykový senzor, který je tvořen mikročipem typu TTP223. Jakmile se senzoru dotkne prst vyšetřované osoby, dojde ke změně toku proudu. Senzor zvýší svou kapacitu a změní výstupní signál. Použití dotykového senzoru zvýší pravděpodobnost stejného umístění prstu při opětovném snímání a dále zajistí, že IR diody budou svítit pouze v případě dotyku snímaného prstu a senzoru.

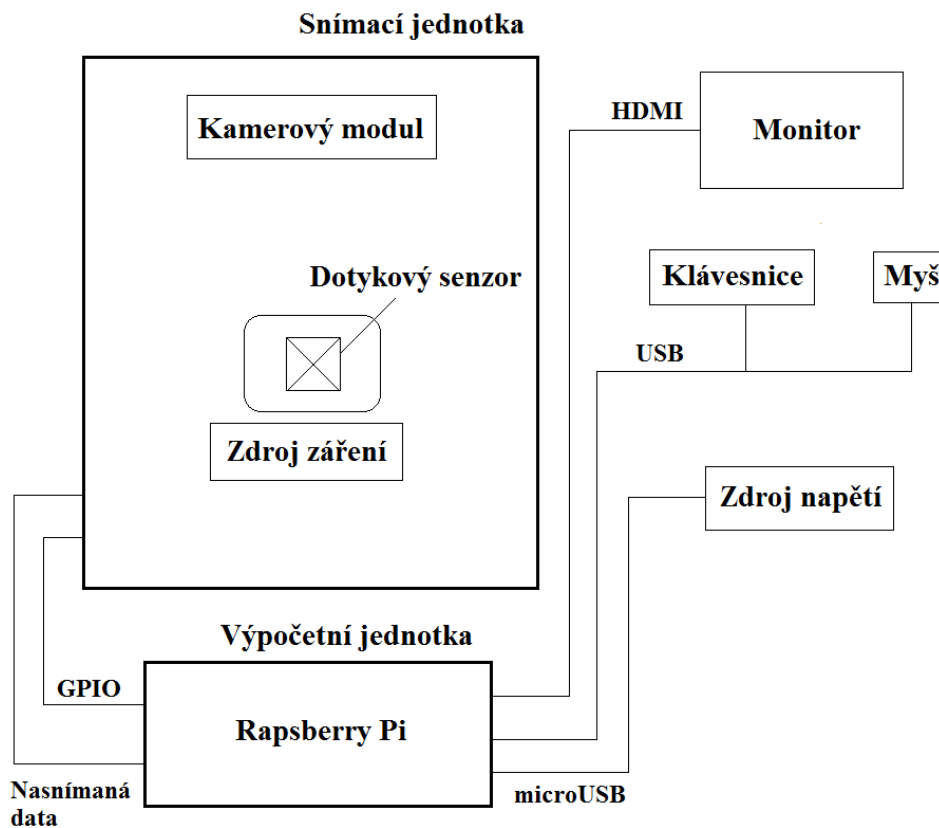


Obrázek 23. Elektrické schéma zařízení [32], upraveno

Na elektrickém schématu zařízení (Obrázek 23) je zobrazeno pouze 18 z celkových 40 pinů Raspberry Pi. Nevyužité piny byly kvůli velikosti a přehlednosti samotného schématu vynechány. Dotykový kapacitní senzor je napájen napětím 5 V z pinů Raspberry Pi a na všechny diody tedy notifikační i infračervené je přivedeno napětí 3,3 V. Maximální povolený proud IR diod je podle výrobce 60 mA při napětí 1,55 V. Pro získání dostatečného světelného výkonu u všech IR diod a jejich současnou ochranu proti zničení byl proud omezen na hodnotu 53 mA použitím rezistorů R_1 až R_6 s hodnotou odporu 33 Ω . Podobně jsou chráněny zelená a červená notifikační dioda avšak s jinými hodnotami odporů R_7 a R_8 .

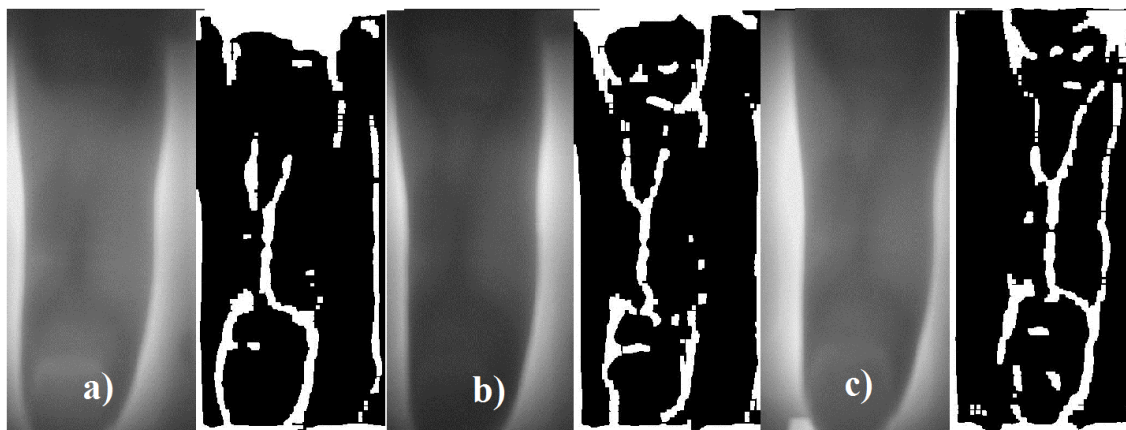
Vytvořená konstrukce zařízení je v podstatě pouze snímací jednotka. Pro dostatečnou funkčnost zařízení jako celku k ní musí být připojena výpočetní jednotka v podobě mikrokontroléru Raspberry Pi a další hardwarové komponenty (Obrázek 24). Výpočetní

jednotka na základě informace z dotykového senzoru vypíná a zapíná zdroj infračerveného záření z GPIO konektorů. Řídí snímání prstu vyšetřované osoby kamerovým modulem a získaný snímek dále zpracovává. K ovládání softwaru pro extrakci krevního řečiště je k Raspberry Pi dále připojen monitor, klávesnice a myš.



Obrázek 24. Schéma snímací jednotky se všemi připojenými komponenty

V rámci testování zařízení byla zkoumána závislost viditelnosti žil na teplotě, podrobněji popsána v kapitole 2.4. Při vyšších teplotách dochází k vazodilataci, která by se měla projevit výraznějším kontrastem mezi tkání a žilami snímaného prstu. Naopak při vazokonstrikci způsobené ochlazením prstu by měl být výsledný kontrast nižší. Prst byl snímán ve třech různých podmínkách: v normálním stavu, po minutovém umístění v ledové vodě a nakonec po minutě v horké vodě. Ze snímků zkoumaného prstu, za uvedených podmínek, (Obrázek 25) je zřejmý vliv teploty na výsledný kontrast a samotnou biometrickou informaci. Proto není vhodné používat zařízení při nízkých teplotách.



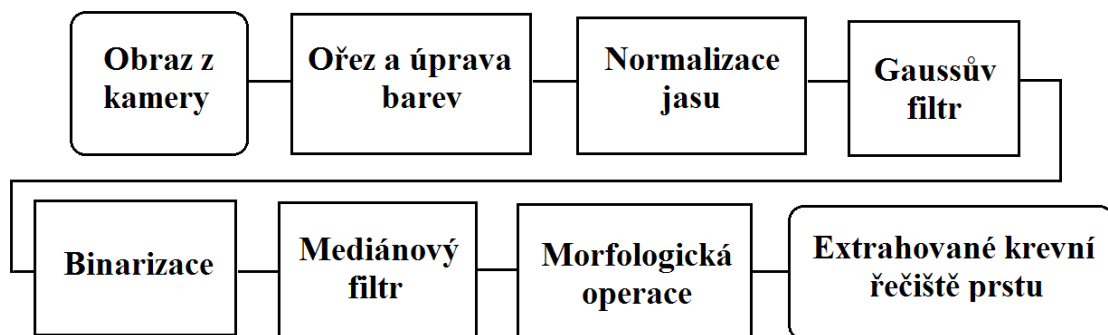
Obrázek 25. Viditelnost žil prstu při teplotě: a) nízké b) normální c) vysoké

5 PŘEDZPRACOVÁNÍ OBRAZOVÝCH DAT

Získaný snímek pomocí realizovaného zařízení obsahuje nepřehledné množství informací například o sytosti barev, kontrastu, jasů nebo geometrii samotného prstu. Nedílnou avšak nežádoucí složkou je také šum způsobený kamerou. Před získáním samotné biometrické informace o krevním řečišti prstu je proto nutné snímek s využitím různých postupů a filtrací předzpracovat.

5.1 Navržená metoda předzpracování obrazových dat

Navržená metoda pro předzpracování získaných dat z Raspberry Pi NOIR kamery jsou na schématu níže (Obrázek 26). Dále je každá část procesu předzpracování stručně popsána.



Obrázek 26. Schéma navržené metody předzpracování

Obraz z kamery

Obraz snímáný kamerou je nastavený na prostorové rozlišení 1024 x 768 pixelů. Vzhledem k uzavřené konstrukci pro eliminaci slunečního záření a umělého osvětlení snímá NoIR kamera v nočním režimu. Při snímání byla dále nastavena maximální saturace barev.

Ořez a úprava barev

Kvůli snížení výpočetní a paměťové náročnosti je snímek zmenšen a převeden na šedotónový obraz. Oříznutí odpovídá oblasti tvořené pouze difuzorem. To zajistí dostatečné zmenšení obrazu, který však bude pokaždé obsahovat celý nasnímaný prst. Samotné oříznutí je provedeno jednoduchou indexací prvků matice.

Normalizace jasu

Pro zvýraznění některých detailů v obraze je vhodné jej normalizovat. Jedná se v podstatě o ekvalizaci histogramu, kdy se zvýší kontrast obrazu, tak aby byly všechny jasové hodnoty zastoupeny rovnoměrně. Výpočet normalizace I_{norm} ze snímku I je dán vztahem pro standardizaci rozpětím [33]

$$I_{norm(x,y)} = 255 \cdot \frac{I_{(x,y)} - I_{min}}{I_{max} - I_{min}}, \quad (1)$$

kde $I_{norm(x,y)}$ značí výslednou hodnotu jasu v normalizovaném obraze na pozici (x,y) , $I_{(x,y)}$ je hodnota jasu na stejné pozici vstupního obrazu a I_{min} s I_{max} označují minimální respektive maximální hodnotu jasu ve vstupním obraze.

Gaussův filtr

Jedná se lineární filtr, který je symetrický kolem středu, jehož normalizovaná konvoluční maska velikosti 5 x 5 (Obrázek 27) vznikne vydělením všech prvků matice jejich celkovým součtem. Součet všech prvků masky je poté roven jedné a při konvoluci není přidána žádná energie do výsledného obrazu.[34] Filtr Gaussova typu bývá označován také jako rozmazávací, jelikož uvedená metoda vede k rozmazání snímku.

$$\frac{1}{29} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 5 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Obrázek 27. Konvoluční maska Gaussova filtru

Binarizace - aditivní prahování

Binarizace pomocí aditivního prahování využívá masky velikosti 20 x 20 procházející po řádcích obrazem. Při každém posunutí masky je spočítána průměrná hodnota jasu, která je porovnávána s předem nastaveným prahem. Do pomocné matice je následně uložena 0 nebo 1 v závislosti na výsledku porovnání hodnot průměru jasu a prahu. Z důvodu zlepšení kvality binarizace prochází maska obraz s vlastním polovičním překrytím. Do pomocné matice se následně přičítá 0 nebo 1 k původním hodnotám. Celkově projde maska obrazem čtyřikrát. Každý prvek pomocné matice je tedy vydělen čtyřmi. Výsledný černobílý obraz tedy vzniká z porovnávání hodnot 0; 0,25; 0,5; 0,75 a 1, podle podmínky

$$O_{bin(x,y)} = \begin{cases} 0, & \text{jestliže } O_{pom(x,y)} < 0,5 \\ 1, & \text{jestliže } O_{pom(x,y)} \geq 0,5 \end{cases}, \quad (2)$$

kde $O_{bin(x,y)}$ je hodnota pixelu na pozici (x,y) ve výsledném binárním obraze a $O_{pom(x,y)}$ hodnota pixelu v pomocné matici na stejné pozici.

Mediánový filtr

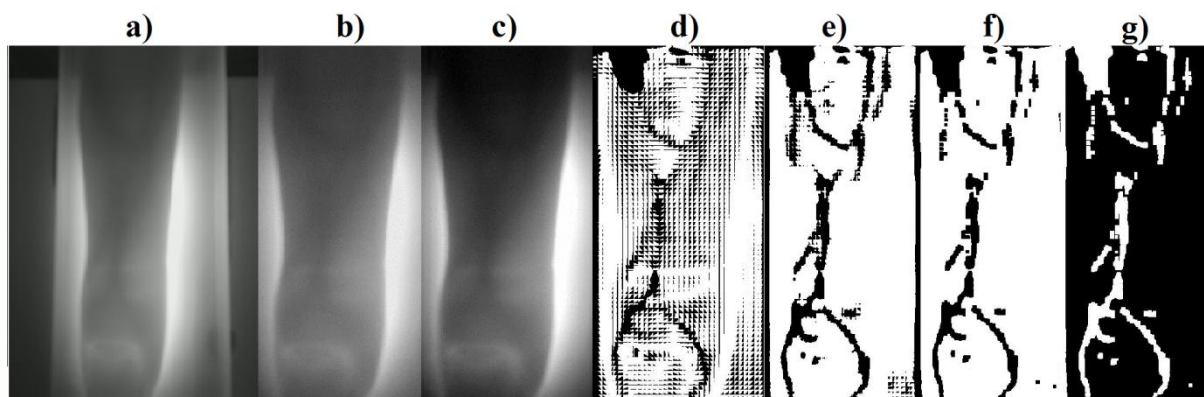
Mediánový filtr je nelineární filtr, který třídí obrazové elementy podle jejich jasových hodnot. Podobně jako Gaussův filtr využívá masku posunující se po obrazu. K výpočtu pixelu ve výstupním obraze využívá okolí pixelu ve vstupním obraze, jehož velikost je určena maskou.[34] Pixely ve vstupním obraze překryté maskou filtru jsou seřazeny podle velikostí svých jasů. Do výstupního obrazu se na místo centrálního prvku masky uloží medián ze seřazených prvků vstupního obrazu. Mediánový filtr je vhodný k potlačení impulsního šumu.

Morfologické operace - uzavření

Morfologické operace vychází z vlastností bodových množin. Nejčastěji se s nimi setkáváme při práci s binárními obrazy konkrétně při jejich předzpracování nebo při zvýraznění struktury různých objektů. Morfologické operace tvoří základ pro morfologické operátory, kteří jsou lokální obdobně jako konvoluční operátory. Využívají tedy pohybující se masku po obraze. V případě morfologických operací hovoříme však o strukturním elementu, který má daný referenční bod, pod jehož pozici se ukládá výsledek do výstupního obrazu. Strukturní element obsahuje pouze nuly a jedničky.[34]

Jedním z morfologických operátorů je uzavření. Operátor uzavření vzniká zřetěžením operace dilatace a eroze za současného použití stejného strukturního elementu. Cílem uzavření je ovlivnění malých objektů při zachování stejných tvarů a velikostí velkých objektů uvnitř obrazu.[34]

Dílčí kroky navržené metody jsou vyobrazeny na snímku níže (Obrázek 28). Snímek pořízený NoIR kamerou je označen písmenem a), ořezání snímku a jeho převod na šedotónový obraz písmenem b), normalizace jasu a filtrace pomocí filtru Gaussova typu písmenem c), binarizaci aditivním prahováním písmeno d), mediánovou filtraci e) a morfologickou operaci uzavření a výsledný obraz s extrahovaným krevním řečištěm označují písmena f) a g).

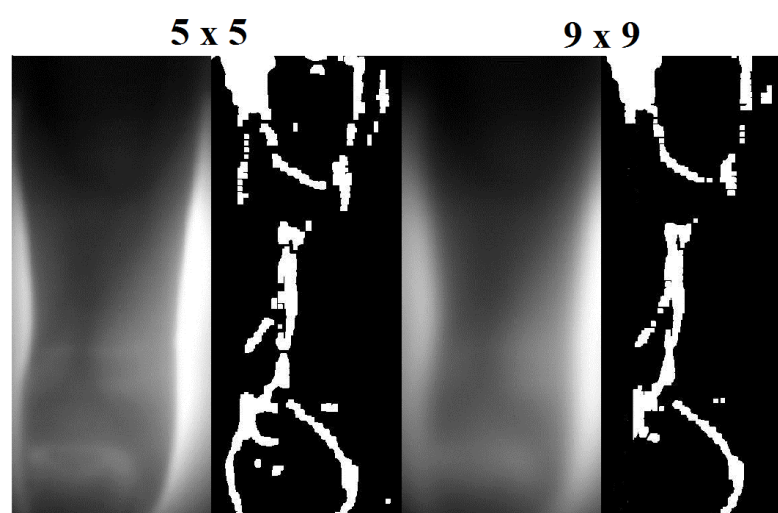


Obrázek 28. Jednotlivé kroky navržené metody

5.2 Testování různých parametrů vybraných kroků navržené metody

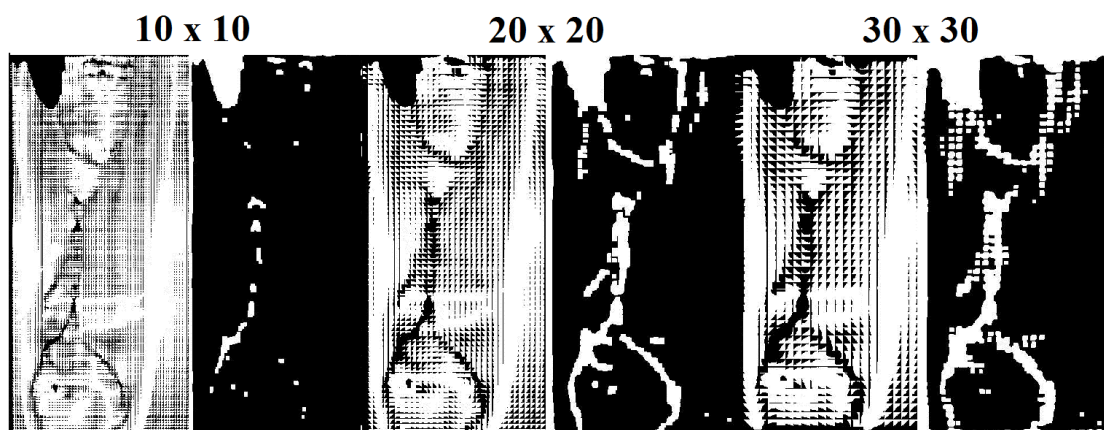
Za účelem nalezení optimálních parametrů vybraných kroků navržené metody předzpracování obrazu v kapitole 5.1 byla provedena následující testování.

Při výběru ideálních rozměrů konvoluční masky Gaussova filtru byly testovány masky velikosti 5 x 5, 7 x 7 a 9 x 9. S ohledem na nejvěrnější extrahování stromu krevního řečiště prstu bylo dosaženo nejlepších výsledků u masky velikosti 5 x 5 (Obrázek 29 vlevo). U masky velikosti 9 x 9 bylo rozmazání obrazu natolik zásadní, že způsobilo splynutí parazitních jevů se samotným cévním řečištěm a především neschopnost zachytit jeho menší větve (Obrázek 29 vpravo).



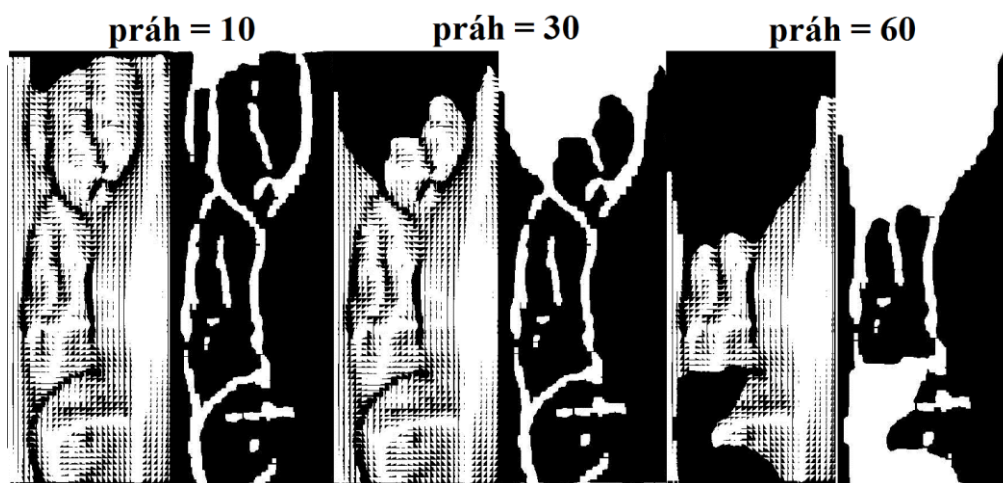
Obrázek 29. Závislost velikosti masky na výsledném obraze

Dále byl testován vliv velikosti masky postupující obrazem při jeho binarizaci pomocí aditivního prahování. U masky velikosti 10 x 10 se podařilo extrahovat pouze nepatrnou část krevního řečiště prstu. Navíc se kvůli poměrně malé velikosti masky výrazně zvýšila celková doba zpracování obrazu. Při použití masky o rozměrech 30 x 30 došlo ke zvýraznění parazitních jevů, což mělo za následek zašumění samotného stromu krevního řečiště prstu. Nejlepších výsledků bylo dosaženo u masky velikosti 20 x 20. Výsledné obrazy pro uvedené velikosti masek procházejících obrazem jsou na obrázku níže (Obrázek 30). Levou část každé dvojice jednotlivých snímků tvoří obraz po binarizaci. Pravou část tvoří výsledný snímek zpracování.



Obrázek 30. Vliv velikosti masky u binarizace na výsledný obraz

U tvoření binárního obrazu prostřednictvím aditivního prahování byl navíc zkoumán vliv nastaveného prahu pro porovnávání s měnícím se průměrným jasem postupující masky obrazem. Nejlepších výsledků bylo dosaženo pro malé hodnoty prahu konkrétně v rozmezí 10 až 20 (Obrázek 31). Při nastavení vyšších hodnot prahu se projevil nežádoucí vliv záření dopadajícího na snímání prst otvorem určeným pro jeho vniknutí do snímací jednotky. To způsobilo zvýšení hodnot jasu na pořízeném snímku v okolí zmiňovaného otvoru, což ve výsledném obraze zapříčinilo vznik bílé skvrny v horní části snímku (Obrázek 31).



Obrázek 31. Vliv nastavení prahu na výsledný obraz

5.3 Využití navržené metody v programu

Program na ovládání snímání zařízení a následné zpracování obrazů je napsán v programovacím jazyce Python verze 3.4. Mimo základních funkcí byly v programu použity tyto knihovny:

- RPi.GPIO - ovládání GPIO výstupů
- os - ovládání NoIR kamery a ukládání snímků
- numpy - práce s obrazy v numerickém tvaru a jednoduché matematické operace
- cv2 - zpracování obrazů
- scipy - zpracování a ukládání obrazů
- PIL - zpracování obrazů.

Podle schématu (Obrázek 25.) jsou provedeny stěžejní příkazy a cykly na snímání a zpracování obrazu krevního řečiště prstu následovně.

Obraz z kamery je nasnímán pomocí příkazu *os.system*. Po parametru *raspistill* následují požadované rozměry, nastavení nočního režimu snímání, úrovně saturace a názvu snímku.

Nasnímaný obraz je následně převeden na šedotónový pomocí funkce *cv2.cvtColor*. Pro ořezání snímku jsou nejprve nastaveny meze ořezu. Samotný ořez se pak provede jednoduchou indexací matice.

Normalizace jasu ořezaného šedotónového obrazu je vypočítána podle vztahu pro standardizaci rozpětím (1). Minimální a maximální hodnota jasu jsou určeny podle funkce *numpy.min* respektive *numpy.max*.

Filtraci normalizovaného obrazu s využitím filtru Gaussova typu zajišťuje příkaz *scipy.ndimage.filters.gaussian_filter*. Rozměry konvoluční masky jsou 5 x 5.

Binarizace pomocí aditivního prahování je uvedena v části kódu obsahující vnořený *for* cyklus, podmínku *if* pro porovnávání průměrné hodnoty jasu v obraze a nastaveného prahu a následné přiřazování hodnot 0 nebo 1 do výsledného binárního obrazu po čtyřnásobném průchodu masky obrazem a závislosti na hodnotě (0,0.25,0.5,0.75,1) v pomocné matici (Obrázek 32)

```

#adaptivni prahovani - binarizace

roz_mask=20 #nastaveni rozmeru masky
maska=numpy.zeros([roz_mask, roz_mask]) #maska
b_obr=numpy.zeros_like(gauss_filt) #pomocna matice velikosti snimku

for k in range(1,gauss_filt.shape[0]-roz_mask,int(numpy.floor(roz_mask/2))):
    for l in range(1,gauss_filt.shape[0]-roz_mask,math.floor(roz_mask/2)):

        mask=gauss_filt[k:k+roz_mask,l:l+roz_mask] #nastaveni hodnot do masky
        prumer=numpy.mean(mask) #vypocet prumerneho jasu v masce
        b_mask=numpy.zeros_like(mask) #bin podoba masky
        prah=10 # hodnota jasu pro prah

        if prumer>prah:
            b_mask = mask > prumer #kdyz prekroci prah tak 1 jinak 0

            b_obr[k:k+roz_mask, l:l+roz_mask]=b_mask + b_obr[k:k+roz_mask, l:l+roz_mask]

b_obr=b_obr/4.0 #prumerna hodnota ze ctyr pruchodu masky obrazem
b_obr[b_obr >= 0.5]=1 #pixely s hodnotou vetsi nebo rovno 0.5 nastavi jako 1
b_obr[b_obr < 0.5]=0 #pixely s hodnotou vetsi nez 0.5 nastavi jako 0

```

Obrázek 32. Kód pro binarizaci pomocí aditivního prahování

Binární obraz je zbaven šumu mediánovým filtrem. Konkrétně prostřednictvím funkce *scipy.ndimage.filters.median_filter* s velikostí masky 9 x 9.

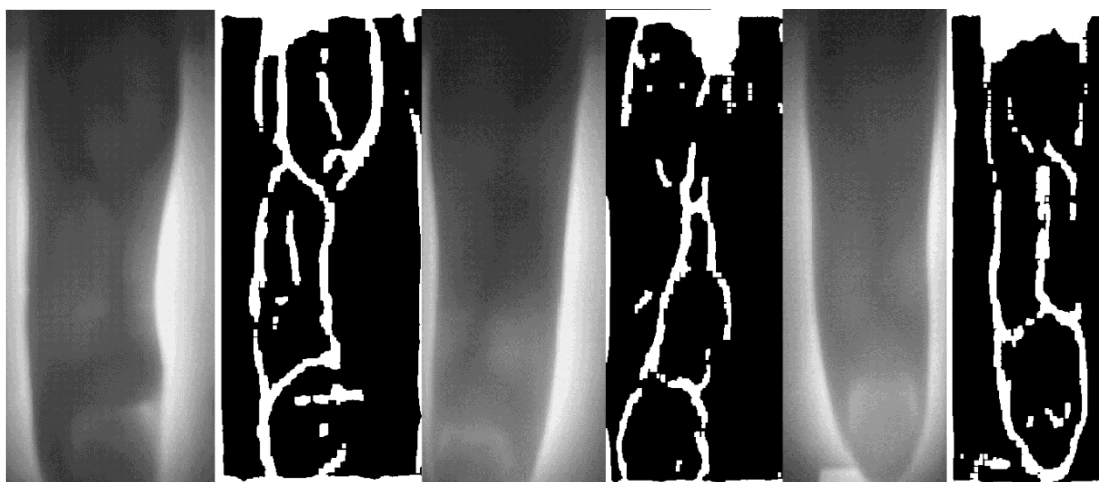
Drobné parazitní objekty v binárním obraze jsou eliminovány pomocí morfologické operace uzavření. Nejprve je vytvořen strukturní element velikosti 7 x 7 pomocí příkazu *numpy.ones*. Samotná operace uzavření potom s využitím funkce *cv2.morphologyEx* s parametrem *cv2.MORPH_CLOSE* a vytvořeným strukturním elementem.

6 DATABÁZE NASNÍMANÝCH OBRAZŮ A HODNOCENÍ JEJICH KVALITY

Databáze snímků krevního řečiště prstů byla vytvořena na 13 dobrovolnících při přibližně stejném zastoupení obou pohlaví ve věkovém rozmezí 21 až 25 let. Všechny snímané osoby byly informovány o účelu snímání a dále jim byl nastíněn postup při vkládání prstu do snímací jednotky zařízení. Každému dobrovolníkovi byl nasnímán levý a pravý ukazováček z důvodu nejsnazší manipulace s tímto prstem při umísťování do zařízení. Databáze tedy obsahuje 26 fotografií krevního řečiště pro 26 jedinečných prstů s lépe i hůře viditelným kontrastem mezi tkání a krevním řečištěm. Databáze je dále doplněna extrahovaným vzorem krevního řečiště všech nasnímaných prstů.

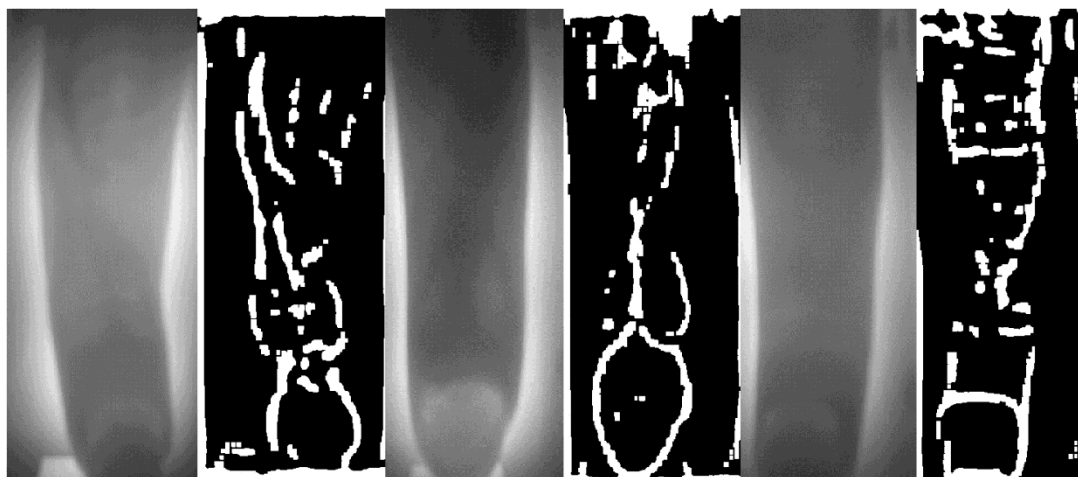
6.1 Hodnocení kvality nasnímaných a zpracovaných dat

Na obrázku (Obrázek 33) můžeme vidět snímky s nejlépe extrahovaným krevním řečištěm prstu. Na snímcích jsou patrné parazitní jevy způsobené nehty respektive vytvořeným stínem v jejich okolí a dále bílé skvrny v horních částech snímků způsobené zářením prošlým přes otvor ve snímací jednotce zařízení. Avšak samotný vzor krevního řečiště kopíruje řečiště viditelné okem na původním snímku pořízeném pomocí realizovaného zařízení.



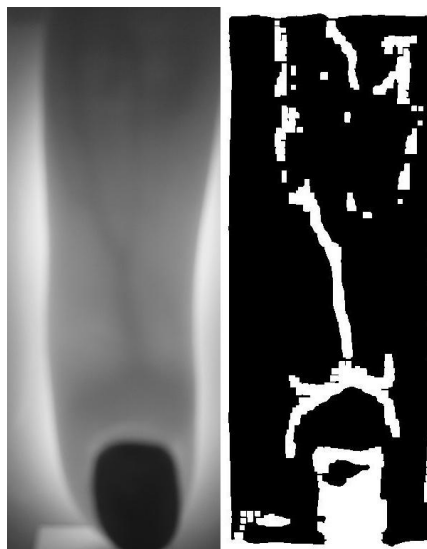
Obrázek 33. Nejlepší dosažené výsledky extrahování krevního řečiště prstu

U dobrovolníků s hůře prokrvenými prsty v důsledku řidšího cévního stromu se pomocí navržené metody extrakce nepodařilo vytvořit věrohodný vzor krevního řečiště. Výsledný snímek obsahuje často pouze část cévního stromu. Kromě již uvedených parazitních jevů se ve výsledném obraze dále objevuje šum a světlé linie způsobené difuzorem (Obrázek 34)



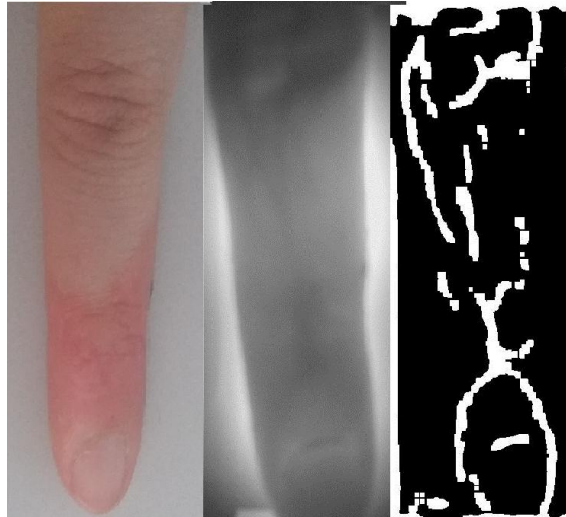
Obrázek 34. Výsledné snímky s nedostatečně extrahovaným krevním řečištěm

Problém při samotném zpracování nasnímaného obrazu nastal u dobrovolnice s nalakovanými nehty. Záření z infračervených diod neprostoupilo snímaným prstem v místě nehtu. Ten má na pořízené fotografii velmi nízkou nebo dokonce nulovou hodnotu jasu. Ve výsledném snímku se posléze projeví nalakovaný nehet jako bílý objekt větších rozměrů. V situaci, kdy by vyšetřovaná osoba nalakované nehty již neměla, by došlo ke změně výstupního obrazu a samotné biometrické informace. To by mohlo zmařit biometrický systém při identifikaci či verifikaci snímané osoby. Jako optimální řešení se tedy naskýtá nemít nalakované nehty při využívání biometrické informace o krevním řečišti prstu.



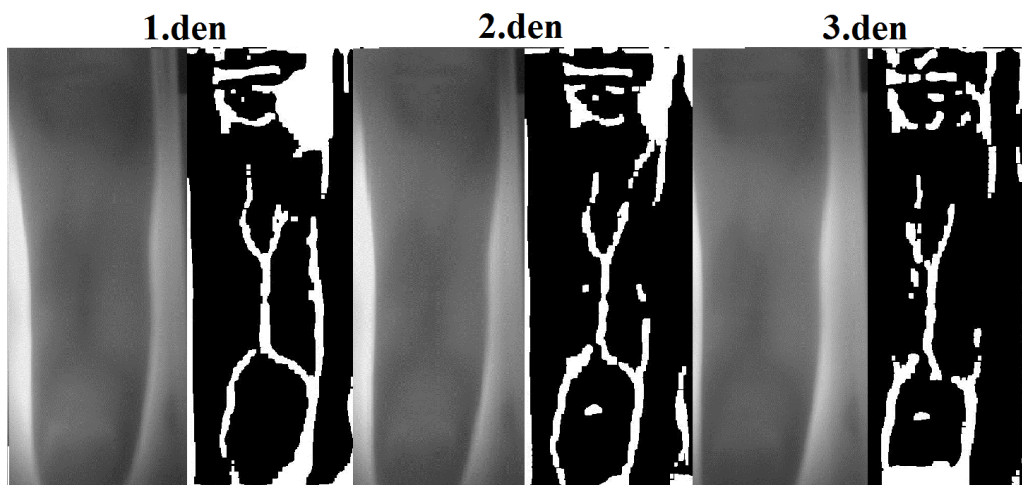
Obrázek 35. Vzor krevního řečiště prstu u nalakovaného nehtu

Zajímavá situace nastala při snímání dobrovolníka, jehož prsty byly postihnuty kožním zánětem. Na snímku (Obrázek 36) můžeme vidět extrahovaný vzor krevního řečiště i v místě výskytu ekzému. Schopnost zachytit biometrickou informaci o krevním řečišti z takto postiženého prstu patří mezi výhody této biometrické metody.



Obrázek 36. Vzor stromu cévního řečiště prstu osoby postižené ekzémem

Za předpokladu zisku stejné biometrické informace o krevním řečišti zkoumaných osob při opětovném snímání by z hlediska využití pro identifikaci či verifikaci nastal problém při porovnávání aktuálního snímku a snímku dříve uloženého v databázi biometrického systému. Za účelem ověření stálosti získané biometrické informace při opětovném snímání byl pořízen obraz prstu vyšetřované osoby ve stejný čas, za stejných podmínek (umístění snímače, klidový stav vyšetřované osoby) tři dny po sobě. Na výsledných snímcích (Obrázek 37) můžeme pozorovat podobnost stromu krevního řečiště pro všechny dny. Určitá míra neshody by mohla být kompenzována pomocí korekce natočení prstu. Komplikace by však nastala při porovnání jednotlivých vzorů krevního řečiště. Překrytí snímků nebude přesné, čímž by se snížila pravděpodobnost shody. Nejlepšího překrytí snímků a tedy dosažení nejvyšší shody by mohlo být docíleno pomocí vytvoření masky každého prstu. K následnému porovnání výsledných obrazů by došlo pouze v rámci vytvořených masek. Tím pádem jen vzorů krevního řečiště s minimem parazitních jevů.



Obrázek 37. Stromy cévního řečiště prstů u stejné osoby v různé dny

ZÁVĚR

Biometrie krevního řečiště prstu je poměrně nová, avšak dynamicky se rozvíjející metoda získání biometrické informace. Od ostatních metod se liší tím, že předmět zájmu této metody v podobě krevního řečiště prstu není možné vidět pouhým okem. Tento fakt zamezuje možnost vytvořit kopii za účelem oklamání biometrických systémů. Jediným způsobem jak získat obraz často hluboko pod kůží uloženého krevního řečiště je s využitím infračerveného záření. Cílem této práce bylo seznámit se s danou problematikou, pochopit její souvislosti s ostatními vědními obory a diskutovat možnosti využití extrahovaného krevního řečiště prstu v biometrických systémech.

Úvod teoretické části práce je zaměřen na historii biometrie a základní pojmy z biometrie i biometrických systémů. Dále jsou uvedeny nejznámější a nejvíce používané biometrické metody. Hlavní část literární rešerše se zabývá optickými metodami zobrazení krevního řečiště a jeho anatomii. Na základě nabitých teoretických poznatků je vytvořen návrh zařízení pro testování optických metod zobrazení cévního stromu prstu a ideálních parametrů samotného zařízení pro jeho následnou realizaci jako jsou vliv osvětlení a vlnové délky infračervených diod na dosažený kontrast mezi tkání a krevním řečištěm.

V praktické části práce je na základě uvedeného testování zvolena pro další postup transmisivní metoda zobrazení krevního řečiště prstu s využitím infračervených diod o vlnové délce 875 nm. Navržené zařízení je poté zrealizováno. V další části je navržena metoda předzpracování nasnímaných dat pro následnou segmentaci krevního řečiště prstu. V závěru práce je provedena diskuze využitelnosti získané biometrické informace pro verifikaci či identifikaci jedince.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] RAK, Roman, Vašek MATYÁŠ a Zdeněk ŘÍHA. *Biometrie a identita člověka ve forenzních a komerčních aplikacích*. Praha: Grada, 2008. 664 s. Profesionál. ISBN 978-80-247-2365-5.
- [2] DRAHANSKÝ, Martin a Filip ORSÁG. *Biometrie*. [Brno: M. Drahanský], 2011. 294 s. ISBN 978-80-254-8979-6.
- [3] U.S. DEPARTMENT OF JUSTICE a [Eric H. Holder, Jr., Laurie O. Robinson, John H. Laub]. [ERIC H. HOLDER, JR., LAURIE O. ROBINSON, JOHN H. LAUB]. *The fingerprint sourcebook*. 2012. ISBN 1477664769.
- [4] WAYMAN, James, Anil JAIN, Davide MALTONI a Dario MAIO. An Introduction to Biometric Authentication Systems. *Biometric Systems* [online]. London: Springer-Verlag, 2005, s. 1 [cit. 2016-12-29]. DOI: 10.1007/1-84628-064-8_1. ISBN 1-85233-596-3. Dostupné z: http://link.springer.com/10.1007/1-84628-064-8_1
- [5] MIURA, Naoto, Akio NAGASAKA a Takafumi MIYATAKE. Feature extraction of finger-vein patterns based on repeated line tracking and its application to personal identification. *Machine Vision and Applications* [online]. 2004, **15**(4), 194-203 [cit. 2016-12-29]. DOI: 10.1007/s00138-004-0149-2. ISSN 0932-8092. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00138-004-0149-2>
- [6] Fingerprint. *Science Learning Hub* [online]. [cit. 2016-11-29]. Dostupné z: <http://sciencelearn.org.nz/News-Events/Latest-News/News-Archive/2011-News-archive/2011-News-images/Fingerprint>
- [7] LEE, Eui Chul, Hyunwoo JUNG a Daeyeoul KIM. New Finger Biometric Method Using Near Infrared Imaging. *Sensors* [online]. 2011, **11**(12), 2319-2333 [cit. 2016-12-29]. DOI: 10.3390/s110302319. ISSN 1424-8220. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/1424-8220/11/3/2319/>
- [8] *Biometric Identification through Hand Geometry Measurements* [online]. 2000, **10**(22) [cit. 2016-12-10]. ISSN 1939-3539. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/RecentIssue.jsp?punumber=34>
- [9] Hand Geometry. *MIS Biometrics* [online]. [cit. 2016-12-1]. Dostupné z: <http://misbiometrics.wikidot.com/hand>
- [10] QUAGLIA, Adamo a Calogera M. EPIFANO. *Face recognition: methods, applications and technology*. New York: Nova Science, c2012. ISBN 978-1619426634
- [11] COMPARISON OF VARIOUS BIOMETRIC METHODS. *Science Publications* [online]. [cit. 2016-11-15]. Dostupné z: <https://pdfs.semanticscholar.org/b288/52bbe578df4085eee8311cf7a984a106ad1f.pdf>
- [12] Eye Retina. *Tyflokabinet* [online]. [cit. 2016-11-17]. Dostupné z: <http://www.tyflokabinet-cb.cz/pic/eye/retina-s.jpg>

- [13] ROC křivka. *POSTERUS.sk* [online]. [cit. 2016-11-30]. Dostupné z: http://www.posterus.sk/wp-content/uploads/p11511_03_obr03.png
- [14] Biometric Technology Based on Hand Vein. *Oriental Journal of Computer Science and Technology* [online]. [cit. 2016-10-16]. Dostupné z: <http://www.computerscijournal.org/vol6no4/biometric-technology-based-on-hand-vein/>
- [15] How vascular scanner works. *M2SYS Blog On Biometric Technology* [online]. [cit. 2016-11-2]. Dostupné z: <http://blog.m2sys.com/wp-content/uploads/2016/01/how-vascular-scanner-works.png>
- [16] Capture. *INDUSTRIAL SAFETY REVIEW* [online]. [cit. 2016-11-15]. Dostupné z: http://www.ind-safety.com/manage/editor_images/1417000798_ISR_Apr-13_Client-Tech01_7.jpg
- [17] BENEŠ, Jiří, Daniel JIRÁK a František VÍTEK. *Základy lékařské fyziky*. 4. vydání. V Praze: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum, 2015. 325 s. ISBN 978-80-246-2645-1.
- [18] ROSINA, Jozef, Hana KOLÁŘOVÁ a Jiří STANEK. *Biofyzika pro studenty zdravotnických oborů*. Praha: Grada, 2006. ISBN 80-247-1383-7.
- [19] NILSSON, Lennart a Lars HAMBERGER. *Tajemství života: [od početí k porodu]*. Praha: Svojtka a Vašut, 1996. ISBN 80-7180-025-2.
- [20] WARD, Jeremy P. T. a R. W. A. LINDEN. *Základy fyziologie*. Praha: Galén, c2010. 164 s. ISBN 978-80-7262-667-0.
- [21] ČIHÁK, Radomír, Rastislav DRUGA a Miloš GRIM. *Anatomie*. 3. 2., upr. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2004. 673 s. ISBN 80-247-1132-X.
- [22] Hand Anatomy. *SlidePlayer* [online]. [cit. 2016-12-30]. Dostupné z: <http://slideplayer.es/slide/120307/>
- [23] Blood. *Open Access Biomedical Image Search Engine* [online]. [cit. 2016-11-30]. Dostupné z: https://openi.nlm.nih.gov/detailedresult.php?img=PMC3337810_2191-219X-2-14-2&req=4
- [24] *ADI Global Distribution* [online]. [cit. 2016-12-10]. Dostupné z: <http://www.adiglobal.cz/cz/produkty130:11097997/multimodalni-biometricka-ctecka-krevniho-reciste-+-otisku-prstu>
- [25] Čtečka. *ADI Global Distribution* [online]. [cit. 2016-12-15]. Dostupné z: [http://www.adiglobal.cz/iiWWW/shared.nsf/i/11097997/\\$FILE/original.jpg](http://www.adiglobal.cz/iiWWW/shared.nsf/i/11097997/$FILE/original.jpg)
- [26] *M2SYS Technology* [online]. [cit. 2016-11-30]. Dostupné z: <http://www.m2sys.com/finger-vein-reader/>
- [27] M2 FingerVein Reader. *M2SYS* [online]. [cit. 2016-12-30]. Dostupné z: <https://www.m2sys.net/store/pc/viewPrd.asp?idproduct=87&idcategory=120>
- [28] NORRIS, Donald. *Raspberry Pi: projekty*. Brno: Computer Press, 2015. 264 s. ISBN 978-80-251-4346-9.

- [29] UPTON, Eben a Gareth HALFACREE. *Raspberry Pi: uživatelská příručka*. Brno: Computer Press, 2013. 232 s. ISBN 978-80-251-4116-8.
- [30] *Raspberry Pi 3* [online]. [cit. 2016-12-10]. Dostupné z: <https://smarterhome.sk/600/raspberry-pi-3-model-b.jpg>
- [31] Pi NOIR Camera. *RPiShop.cz* [online]. [cit. 2016-12-30]. Dostupné z: <http://rpishop.cz/raspberry-pi-prislusenstvi/29-pi-noir-camera-board-5mb-rev-13.html>
- [32] *Raspberry.org Site* [online]. [cit. 2017-05-29]. Dostupné z: <http://www.raspberrypi-spy.co.uk/2014/07/raspberry-pi-b-gpio-header-details-and-pinout/>
- [33] HARUŠTIAKOVÁ, Danka. *Vícerozměrné statistické metody v biologii*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2012. ISBN 978-80-7204-791-8.
- [34] WALEK, Ing. Petr, Ing. Martin LAMOŠ a prof. Ing. Jiří JAN, CSC. *Analýza biomedicínských obrazů: Počítačová cvičení* [online]. Vysoké učení technické v Brně, 2013 [cit. 2017-05-29]. ISBN 978-80-214-4792-9.

SEZNAM ZKRATEK

2D	<i>two-dimensional</i> , dvourozměrný nebo dvoudimenzionální
3D	<i>three-dimensional</i> , trojrozměrný nebo trojdimenzionální
AFIS	<i>Automated Fingerprint Identification System</i> , daktyloskopický systém s otisky prstů
CCD	<i>charged-coupled device</i> , elektronický snímač obrazu
DC	<i>direct current</i> , stejnosměrný elektrický proud
DVI	<i>Digital Visual Interface</i> , rozhraní pro propojení počítače s video zařízením
FAR	<i>False Acceptance Rate</i> , pravděpodobnost chybného přijetí neoprávněné osoby
FBI	<i>Federal Bureau of Investigation</i> , federální úřad pro vyšetřování
FMR	<i>False Match Rate</i> , míra chybné neshody
FNMR	<i>Flase Non-Match Rate</i> , míra chybné shody
FRR	<i>False Rejection Rate</i> , pravděpodobnost chybného odmítnutí oprávněné osoby
GPIO	<i>General Purpose Input/Output</i> , výstupy pro nízko úroňovou komunikaci s hardwarem
GUI	<i>Graphical User Interface</i> , grafické uživatelské rozhraní
HDMI	<i>High-Definition-Multimedia Interface</i> , nekomprimovaný obrazový a zvukový signál v digitálním formátu
IR	<i>infrared</i> , infračervené záření
LED	<i>light-emitting diode</i> , světelná polovodičová dioda
NIR	<i>near infrared</i> , blízké infračervené záření
ROC	<i>Receiver operating characteristics</i> , křivka pro hodnocení kvality biometrických systémů
PIL	<i>Python Imaging Library</i> , knihovna pro práci s obrazy v jazyce Python
USB	<i>Universal Serial Bus</i> , univerzální sériová sběrnice
VGA	<i>Video Graphics Array</i> , standart pro počítačovou zobrazovací techniku

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1

Datové CD, jehož obsahem je:

1. Miroslav_Stiburek_BP.pdf - elektronická verze bakalářské práce
2. databaze.zip - soubor obsahující všech 26 nasnímaných a zpracovaných obrazů
3. skript.py - program na vytvoření GUI, který umožňuje snímat a zpracovávat snímky prstu
4. TTP223.pdf - datasheet k mikročipu tvořícího kapacitní senzor

Příloha č. 2

Manuál k zařízení pro snímání krevního řečiště prstu

Zapojení

Pro správnou funkci zařízení musí být jeho snímací jednotka propojena s Raspberry Pi pomocí flex kabelu kamerového modulu a vývodů snímací jednotky s piny GPIO, jejichž zapojení vychází z elektrického schématu (Obrázek 23).

Barva vodiče	Číslo pinu
žlutá	2
oranžová	6
zelená	7
šedá	9
modrá	11
červená	12
černá	14
bílá	16

K samotnému Raspberry Pi musí být připojen monitor, klávesnice, myš a zdroj napětí.

Spuštění programu

Za předpokladu umístění programu *skript.py* na pracovní ploše výpočetní jednotky (Raspberry Pi) se program na snímání, zpracování a následné zobrazování obrazů spustí pomocí zadání příkazu *cd Desktop* a následně *python3 skript.py* v příkazovém řádku terminálu. Po zadání uvedených příkazů se zobrazí jednoduché uživatelské prostředí.

Snímání

Snímání je inicializováno zmáčknutím tlačítka Snímat. Uživatel však musí zadat své jméno nebo ID. V opačném případě vyhodí program chybovou hlášku. Po zadání jména nebo ID a následného zmáčknutí tlačítka se rozsvítí zelená dioda jako pokyn uživateli k umístění prstu do snímacího zařízení nehtem nahoru. Pro dosažení snímku s nejlepším kontrastem je nutné, aby prst ležel na difuzoru. Po dostatečně hlubokém zasunutí prstu do zařízení ucítí uživatel na konci prstu překážku v podobě kapacitního senzoru. Dotyk prstu senzoru zhasne zelenou diodu a rozsvítí červenou diodu. Poté začne kamera snímat. Po ukončení snímání červená dioda zhasne a opět se rozsvítí dioda zelená jako pokyn uživateli k vytáhnutí prstu. Pro dosažení nejkvalitnějšího snímku nesmí uživatel celou dobu svícení červené diody se snímaným prstem manipulovat. Vyfocený snímek je uložen na pracovní plochu.

Zpracování

Zpracování obrazu se spouští pomocí tlačítka Zpracovat. Uživatel může buď zpracovat právě pořízený snímek nebo přepsáním jména či ID nahrát některý z dříve uložených snímků na ploše. Zpracovaný snímek je posléze také uložen na pracovní plochu.

Zobrazení

Zmáčknutím tlačítka Zobrazit hned po zpracování obrazu si může uživatel zpracovaný a originální obraz prstu prohlédnout. Druhou možností je podobně jako u zpracování zadat název dříve zpracovaného snímku a ten si zobrazit. Po zmáčknutí tlačítka Zobrazit se objeví okno obsahující snímek pořízený zařízením a vzor cévního řečiště nasnímaného prstu.